



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

NBR 7190/2016 – Ligações

1 Generalidades

As ligações mecânicas tradicionais em peças de madeira podem ser divididas em dois grupos em função do modo de transmissão da força entre os elementos conectados:

- Ligações por pinos metálicos;
- Ligações por conectores.

As ligações por pinos possuem comportamento regido por um misto de flexão do pino e/ou embutimento do pino na madeira. Se enquadram no primeiro grupo as ligações com parafusos passantes com porcas e arruelas (sextavado e francês), parafusos de rosca soberba, pregos e pinos metálicos ajustados.

O segundo grupo de ligações é formado por conectores que transmitem as forças entre os elementos de madeira de forma distinta da anterior, caracterizadas por grandes áreas de contato. Os anéis metálicos e as chapas metálicas com dentes estampados são exemplos de elementos de ligação pertencentes a esse grupo.

No cálculo das ligações não é permitido levar em conta os esforços transmitidos por elementos secundários como estribos, braçadeiras ou grampos.

No caso de ligações por pinos metálicos devem ser respeitados os espaçamentos e pré-furações especificados em 6.1.9 para evitar o fendilhamento precoce da madeira em virtude da introdução dos elementos de união. Não são permitidas ligações com apenas um pino metálico.



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

Para evitar a ruptura por tração normal às fibras em regiões de ligações localizadas, deve-se fazer a seguinte verificação (Figura 14):

$$F_d \sin \alpha \leq 2 f_{vd} b_e t / 3$$

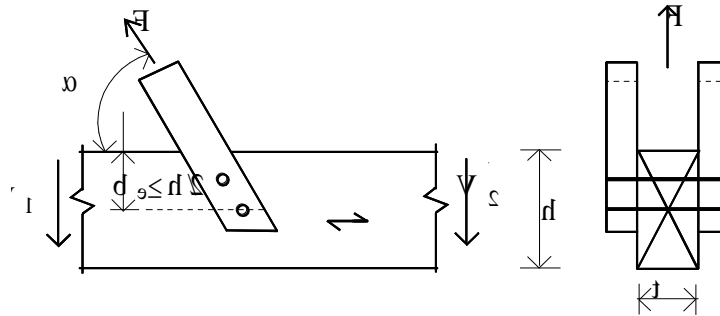


Figura 14 – Tração normal às fibras em ligações

onde:

- b_e é a distância do eixo do pino mais afastado à borda do lado da solicitação, com $b_e \geq h/2$;

- t é a espessura da peça principal;

$f_{v,d}$ é a resistência de cálculo ao cisalhamento paralelo às fibras;

α é o ângulo de inclinação da força F em relação às fibras;

h é a altura total da seção transversal da peça principal.



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

1.1 Critério de dimensionamento

O dimensionamento dos elementos de ligação para os estados limites últimos deve atender a condições de segurança do tipo

$$S_d \leq R_d$$

Onde R_d é o valor de cálculo da resistência da ligação e S_d o valor de cálculo das solicitações nela atuantes.

O valor de cálculo da resistência da ligação é definido a partir do valor característico da resistência da ligação, pela equação

$$R_d = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot K_{mod3} \cdot \frac{R_k}{\gamma_{lig}}$$

Os valores de k_{mod} são definidos conforme item 4.4.4. O valor do coeficiente de minoração das propriedades de resistência da ligação γ_{lig} é definido como sendo igual a 1,4.

No dimensionamento de ligações com o uso de conectores em aço não se deve tomar valor de K_{mod1} superior a 1, mesmo para combinação de ações de duração instantânea.

O valor característico da resistência da ligação R_k deve ser determinado de acordo com os métodos de ensaio padronizados pela PN 02:126.10-001-4. Na ausência da determinação experimental específica, admite-se o emprego das metodologias apresentadas nos itens 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6.

Em princípio, o estado limite último da ligação pode ser atingido por deficiência de resistência da madeira da peça estrutural ou do elemento de ligação. As ligações feitas pelos meios usuais de peças de madeira ou pelo emprego de elementos intermediários de aço devem ter sua segurança verificada



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

de acordo com as respectivas normas. No caso de elementos intermediários de aço sua segurança deve ser verificada de acordo com a NBR 8800.

1.2 Resistência de embutimento da madeira

Em relação à resistência de embutimento da madeira, esta deve ser determinada por meio do ensaio de embutimento padronizado especificado conforme norma PN 02:126.10-001-2. Na falta da determinação experimental específica, admitem-se as relações aproximadas apresentadas em 5.2.5.

1.3 Momento resistente do pino metálico

O momento resistente característico do pino metálico $M_{y,k}$ em N.mm deve ser determinado pela equação

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

onde $f_{u,k}$ é a resistência última a tração do aço do pino metálico dada pelas normas NBR ISO 898-1, ASTM A-307, ASTM A-325, ASTM A-490 e NBR 5589, (em N/mm²) e d é o diâmetro efetivo do pino metálico (em mm) dado pela norma NBR 8800.

1.4 Ligações excêntricas

Na presença de binários atuando no plano da união, além das tensões primárias decorrentes dos esforços atuantes nas peças interligadas, também devem ser consideradas as tensões secundárias devidas às excentricidades existentes entre os eixos mecânicos das peças interligadas e o centro de rotação da união em seu plano de atuação.



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

1.5 Ligações com cola

Esta seção não aborda ligações com cola, as quais podem ser empregadas somente em juntas longitudinais da madeira laminada colada. O emprego de cola nas ligações deve obedecer às prescrições técnicas provadamente satisfatórias. Somente pode ser colada madeira seca ao ar livre ou em estufa. A resistência da junta colada deve ser no mínimo igual à resistência ao cisalhamento longitudinal da madeira.

1.6 Efeito de grupo para ligações com pinos

Nas ligações com até oito pinos em linha, dispostos paralelamente ao esforço a ser transmitido, a resistência total é dada pela soma das resistências de cada um dos pinos.

Nas ligações com mais de oito pinos em linha, os pinos suplementares devem ser considerados com apenas 2/3 de sua resistência individual. Neste caso, sendo n_c o número de pinos, a ligação deve ser calculada com o número efetivo de pinos resistentes n_0

$$n_0 = 8 + \frac{2}{3} \cdot (n_c - 8)$$

1.7 Ligações com múltiplas seções de corte

Em ligações com múltiplas seções de corte a resistência de cada plano de corte deve ser determinada considerando que cada plano de corte é parte de uma ligação na configuração em duplo corte.

Para determinar a resistência da ligação com múltiplas seções de corte devem ser combinadas as resistências individuais de cada plano de corte, considerando a compatibilidade entre os modos de falha, ou seja, o modo de falha que governa o comportamento da ligação deve ser compatível com os outros e não deve ser uma combinação dos modos de falha (Ia) e (Ib), (c), (f), (j) e (l), com os outros modos de falha.



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

1.8 Características dos elementos de ligação

Os elementos de ligação utilizados em estruturas de madeira devem atender suas respectivas normas, quando houver, e as seguintes dimensões e resistências mínimas:

- Os pregos estruturais devem ter diâmetro nominal d mínimo de 3,0 mm, atender a norma específica e, serem feitos de aço com baixo teor de carbono com resistência característica de escoamento ($f_{y,k}$) de pelo menos 600 MPa.

- Os parafusos estruturais passantes com porca e arruela com cabeça sextavada devem ser de diâmetro nominal d mínimo de 9,5 mm, serem feitos de aço com baixo teor de carbono, atendendo os padrões de normas específicas e, resistência mínima característica de escoamento $f_{y,k}$ de pelo menos 250 MPa. As porcas e arruelas devem atender a normas específicas, serem feitas com aço com baixo teor de carbono e resistência característica de escoamento $f_{y,k}$ de pelo menos 250 MPa. As arruelas devem ter diâmetro externo maior ou igual a 3 d e espessura maior ou igual a 0,3 d e devem ser utilizadas em ambos os lados do parafuso.

- Os parafusos de rosca soberba devem ser de diâmetro nominal d mínimo de 9,5 mm, serem feitos de aço com baixo teor de carbono, atendendo os padrões de normas específicas e, resistência mínima característica de escoamento $f_{y,k}$ de pelo menos 250 MPa.

Tabela xx – Materiais usados em pinos metálicos

Especificação do pino metálico		$f_{y,k}$ (MPa)	$f_{u,k}$ (MPa)	Diâmetro nominal mínimo
Prego comum	Liso com cabeça	600	800	$d \geq 3 \text{ mm}$
Parafuso passante padrão ASTM	A307	250	415	$d \geq 3/8 \text{ pol}$ ou $d \geq 10 \text{ mm}$
	A325	635	825	
	A490	895	1035	
	Classe 4.6	235	400	$d \geq 10 \text{ mm}$
	Classe 8.8	640	800	



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

Parafuso passante padrão NBR ISO 898-1	Classe 10.9	900	1000	
Parafuso de rosca soberba padrão NBRxxx		250	415	$d \geq 6 \text{ mm}$

- Os anéis metálicos estruturais devem ser de aço galvanizado especificados pela NBR 8800, fechados, com diâmetro interno nominal d de 64 mm ou 102 mm. Em ambos os casos deve-se utilizar parafusos de montagem que garantam a união dos elementos de madeira, com diâmetro nominal d de 12 mm e 19 mm, respectivamente para os anéis de 64 mm e 102 mm de diâmetro, instalados no centro do anel, conforme figura 15.

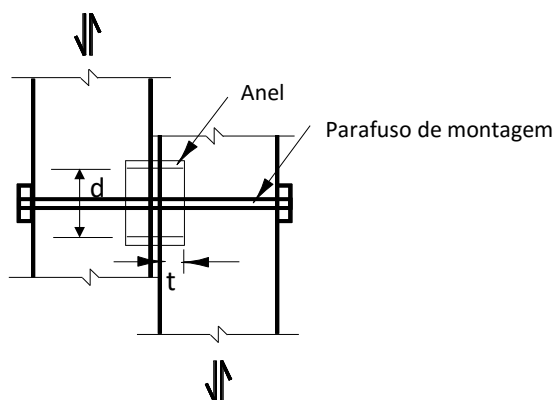


Figura 15 - Ligações com anéis metálicos.

Os anéis de 64 mm de diâmetro interno nominal devem ter espessura da parede não menor que 4 mm, e os anéis de 102 mm de diâmetro interno nominal devem ter espessura não menor que 5 mm.

Os elementos de ligação conhecidos como chapas com dentes estampados devem atender as especificações da ANSI/TPI (2007).



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

1.9 Espaçamentos entre elementos de ligação

Os espaçamentos mínimos recomendados em ligações com pinos (pregos com pré-furação, parafusos passantes com porca e arruelas e parafusos ajustados) são os seguintes:

- a) entre o centro de dois pinos situados em uma mesma linha paralela à direção das fibras: pregos, cavilhas e parafusos ajustados $6 d$; parafusos passantes $4 d$;
- b) do centro do último pino à extremidade de peças tracionadas: $7 d$;
- c) do centro do último pino à extremidade de peças comprimidas: $4 d$;
- d) entre os centros de dois pinos situados em duas linhas paralelas à direção das fibras, medido perpendicularmente às fibras: $3 d$;
- e) do centro de qualquer pino à borda lateral da peça, medido perpendicularmente às fibras, quando o esforço transmitido for paralelo às fibras: $1,5 d$;
- f) do centro de qualquer pino à borda lateral da peça, medido perpendicularmente às fibras, quando o esforço transmitido for normal às fibras, do lado onde atuam tensões de tração normal: $1,5 d$;
- g) do centro de qualquer pino à borda lateral da peça, medido perpendicularmente às fibras, quando o esforço transmitido for normal às fibras, do lado onde atuam tensões de compressão normal: $4 d$.

Estes espaçamentos estão representados na figura 16.



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

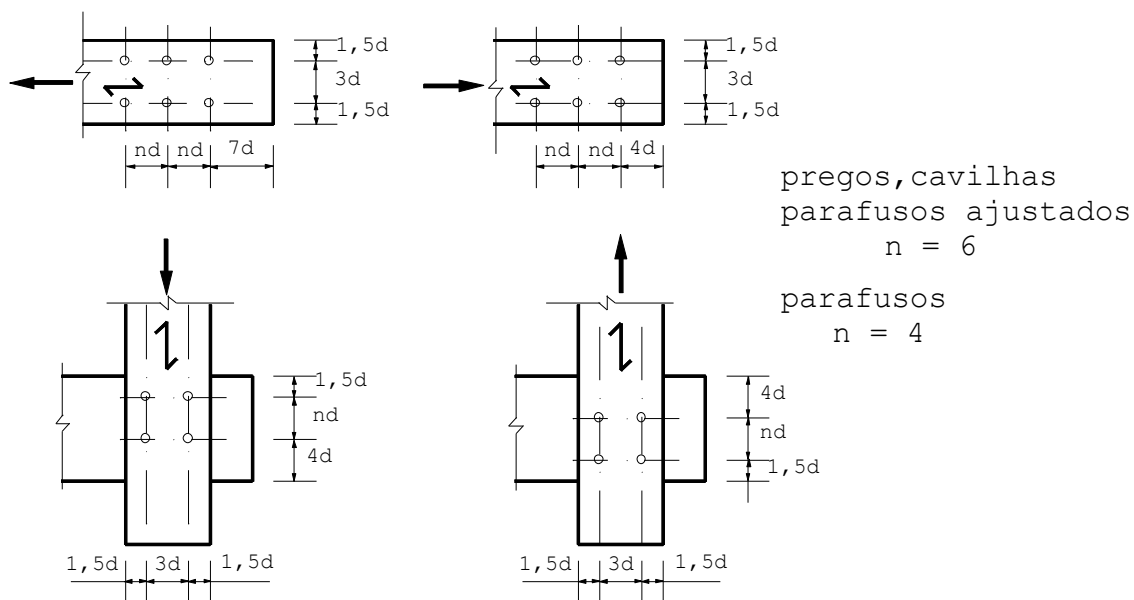


Figura 16 - Espaçamentos em ligações com pinos.

Já nas ligações em que forem usados anéis metálicos, eles devem ser aplicados em ranhuras previamente feitas nas peças de madeira, com ferramentas apropriadas. No caso de anéis metálicos d é o diâmetro efetivo do anel considerado como o diâmetro interno do mesmo.

Os espaçamentos mínimos recomendados neste caso são os seguintes:

- entre os centros de anéis metálicos na direção das fibras: $1,5 d$;
- do centro de qualquer anel metálico à extremidade da peça, no caso de esforço de tração paralelo às fibras: $1,5 d$;
- do centro de qualquer anel metálico à extremidade da peça, no caso de esforço de compressão paralelo às fibras: $1,0 d$;
- do centro de qualquer anel metálico à borda lateral: $0,75 d$;



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

- e) do centro de qualquer anel metálico à borda lateral da peça, medido perpendicularmente às fibras, quando o esforço transmitido for normal às fibras, do lado onde são acarretadas tensões de tração normal: $1,0 d$;
- f) do centro de qualquer anel metálico à borda lateral da peça, medido perpendicularmente às fibras, quando o esforço transmitido for normal às fibras, do lado onde são acarretadas tensões de compressão normal: $0,75 d$.

Estes espaçamentos estão representados na figura 17.

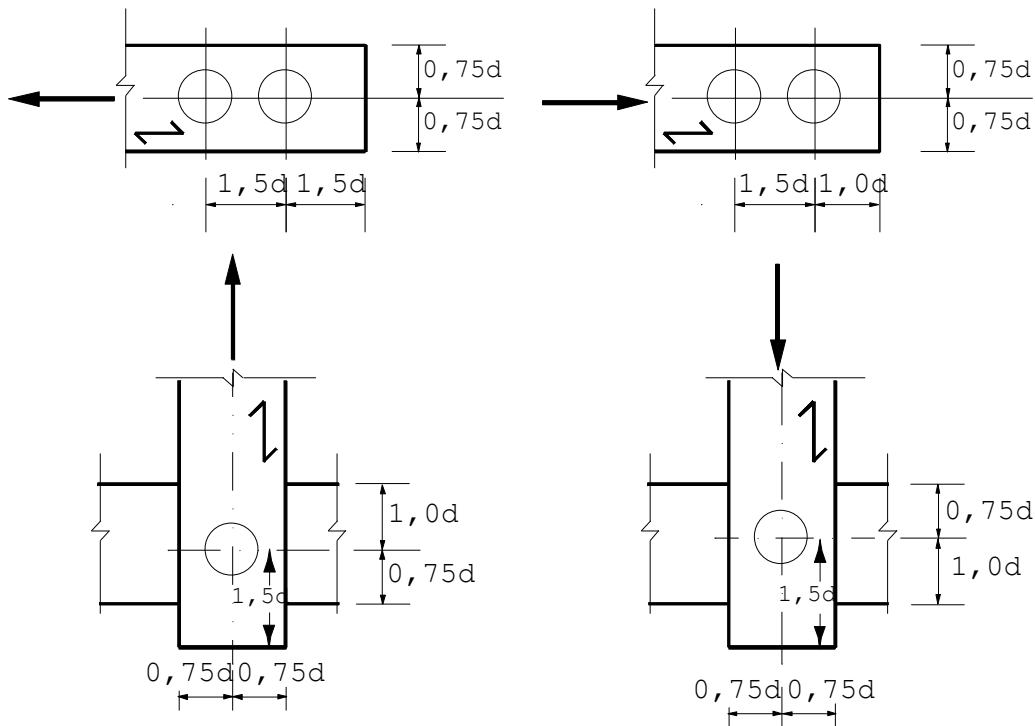


Figura 17 - Espaçamentos em ligações com anéis metálicos.

1.10 Pré-furação das ligações

Em uniões pregadas será obrigatoriamente feita a pré-furação da madeira, com diâmetro d_0 não maior que o diâmetro d do prego, com os valores usuais de 85% para madeiras coníferas e 98% para madeiras folhosas.



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

Em estruturas provisórias, admite-se o emprego de ligações pregadas sem a pré-furação da madeira, desde que se empreguem madeiras de baixa densidade, $\rho_{ap} \leq 600 \text{ kg/m}^3$, que permitam a penetração dos pregos sem risco de fendilhamento, e pregos com diâmetro d não maior que $1/6$ da espessura da madeira mais delgada e com espaçamento mínimo de $10 d$.

Quando utilizado sistema mecânico ou pneumático de pregação, não é necessária a pré-furação da madeira. Nesses casos, porém, cabe à indústria avaliar a relação entre a rigidez da madeira, o diâmetro do pino e a pressão, a fim de evitar o fendilhamento da madeira na fixação ou o cravamento excessivo da cabeça do prego.

As ligações em madeira com parafusos passantes devem ser realizadas com pré-furação de no mínimo o diâmetro d e, no máximo 1 mm maior que o diâmetro d , considerando d o diâmetro do parafuso passante a ser utilizado.

Os parafusos de rosca soberba devem ser instalados com pré-furação de aproximadamente 70% do diâmetro do parafuso.

Tabela xx – Diâmetro de pré-furação para ligações em madeira

Pino metálico	Pré-furação
Pregos	Coníferas $d_0 = 0,85 d$ Folhosas: $d_0 = 0,98 d$
Parafusos passantes	$d \leq d_0 \leq d + 1\text{mm}$
Parafusos com rosca soberba	$d_0 = 0,70 d$

1.11 Rigidez de ligações

As ligações podem ser calculadas como rotuladas, rígidas ou semi-rígidas. Cabe ao projetista comprovar através de modelos teóricos e ou experimentais o cálculo da adoção de ligações rígidas e semi-rígidas.



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

A rigidez axial de ligações deve ser obtida de ensaio padronizado atendendo as especificações da PN 02:126.10-001-4. No caso de impossibilidade de realização do ensaio padronizado pode-se estimar a rigidez axial de ligações em elementos de madeira com pinos metálicos por

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} \cdot d}{23}$$

Onde K_{ser} é a rigidez de serviço de uma seção de corte de um pino metálico em N/mm, ρ_m é a densidade específica média em kg/m³, do pela multiplicação da densidade aparente característica pelo valor 1,43 e, d é o diâmetro efetivo do pino metálico em mm.

Para ligações com elementos de madeira de diferentes densidades a densidade média ρ_m deve ser obtida por

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{1,m} \cdot \rho_{2,m}}$$

Onde $\rho_{1,m}$ é a densidade do elemento 1 de madeira e $\rho_{2,m}$ é a densidade do elemento 2 de madeira.

A rigidez de serviço K_{ser} deve ser utilizada para a verificação dos estados limites de serviço e, para os estados limites últimos deve-se utilizar a rigidez última K_u dada por

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser}$$

A rigidez de ligações em elementos de madeira e aço pode ser considerada como o dobro da calculada utilizando a mesma equação para elementos de madeira, considerando ρ_m como a densidade do elemento de madeira.



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

As equações só se aplicam para ligações com pinos metálicos instalados perpendicularmente às seções de corte.

2 Resistência característica de ligações de elementos de madeira com pinos metálicos

A resistência de ligações com pinos metálicos deve ser obtida de ensaio padronizado atendendo as especificações da PN 02:126.10-001-4. No caso de impossibilidade de realização do ensaio padronizado pode-se estimar a resistência característica da ligação por

$$R_k = F_{v,Rk} \cdot n_{sp} \cdot n_0$$

Onde n_{sp} refere-se à quantidade de seções de corte por pino metálico, n_0 é o número efetivo de pinos por ligação, conforme item 6.1.6 e, $F_{v,Rk}$ é a resistência característica de um pino, correspondente a uma dada seção de corte.

Para que a ligação possa ser considerada resistente devem ser atendidas as especificações de espaçamentos conforme o item 6.1.9, de pré-furação conforme o item 6.1.10, bem como as seguintes:

- Tanto na configuração em corte simples como na configuração em corte duplo o diâmetro efetivo do parafuso passante não deve exceder a metade da menor espessura dos elementos de madeira interligados. A figura 18 ilustra a configuração de corte simples e duplo para ligações com parafusos passantes com porca e arruela;

- O diâmetro efetivo do prego não deve ser maior que um quinto da menor espessura dentre as peças de madeira ligadas. Permite-se que o diâmetro efetivo do prego seja maior que um quarto da espessura da peça de madeira mais delgada, desde que o diâmetro da pré-furação seja igual ao diâmetro efetivo do prego;



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

- A penetração do prego em qualquer uma das peças ligadas não deve ser menor que a espessura da peça mais delgada. Caso contrário, o prego será considerado não resistente;

- Em ligações localizadas, a penetração da ponta do prego na peça de madeira mais distante de sua cabeça deve ser de pelo menos $12d$ ou igual à espessura dessa peça. Em ligações corridas, como em peças compostas ligadas continuamente, esta penetração pode ser limitada ao valor de t_1 . A figura 19 ilustra a configuração de corte simples e duplo para ligações com pregos;

- O diâmetro efetivo do parafuso de rosca soberba não deve ser maior que um quinto da menor espessura dentre as peças de madeira ligadas. Permite-se que o diâmetro efetivo do parafuso seja maior que um quarto da espessura da peça de madeira mais delgada, desde que o diâmetro da pré-furação seja igual ao diâmetro efetivo do parafuso (figura 20);

- Em ligações localizadas, a penetração da ponta do parafuso na peça de madeira mais distante de sua cabeça deve ser de pelo menos $6d$ ou igual à espessura dessa peça. Em ligações corridas, como em peças compostas ligadas continuamente, esta penetração pode ser limitada ao valor de t_1 ;

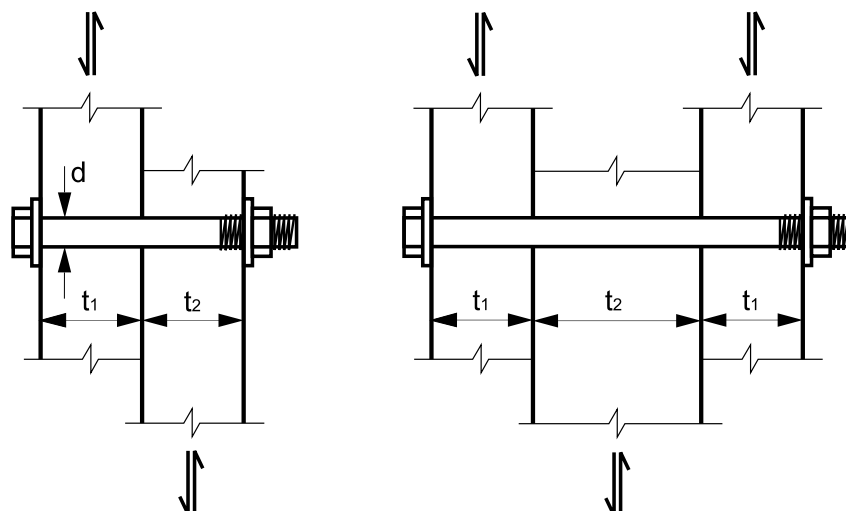


Figura 18 – Ligação de elementos de madeira com parafusos passantes com porca e arruelas em (a) corte simples e (b) corte duplo



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

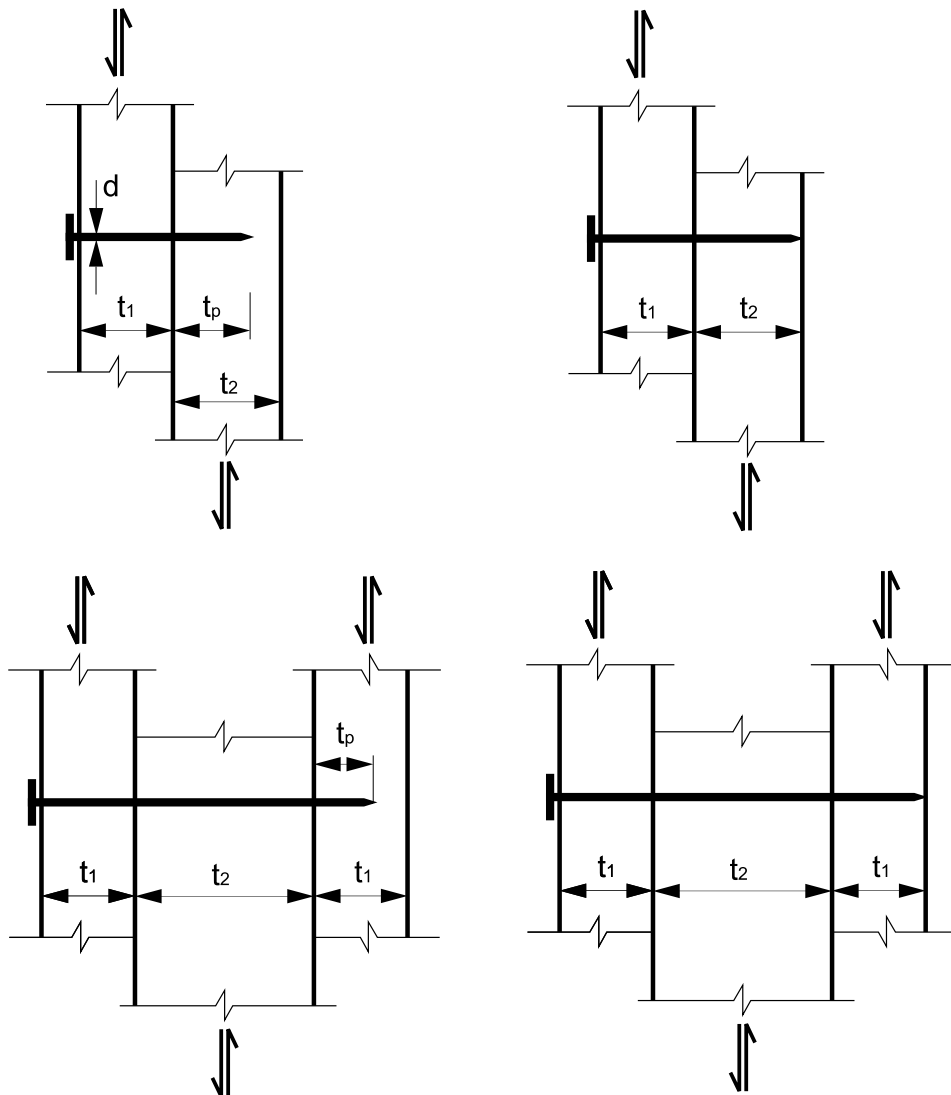


Figura 19 – Ligações de elementos de madeira com pregos em (a) corte simples e (b) corte duplo



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

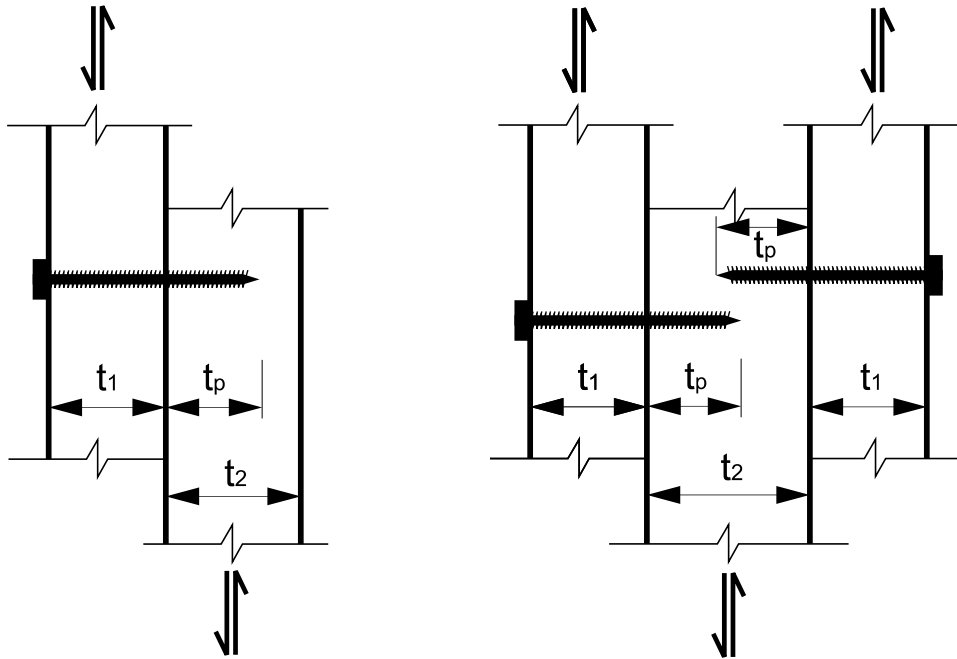
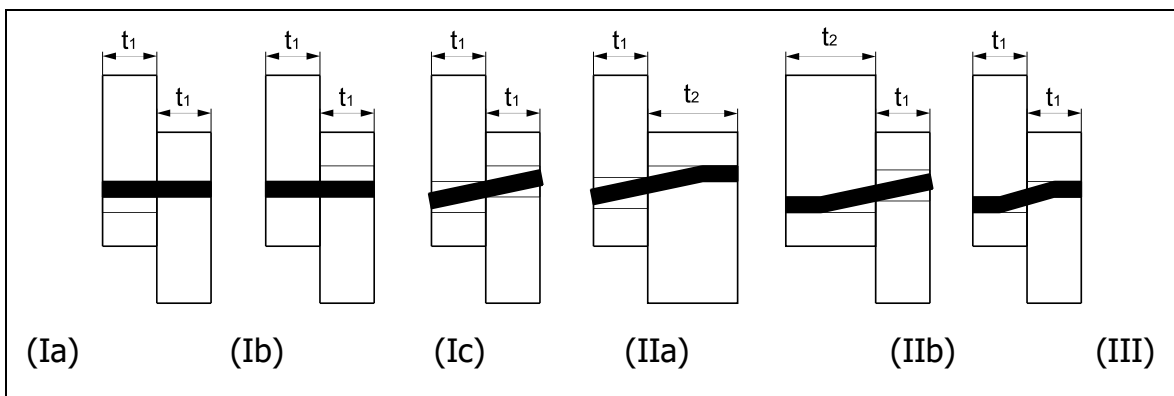


Figura 20 – Ligações de elementos de madeira com parafusos de rosca soberba em corte simples

A resistência característica de uma seção de corte de um pino é determinada como o menor valor dentre os obtidos pelas equações da tabela 18 ou tabela 19, que são regidas pelos diferentes modos de falha, em função da resistência de embutimento e da espessura dos elementos de madeira interligadas, do momento resistente do pino metálico e do diâmetro efetivo do pino.

Tabela 18 - Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (uma seção de corte)



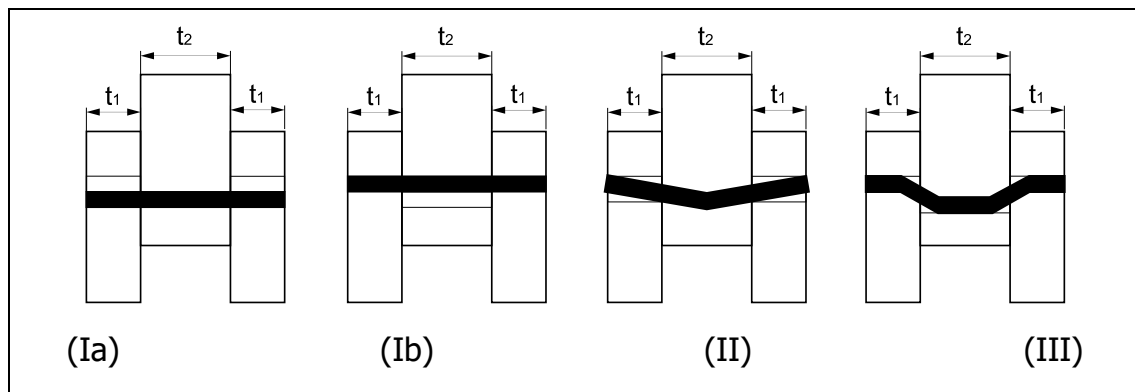


Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

Modo de falha	Força característica calculada por plano de corte e por pino utilizado
(Ia)	$F_{v,Rk1} = f_{e1,k} t_1 d$
(Ib)	$F_{v,Rk2} = f_{e1,k} t_2 d \beta$
(Ic)	$F_{v,Rk3} = \frac{f_{e1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(IIa)	$F_{v,Rk4} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(IIb)	$F_{v,Rk5} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(III)	$F_{v,Rk6} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,k} f_{e1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
$F_{v,Rk}$ é o menor valor dentre os resultados dos seis modos de falha	

Tabela 19 - Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (duas seções de corte)





Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

Modo de falha	Força característica calculada por plano de corte e por pino utilizado
(Ia)	$F_{v,Rk1} = f_{e1,k} t_1 d$
(Ib)	$F_{v,Rk2} = 0,5 f_{e1,k} t_2 d \beta$
(II)	$F_{v,Rk3} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(III)	$F_{v,Rk4} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,k} f_{e1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
$F_{v,Rk}$ é o menor valor dentre os resultados dos quatro modos de falha	

Onde β é a razão entre as resistências de embutimento das peças de madeira interligadas

$$\beta = \frac{f_{e2,k}}{f_{e1,k}}$$

O acréscimo de resistência devido ao atrito entre as peças de madeira pode ser considerado nos modos de falha II e III, pelos coeficientes 1,05 e 1,15, exceto para ligações com pinos metálicos ajustados sem porcas e arruelas.

O valor $F_{ax,Rk} / 4$ é a contribuição do efeito de confinamento provocado pela compressão das arruelas nas laterais externas da ligação, ou pela resistência ao arrancamento no caso de pregos e parafusos de rosca soberba, ou embutimento da cabeça do prego ou parafuso de rosca soberba na lateral externa da peça de madeira. A contribuição do efeito de confinamento deve ser limitada às seguintes porcentagens da primeira parcela das equações que representam os modos de falha II e III:

- Pregos cilíndricos lisos (15%);



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

- Pregos cilíndricos corrugados (50%);
- Parafusos passantes com porca e arruelas (25%);
- Parafusos de rosca soberba (100%);
- Pinos metálicos ajustados (0%).

Recomenda-se que a contribuição do efeito de confinamento só deva ser considerada após investigação experimental que comprove o fenômeno.

Para o caso de ligações com parafusos passantes o valor $F_{ax,Rk}$ pode ser estimado pelo menor valor dentre a resistência de tração do parafuso e a resistência ao embutimento da arruela na madeira.

Para o caso de ligações com pregos o valor $F_{ax,Rk}$ pode ser estimado pelo menor valor dentre a resistência de tração do prego e a resistência ao embutimento da cabeça do prego na lateral externa da peça de madeira.

Para o caso de ligações com parafusos de rosca soberba o valor $F_{ax,Rk}$ pode ser estimado pelo menor valor dentre a resistência de tração do parafuso e a resistência ao embutimento da cabeça do parafuso na lateral externa da peça de madeira.

Não é permitida a consideração do efeito de confinamento para os pinos metálicos ajustados, sem a presença de porcas e arruelas.

3 Resistência característica de ligações de elementos de madeira e aço com pinos metálicos



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

A resistência de ligações com parafusos passantes com chapas metálicas laterais ou chapa metálica central deve ser obtida de ensaio padronizado atendendo as especificações da PN 02:126.10-001-4. No caso de impossibilidade de realização do ensaio padronizado pode-se estimar a resistência característica da ligação por

$$R_k = F_{v,Rk} \cdot n_{sp} \cdot n_0$$

Onde n_{sp} refere-se à quantidade de seções de corte por pino metálico, n_0 é o número efetivo de pinos por ligação, conforme item 6.1.6 e, $F_{v,Rk}$ é a resistência característica de um pino, correspondente a uma dada seção de corte.

As ligações em madeira realizadas com chapas de aço e pinos metálicos possuem modos de falha caracterizados pela espessura t_s das chapas metálicas. Chapas metálicas com espessura menor ou igual a $0,5d$ são classificadas como chapas finas e, chapas com espessura maior ou igual a d e diâmetro de pré-furação menor ou igual a $1,2 d$ são classificadas como chapas grossas. A resistência característica de ligação com limites compreendidos entre chapa fina e chapa grossa deve ser calculada por interpolação linear a partir dos menores valores obtidos pelas equações correspondentes.

A resistência ao corte do pino metálico, bem como a resistência da chapa metálica deve ser verificada considerando as recomendações da NBR 8800.

As chapas metálicas empregadas em ligações em madeira devem ter espessura mínima de 6 mm para edificações em geral e 9 mm para pontes.

Para que a ligação possa ser considerada resistente devem ser atendidas as especificações de espaçamentos e pré-furação conforme item 6.1.9 e 6.1.10, respectivamente, os espaçamentos e diâmetro de pré-furação das chapas metálicas, conforme as recomendações da norma NBR 8800, bem como as seguintes:



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

- Tanto na configuração em corte simples como na configuração em corte duplo o diâmetro efetivo do parafuso passante não deve exceder a metade da menor espessura dos elementos de madeira interligados (figura 21).

- O diâmetro efetivo do prego não deve ser maior que um quinto da menor espessura dentre as peças de madeira ligadas. Permite-se que o diâmetro efetivo do prego seja maior que um quarto da espessura da peça de madeira mais delgada, desde que o diâmetro da pré-furação seja igual ao diâmetro efetivo do prego. Em ligações localizadas, a penetração da ponta do prego na peça de madeira deve ser de pelo menos 12 d ou igual à espessura dessa peça (figura 22).

- O diâmetro efetivo do parafuso de rosca soberba não deve ser maior que um quinto da menor espessura dentre as peças de madeira ligadas. Permite-se que o diâmetro efetivo do parafuso seja maior que um quarto da espessura da peça de madeira mais delgada, desde que o diâmetro da pré-furação seja igual ao diâmetro efetivo do parafuso. Em ligações localizadas, a penetração da ponta do parafuso de rosca soberba na peça de madeira deve ser de pelo menos 6 d ou igual à espessura dessa peça (figura 23).

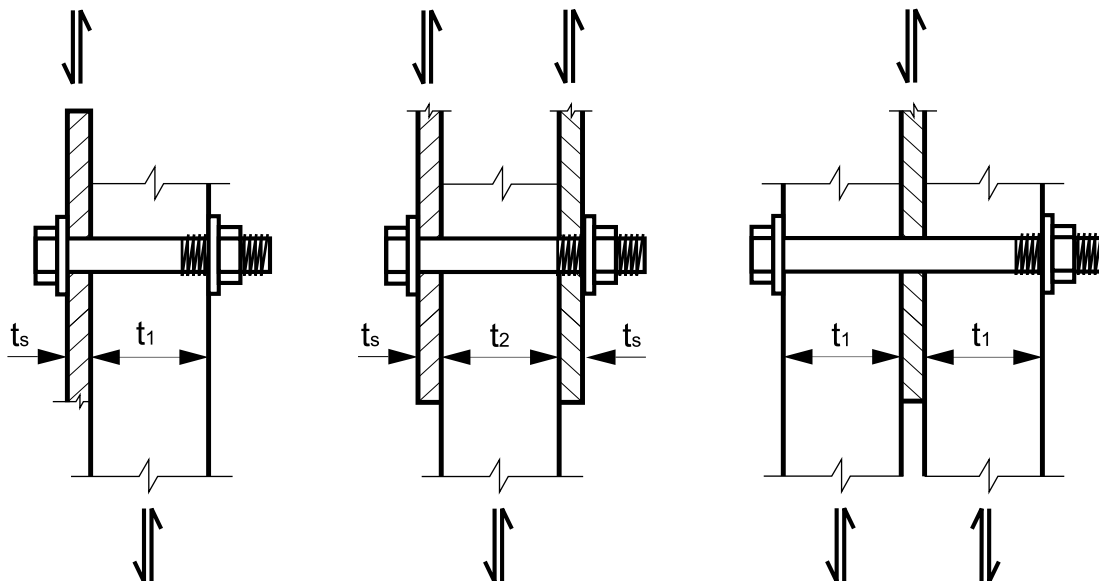


Figura 21 – Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com parafusos passantes



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

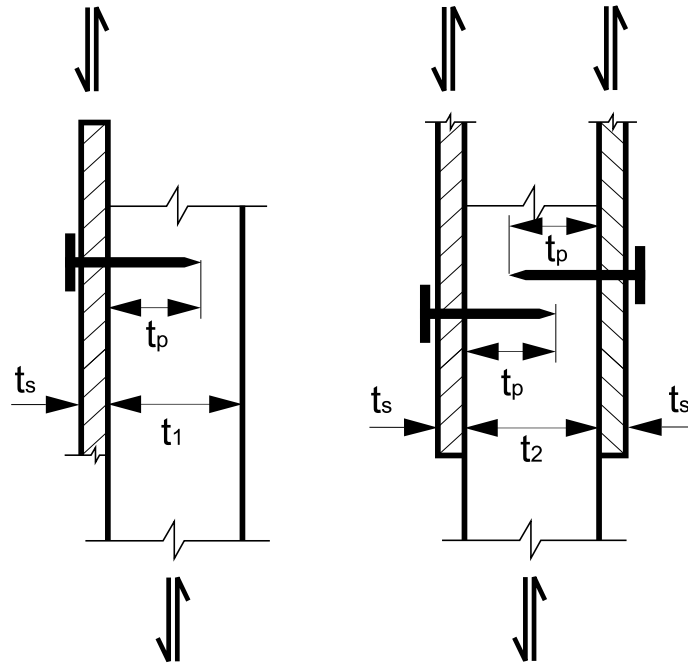


Figura 22 – Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com pregos em corte simples

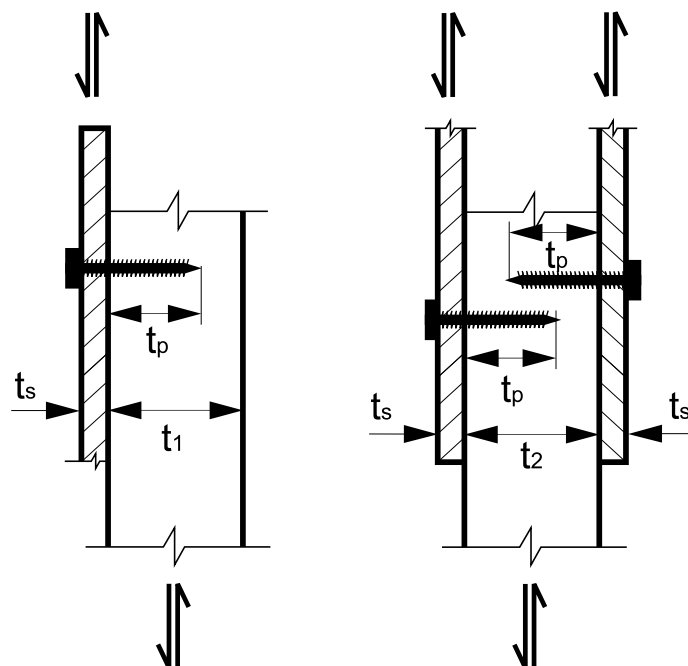


Figura 23 – Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com parafusos de rosca soberba em corte simples



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

A força característica por plano de corte e por pino metálico deve ser considerada como o menor valor dentre os resultados das equações seguintes:

- Para ligações com chapas finas em corte simples

Modo de falha (a) $F_{v,Rk} = 0,4 \cdot f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d$

Modo de falha (b) $F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \left[\sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{e1,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

- Para ligações com chapas grossas em corte simples

Modo de falha (c) $F_{v,Rk} = f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d$

Modo de falha (d) $F_{v,Rk} = f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{e1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

Modo de falha (e) $F_{v,Rk} = 2,3 \cdot \left[\sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{e1,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

- Para ligações com chapa metálica central de qualquer espessura, em dupla seção de corte

Modo de falha (f) $F_{v,Rk} = f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d$

Modo de falha (g) $F_{v,Rk} = f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{e1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

Modo de falha (h) $F_{v,Rk} = 2,3 \cdot \left[\sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{e1,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

- Para ligações com duas chapas laterais caracterizadas como finas, em corte duplo



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

Modo de falha
(j)

$$F_{v,Rk} = 0,5 \cdot f_{e2,k} \cdot t_2 \cdot d$$

Modo de falha
(k)

$$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \left[\sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{e2,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

- Para ligações com duas chapas laterais caracterizadas como grossas, em corte duplo

Modo de falha (l)

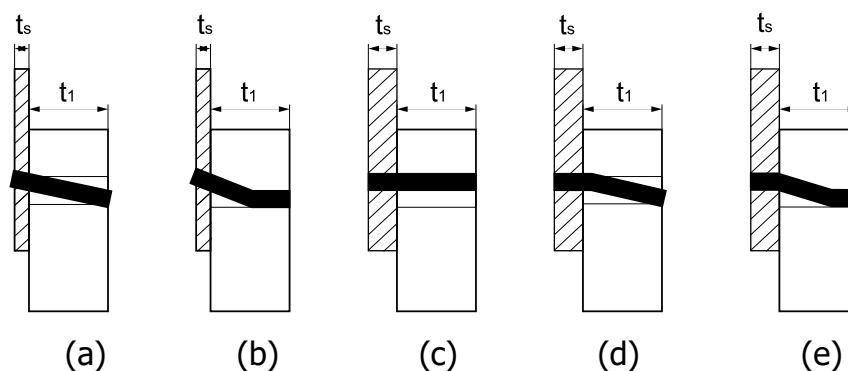
$$F_{v,Rk} = 0,5 \cdot f_{e2,k} \cdot t_2 \cdot d$$

Modo de falha
(m)

$$F_{v,Rk} = 2,3 \cdot \left[\sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{e2,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

Onde t_1 é a menor espessura dentre os elementos de madeira laterais, para os casos em corte simples e corte duplo, t_2 é a espessura do elemento de madeira central para os casos em corte duplo, $f_{e1,k}$ e $f_{e2,k}$ referem-se à resistência ao embutimento dos elementos de madeira 1 e 2, respectivamente, calculados conforme item 6.1.2, $M_{y,Rk}$ é o momento característico resistente do parafuso, determinado conforme o item 6.1.3.

A figura 24 ilustra os modos de falha para ligações com chapas de aço e pinos metálicos.





Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

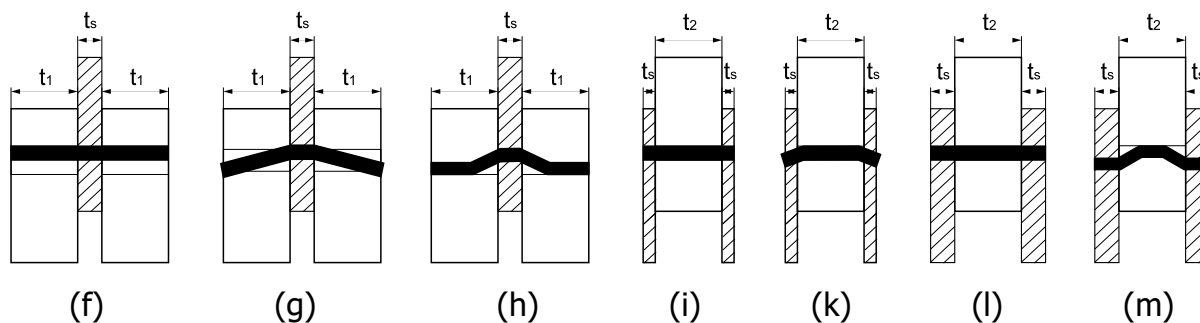


Figura 24 - Modos de falha para determinação da força característica de ligações com pinos metálicos e chapas de aço

A contribuição resistência ao arrancamento $F_{ax,Rk}$ bem como a contribuição do efeito de corda $F_{ax,Rk} / 4$, devem atender as mesmas especificações do item 6.2.

4 Resistência característica de ligações em madeira com anéis metálicos

A resistência característica de ligações com anéis metálicos deve ser obtida de ensaio padronizado atendendo as especificações da PN 02:126.10-001-4. No caso de impossibilidade de realização do ensaio padronizado pode-se estimar a resistência característica da ligação por

$$R_k = F_{v,Rk} \cdot n_a$$

Onde n_a refere-se à quantidade de anéis empregados na ligação e, $F_{v,Rk}$ é a resistência característica de um anel metálico, correspondente a uma dada seção de corte.

A resistência de um anel metálico correspondente a uma dada seção de corte da ligação entre duas peças de madeira é determinada em função das resistências ao cisalhamento longitudinal $f_{v0,d}$ das duas madeiras interligadas.



Timber Connections Design

Versão Educacional 4.0

O valor de cálculo da resistência ao cisalhamento da madeira correspondente a um anel metálico é dado pelo menor dos valores

$$F_{v,Rk} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot f_{v0,k}$$

$$F_{v,Rk} = t \cdot d \cdot f_{c\alpha,k}$$

onde t é a profundidade de penetração do anel em cada peça de madeira, d o seu diâmetro interno, como mostrado na figura 17, e $f_{c\alpha,k}$ o valor característico da resistência à compressão inclinada de α .

5 Ligações em madeira com chapas com dentes estampados

As chapas com dentes estampados somente podem ser empregadas em ligações estruturais quando a eficiência da cravação for garantida por seu executor. Os valores da resistência de cálculo que podem ser atribuídos às chapas com dentes estampados, correspondentes a uma única seção de corte, devem ser garantidos pelo respectivo fabricante, de acordo com a legislação brasileira.