

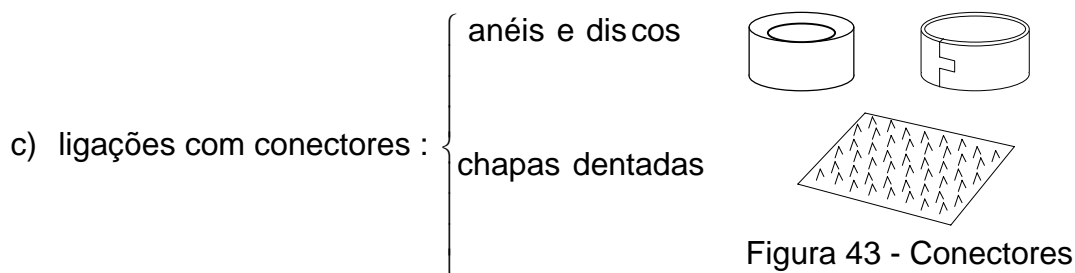
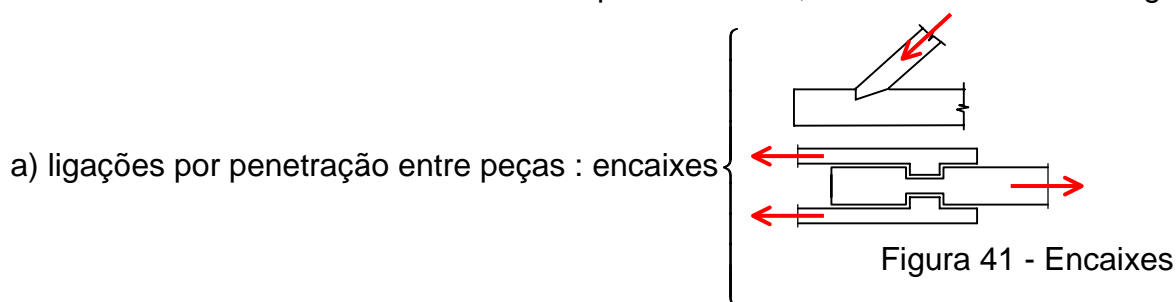
## LIGAÇÕES NAS PEÇAS ESTRUTURAIS DE MADEIRA

### 6.1 Generalidades

A limitação do comprimento das peças de madeira, fruto de sua extração de troncos de árvores, requer a adoção de meios ligantes na emenda das peças estruturais.

Assim também ocorre na união das barras componentes de estruturas reticuladas.

Uma boa maneira de visualizar as várias possibilidades, é classificar os meios ligantes :



As ligações por encaixes são praticadas até hoje, para peças sujeitas apenas à compressão. Para peças tracionadas, como se fazia no passado, são anti-economicas, e não se usam mais.

As ligações com pinos metálicos ou de madeira são as mais conhecidas e praticadas no Brasil. O desuso de outros tipos de meio ligante explica-se pela elevada capacidade mecânica das madeiras Brasileiras.

As ligações com anéis e discos sempre foram muito praticadas em países desenvolvidos. No Brasil, começam-se a utilizar as chapas dentadas, nos últimos anos, devido à sua grande praticidade.

As ligações com cola, que não caracterizam emendas de peças ou junção de barras em nós de estruturas, começam também no Brasil a ganhar maior utilização, com o uso crescente de peças industrializadas, produzidas a partir de laminas coladas entre si.

No calculo de ligações, a **NBR-7190** não permite levar em conta o atrito das superfícies de contato, nem de esforços transmitidos por estribos, braçadeiras ou grampos.

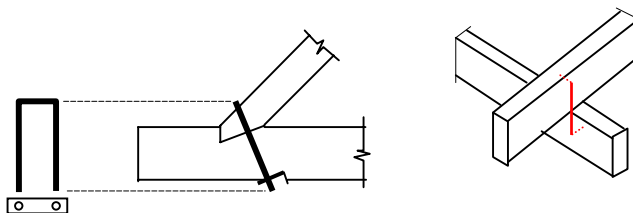


Figura 45 – Estribos e grampos

O critério de dimensionamento dos elementos de ligação deve obedecer a expressão :

$$S_d \leq R_d \quad \text{equação 6.1}$$

Sendo  $S_d$  as solicitações de calculo nas ligações e  $R_d$  as resistências de calculo dos respectivos dispositivos de ligação.

Os valores das resistências de calculo devem se referir às duas possibilidades de ruptura da ligação :

- a) a resistência da madeira ao esmagamento e cisalhamento nos contatos,
- b) a resistência do próprio dispositivo.

## 6.2 Ligações com pinos metálicos<sup>1</sup>

Nas ligações com pinos, leva-se em conta a resistência da madeira ao embutimento (esmagamento na área reduzida de contato entre o pino e as peças de madeira), conforme estabelecido em 7.2.7 da **NBR-7190** :

$$f_{e,0,d} = f_{c,0,d} \quad \text{equação 6.2}$$

$$f_{e,90,d} = 0,25 \cdot f_{c,0,d} \cdot \alpha_E \quad \text{equação 6.3}$$

<sup>1</sup> Estas referências constituem-se na maior parte, no texto da **NBR-7190**.

Sendo  $\alpha_E$  o parâmetro que leva em conta o efeito de compressão localizada no contato entre pino e madeira, para ângulo de  $90^\circ$  entre esforço e fibras da peça de madeira :

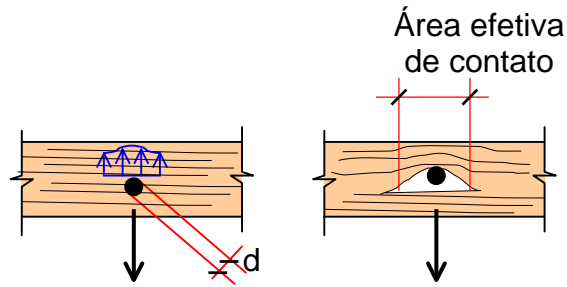


Figura 46 – Mecanismo de apoio do pino sobre a madeira

O valor de  $\alpha_E$  é expresso pela tabela 14 da **NBR-7190**, reproduzida pela tabela 21 :

Diâmetro do pino “d” (cm)	≤ 0,62	0,95	1,27*	1,6	1,9	2,2
$\alpha_E$	2,5	1,95	1,68	1,52	1,41	1,33

Diâmetro do pino “d” (cm)	2,5	3,1	3,8	4,4	5	≥ 7,5
$\alpha_E$	1,27	1,19	1,14	1,1	1,07	1,0

Tabela 21 – Valores de  $\alpha_E$  – **NBR-7190**

\* Na Norma, originalmente, é 1,25.

Quando nas ligações tratar-se de esforço inclinado de um ângulo  $\alpha$ , em relação à direção das fibras, usa-se a fórmula de Hankinson na determinação da resistência equivalente :

$$f_{e\alpha d} = \frac{f_{e,0,d} \cdot f_{e,90,d}}{f_{e,0,d} \cdot \sin^2 \alpha + f_{e,90,d} \cdot \cos^2 \alpha} \quad \text{equação 6.4}$$

As ligações com pinos (pregos, parafusos ou cavilhas) são consideradas deformáveis, quando feitas com 2 ou 3 pinos. Permite-se o seu emprego exclusivamente em estruturas isostáticas. Nunca serão permitidas ligações com um único pino.

Já as ligações com 4 ou mais pinos podem ser consideradas rígidas, se forem respeitados os seguintes diâmetros de pré-furação da madeira :

$$\text{a) pregos : } \begin{cases} \text{coníferas:} & d_0 = 0,85 d_{ef} & \text{equação 6.5} \\ \text{dicotiledôneas:} & d_0 = 0,90 d_{ef} & \text{equação 6.6} \end{cases}$$

$$\text{sendo : } \begin{cases} d_0 = \text{diâmetro da pré - furação} \\ d_{ef} = \text{diâmetro efetivo do prego} \end{cases}$$

Se as estruturas forem de caráter provisório, dispensa-se<sup>2</sup> a furação prévia da madeira, desde que sejam macias ( $\rho_{ap} \leq 6 \text{ kN/m}^3$ ) e  $d_{ef} \leq 1/6$  da espessura da peça mais delgada. Também deve ser estendida a distancia entre pregos na direção da carga, para  $10d$ .

b) parafusos :  $d_0 \leq d_{ef} + 0,5 \text{ mm}$  equação 6.7

c) cavilhas de aço e de madeira :  $d_0 = d_{ef}$  equação 6.8

Se não forem atendidas as especificações anteriores de pré-furação, as ligações deverão ser dimensionadas como deformáveis.

### 6.2.1) resistência dos pinos metálicos nas ligações :

A resistência total de cada pino metálico em uma determinada ligação é dada pela soma das resistências correspondentes às diferentes seções de corte, em cada elemento de ligação :

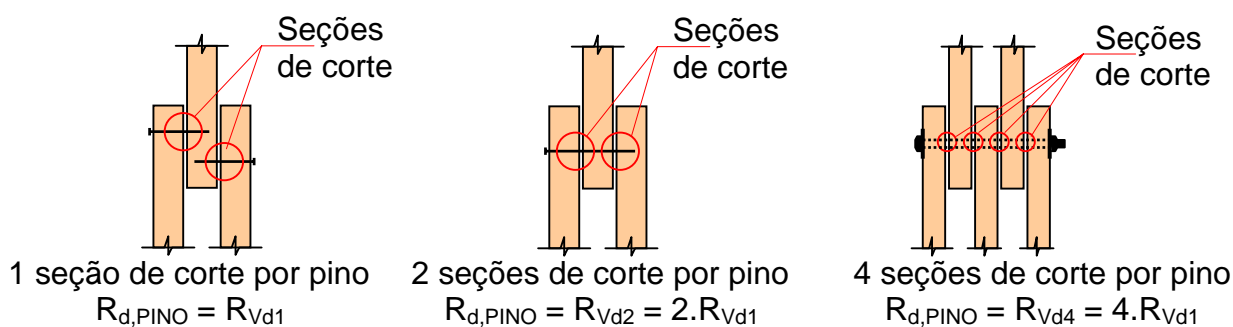


Figura 47 – Seções de corte em ligações

onde  $R_{vd1}$  é a resistência do pino correspondente a uma seção de corte.

Para até 8 pinos alinhados na direção da carga solicitante na ligação, a resistência por pino é considerada integralmente. Para mais do que 8 pinos alinhados na direção da carga, deve ser considerada uma redução de  $2/3$  na resistência individual, para os pinos que excederem o limite de 8. Isto é feito em função da distribuição desigual da carga aplicada entre os vários alinhados :

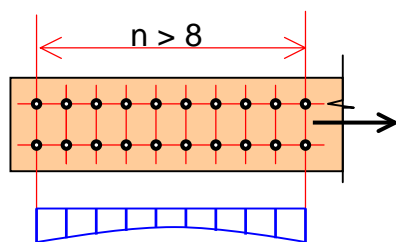


Figura 48 - Distribuição do esforço entre os pinos nas ligações

<sup>2</sup> A exigência da **NBR-7190** de pré-furação para madeira macias é descabida. Na prática, tais madeiras recebem pregação direta, sem a apresentação de quaisquer tipo de problemas.

Neste caso, o número de pinos necessários na ligação deve ser recalculado para o número convencional  $n_0$  :

$$n_0 = 8 + \frac{2}{3} \cdot (n - 8) \quad \text{equação 6.9}$$

sendo :  $\begin{cases} n_0 = \text{numero de pinos efetivo} \\ n = \text{numero de pinos resultante do calculo inicial} \end{cases}$

Para a fabricação dos pinos de aço, a **NBR-7190** especifica os valores mínimos da resistência característica do material :

$$f_{yk} \geq \begin{cases} 600 \text{ MPa,} & \text{para pregos} & \text{equação 6.10} \\ 240 \text{ MPa,} & \text{para parafusos} & \text{equação 6.11} \end{cases}$$

Os pinos devem ter os seguintes diâmetros mínimos :

$$d \geq \begin{cases} 3 \text{ mm} & \text{para pregos} & \text{equação 6.12} \\ 10 \text{ mm}^* & \text{para parafusos} & \text{equação 6.13} \end{cases}$$

\*Na prática, tolera-se o uso do parafuso  $d = 3/8''$  (9,5mm).

Quanto à ruptura destas ligações, devem ser consideradas as seguintes possibilidades :

a) ruptura da madeira :

a.1) por esmagamento na área de contato pino/madeira :

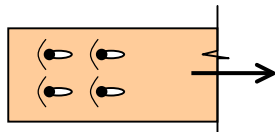


Figura 49 – Ruptura por esmagamento

Esta possibilidade é evitada quando se colocam tantos pinos quanto necessários, para que as tensões de esmagamento não superem a capacidade da madeira ao embutimento ( $f_{ed}$ ).

a.2) por cisalhamento da madeira :

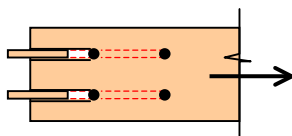


Figura 50 – Ruptura por cisalhamento

Esta possibilidade é evitada quando se guardam distâncias suficientes entre os pinos ou aos bordos das peças, na direção da carga, de tal forma que as tensões de cisalhamento não superem a capacidade da madeira ao cisalhamento ( $f_{vd}$ ).

b) por ruptura do pino metálico, por flexão :

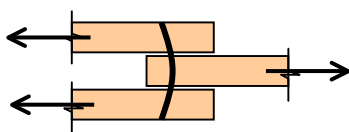


Figura 51 – Ruptura por flexão do pino

Esta possibilidade é evitada quando o diâmetro do pino é suficientemente grosso (grande inércia) em relação à extensão do carregamento (espessura das peças), de tal forma a limitar a sua flexão.

A resistência de cálculo, de um pino metálico, correspondente a uma seção de corte, é determinada em função das seguintes características :

- resistência ao embutimento da madeira :  $f_{wed}$  .
- resistência do aço dos pinos :  $f_{yd}$  .
- diâmetro do pino metálico :  $d$  .
- espessura convencional “ $t$ ” relativa à seção de corte correspondente.

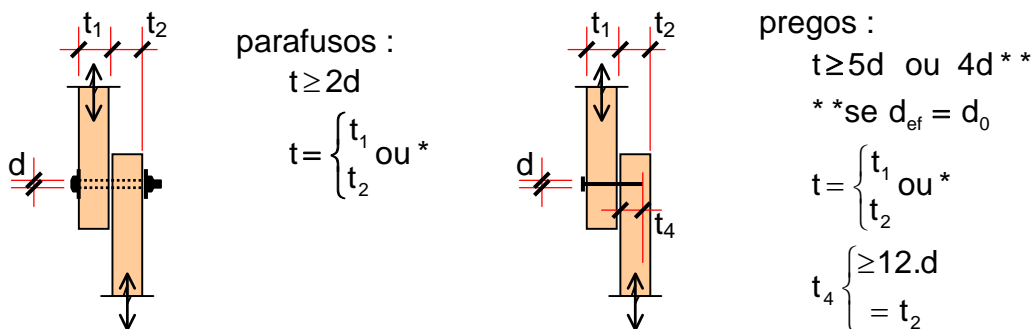


Figura 52 – Pinos em corte simples

\*Observação : considerar  $t_1$  ou  $t_2$  separadamente, porque os valores de  $R_{Vd1}$  podem ser calculados de forma separada, considerando-se para cada peça o ângulo respectivo formado entre esforço e a direção das fibras: uma das peças pode ter um ângulo  $\alpha$  diferente das demais.

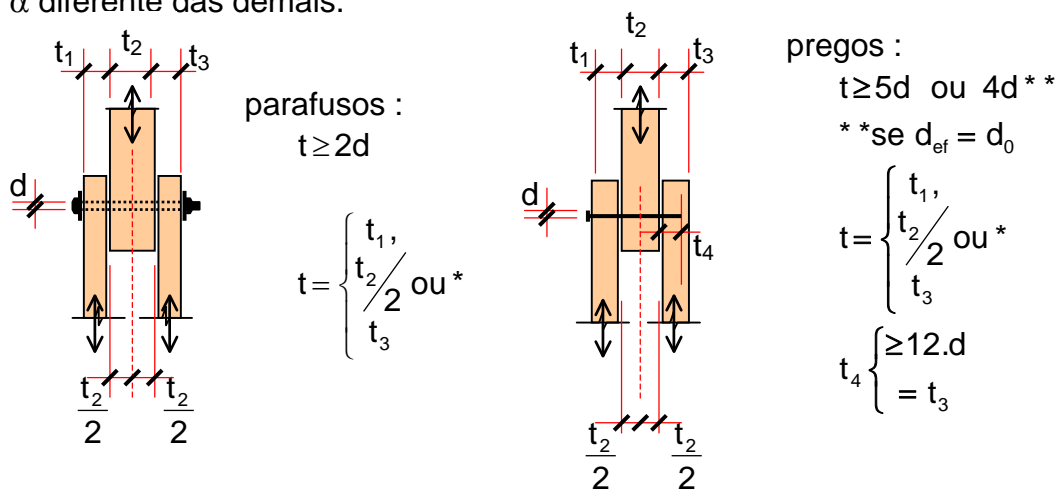
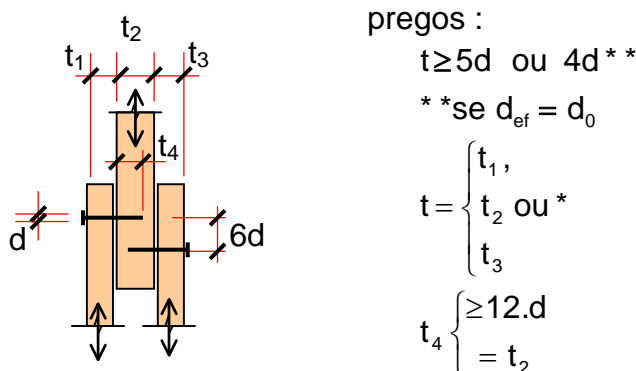


Figura 53 – Pinos em corte duplo

Deve ser acrescentada uma outra possibilidade de ligação pregada com peças múltiplas e corte simples :

Figura 54 – Corte simples em peças múltiplas



Toma-se a espessura convencional  $t = t_2$ , desde que se respeite a distância mínima entre pregos das faces opostas, na peça central.

Outras duas situações também merecem uma análise detalhada quanto ao apoio dos pinos nas respectivas peças de madeira :

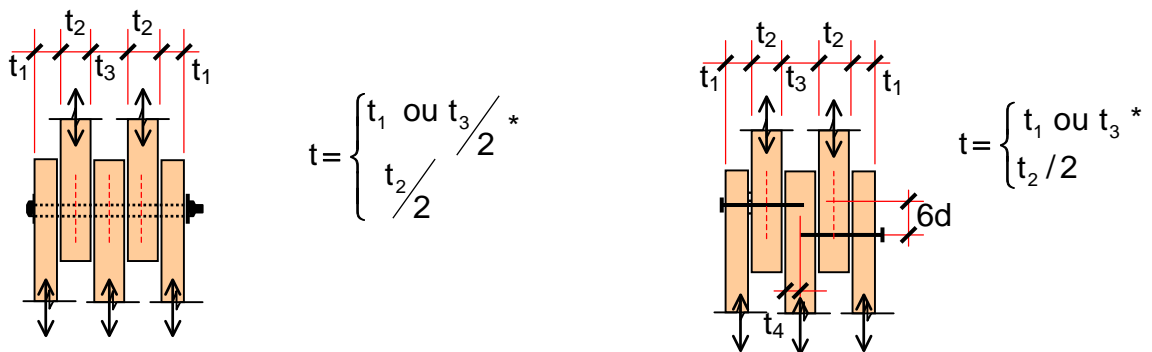


figura 55 – Ligações em peças múltiplas

### Conclusão :

O raciocínio básico na determinação do valor de “t”, em qualquer das peças envolvidas na ligação, está relacionada à área de apoio respectiva do pino sobre a madeira. Como “d” é igual para todas as peças, nesta área de apoio, o raciocínio restringe-se à espessura das respectivas peças de madeira.

Critério da **NBR-7190** :

$$\beta = \frac{t}{d} \quad \text{equação 6.14}$$

$$\beta_{lim} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \quad \text{equação 6.15}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad \text{equação 6.16}$$

$$\gamma_s = 1,10 \quad \text{equação 6.17}$$

Estabelecidos os valores de  $\beta$  e  $\beta_{lim}$ , determina-se o tipo de ruptura que define os valores de  $R_{Vd1}$  :

a) embutimento da madeira, se  $\beta \leq \beta_{lim}$  :

$$R_{Vd1} = 0,40 \cdot \frac{t^2}{\beta} \cdot f_{ed} \quad \text{equação 6.18}$$

b) flexão do pino, se  $\beta > \beta_{lim}$  :

$$R_{Vd1} = 0,625 \cdot \frac{d^2}{\beta_{lim}} \cdot f_{yd} \quad \text{equação 6.19}$$

Quando se tratar de ligação com cobrejuntas de aço, determina-se a capacidade do pino, em contato com as chapas, segundo o critério da **NBR-8800**.

### 6.2.2) espaçamento entre pinos (metálicos e de madeira) nas ligações :

a) entre pinos consecutivos na direção da carga :

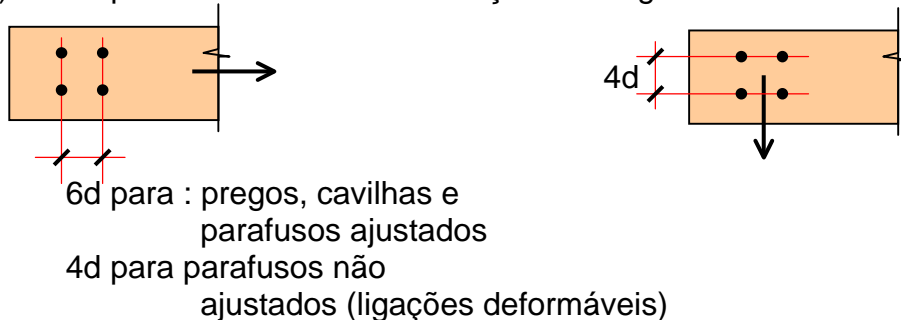


Figura 56 – Espaçamento entre pinos consecutivos

*A respeito das ligações rígidas e deformáveis, estas últimas, aparentemente inconvenientes, não apresentam segundo a NBR-7190, nenhuma desvantagem em relação às primeiras. Ao contrário, podem ter as distâncias entre pinos, na direção da carga, reduzidas de **6d** para **4d**. Considera-se inconveniente fazer tal redução, e na prática, adota-se o valor **6d** para todas as ligações, como distância entre pinos consecutivos, na direção da carga.*

b) do último pino ao bordo das peças :

Neste ponto, é interessante utilizar o conceito de bordos carregado (**BC**) e descarregado (**BD**), nas peças de madeira envolvidas na ligação :

O bordo carregado (**BC**) corresponde ao bordo da peça localizado no lado onde se desenvolvem as tensões de contato e de cisalhamento. Em caso contrário, trata-se de bordo descarregado (**BD**).

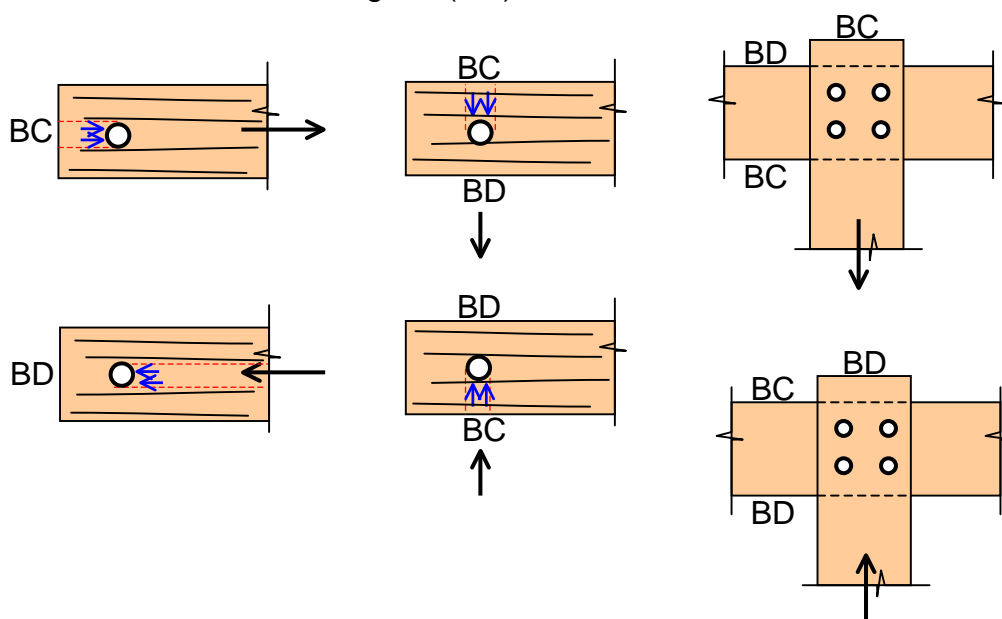


Figura 57 – Bordos carregado e descarregado nas ligações



Nestas condições :

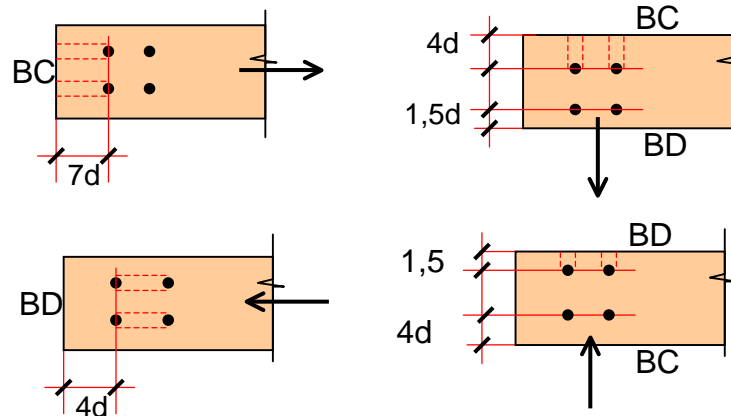


Figura 58 – Espaçamento dos pinos aos bordos

c) entre pinos na direção normal à carga :

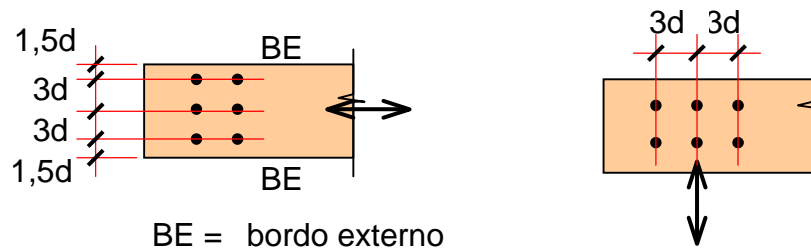


Figura 59 – Espaçamento dos pinos na direção normal à carga

Observação :

Nas ligações com pregos, a profundidade dos mesmos, se forem cravados de faces opostas, devem evitar interferências, recomendando-se a alternância da cravação, em relação ao gabarito de espaçamentos :

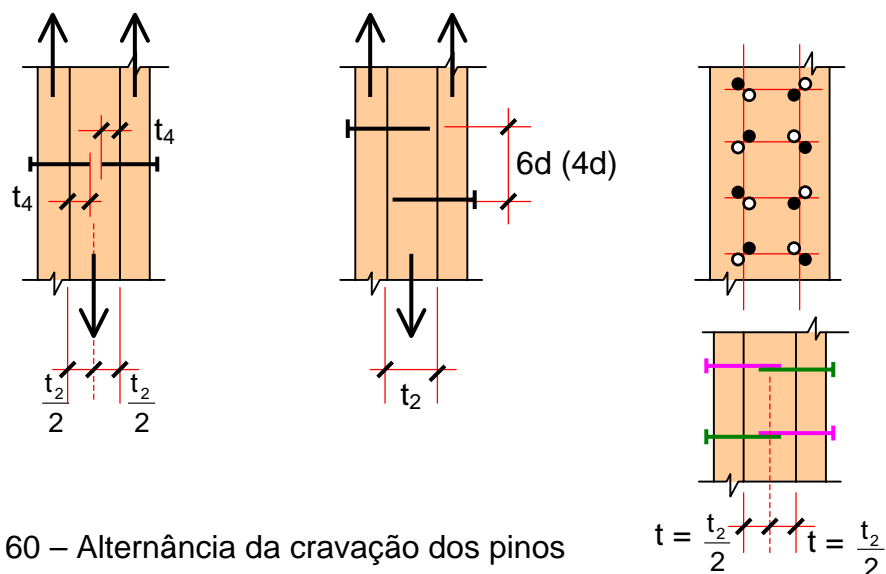
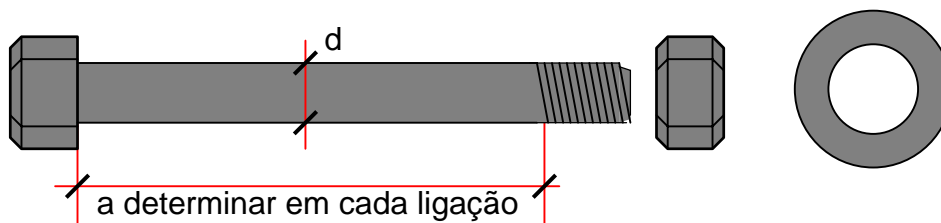


Figura 60 – Alternância da cravação dos pinos

### 6.2.3) tabela de meios ligantes :

a) parafusos lisos, com cabeça e porca :

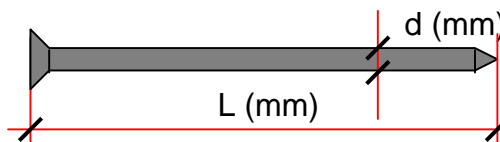


Diâmetros "d" (polegadas)	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1/1"
Diâmetros "d" (cm)	0,95*	1,27	1,60	1,90	2,20	2,54

Tabela 22 – Diâmetros de parafusos lisos

\* utiliza-se este parafuso, embora  $d_{\min} = 10$  mm, pela **NBR-7190**.

b) pregos :



prego	d	L	pr/kg
17 X 21	3,0	48	291
17 X 24		56	260
17 X 27		62	240
17 X 30		69	208

prego	d	L	pr/kg
18 X 24	3,4	55	224
18 X 27		62	198
18 X 30		69	187
18 X 33		76	171
18 X 36		83	153

prego	d	L	pr/kg
19 X 27	3,9	62	150
19 X 30		69	140
19 X 33		76	136
19 X 36		83	125
19 X 39		90	108

prego	d	L	pr/kg
20 X 30	4,4	69	106
20 X 33		76	98
20 X 39		90	85
20 X 42		97	77
20 X 48		110	67

prego	d	L	pr/kg
21 X 45	4,9	104	59
21 X 48		110	53
21 X 54		124	49

prego	d	L	pr/kg
22 X 42	5,4	97	49
22 X 45		104	47
22 X 48		110	46
22 X 51		117	43
22 X 54		124	38

prego	d	L	pr/kg
23 X 54	5,9	124	32
23 X 60		138	29
23 X 66		152	26

prego	d	L	pr/kg
24 X 60	6,4	138	25
24 X 66		152	22
25 X 72	7,0	166	18

prego	d	L	pr/kg
26 X 72	7,6	166	18
26 X 78		179	16
26 X 84		193	14

Tabela 23 – Bitolas comerciais de pregos (JP x LPP)

**JP** = Jouge de Paris (feira francesa), e 1 **LPP** ~ 2,3 mm (linha de polegadas portuguesas)

## 6.3 Ligações com cavilhas de madeira<sup>3</sup>

As cavilhas devem ser torneadas, constituídas de madeira dura da classe de resistência **C-60**, ou com madeiras moles de  $\rho_{ap} \leq 6 \text{ kN/m}^3$ , impregnadas com resinas que aumentem sua resistência até que se caracterizem como peças da classe de resistência **C-60**. Só serão admitidos os diâmetros de 16, 18 e 20 mm.

Repetem-se para as cavilhas de madeira as condições de rigidez estabelecidas para os pinos metálicos, com a pré-furação devendo ser executada com  $d_0 = d_{ef}$ .

### 6.3.1) resistência das cavilhas de madeira nas ligações :

A resistência total de cada cavilha de madeira em uma determinada ligação é dada pela soma das resistências correspondentes às diferentes seções de corte, em cada elemento de ligação.

Para uma dada seção de corte, a resistência  $R_{vd1}$  é determinada em função da resistência  $f_{c0d}$  da madeira da cavilha, considerada na sua possível flexão, e da resistência  $f_{c90d}$  da mesma, considerada no seu possível esmagamento. Também considera-se o diâmetro “d” da cavilha e as respectivas espessuras “t” das peças envolvidas na ligação, tal como se considera nos pinos metálicos.

Cavilhas em corte simples só são aceitas em ligações secundárias.

Critério da **NBR-7190** :

$$\beta = \frac{t}{d} \quad \text{equação 6.14}$$

$$\beta_{lim} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{f_{c0d,CAVILHA}}{f_{c90d,CAVILHA}}} \quad \text{equação 6.20}$$

Estabelecidos os valores de  $\beta$  e  $\beta_{lim}$ , determina-se o tipo de ruptura que define os valores de  $R_{vd1}$  :

a) esmagamento da cavilha, se  $\beta \leq \beta_{lim}$  :

$$R_{vd1} = 0,40 \cdot \frac{t^2}{\beta} \cdot f_{c90d,CAVILHA} \quad \text{equação 6.21}$$

se  $f_{c90d,CAVILHA} < f_{ed,MADEIRA}$ . Em caso contrário, usa-se o valor  $f_{ed,MADEIRA}$ .

b) flexão da cavilha, se  $\beta > \beta_{lim}$  :

$$R_{vd1} = 0,40 \cdot \frac{d^2}{\beta_{lim}} \cdot f_{c0d,CAVILHA} \quad \text{equação 6.22}$$

<sup>3</sup> Estas referências constituem-se basicamente, no texto da **NBR-7190**.

### 6.3.2) espaçamento entre cavilhas de madeira nas ligações :

Repete-se aqui o que se prescreve para pinos metálicos.

## 6.4 Ligações com conectores<sup>4</sup>

São admitidos anéis metálicos de aço apenas com os diâmetros internos  $d = 64$  ou  $102$  mm, com espessuras de 4 e 5 mm, respectivamente. Devem acompanhá-los parafusos que garantam a estabilidade da ligação, com diâmetros de 12 e 19 mm, respectivamente.

A resistência ao cisalhamento longitudinal  $f_{V0d}$  das peças de madeira envolvidas na ligação determina o valor da resistência correspondente a uma dada seção de corte, dado pelo menor dos dois valores seguintes :

$$\begin{cases} R_{ANEL,1} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot f_{V0d} & \text{equação 6.23} \\ R_{ANEL,2} = t \cdot d \cdot f_{c\alpha d} & \text{equação 6.24} \end{cases}$$

onde :  $d$  é o diâmetro do anel,

$t$  é o profundidade de cravação do anel na respectiva peça de madeira,

$f_{c\alpha d}$  = resistência de cálculo da madeira à compressão, na direção  $\alpha$ , em relação às fibras.

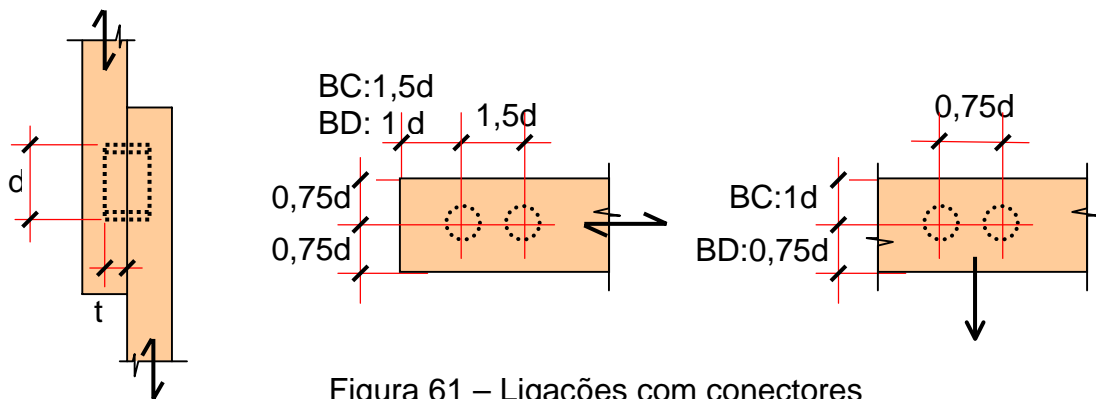


Figura 61 – Ligações com conectores

## 6.5 Ligações com chapas dentadas<sup>5</sup>

De acordo com a **NBR-7190**, deve ser garantida a boa execução da cravação. Os próprios fabricantes devem fornecer os respectivos valores das resistências de cálculo de chapas dentadas.

Como se vê, o uso de chapas dentadas, está confinado aos critérios de eventuais fabricantes, o que afasta este trabalho de qualquer análise mais apurada.

<sup>4</sup> Estas referências constituem-se basicamente, no texto da **NBR-7190**.

<sup>5</sup> Estas referências constituem-se basicamente, no texto da **NBR-7190**.