

Ligações de peças estruturais

PROF.^a MSC PATRÍCIA ANDRADE

Ligações

São todos os dispositivos que permitem assegurar a união e a transmissão de esforços entre os elementos de uma estrutura.

Por que é necessário fazer ligações em peças de madeira?

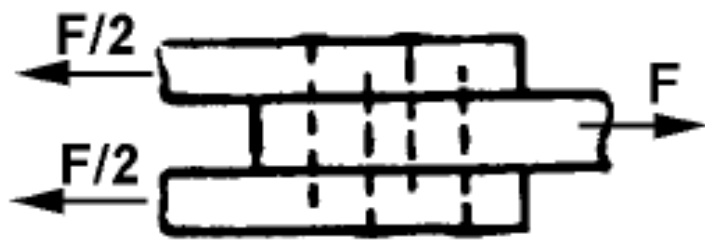
Limitação do comprimento das peças de madeira

Por que verificar as ligações?

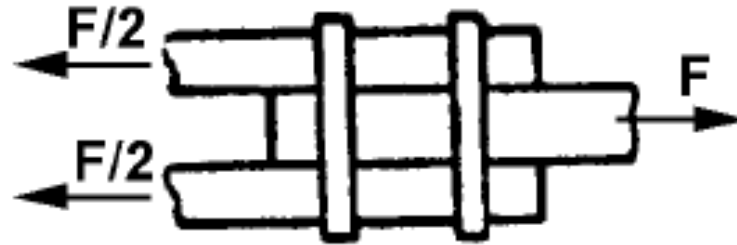
os pontos mais fracos de uma estrutura de madeira são suas ligações

Deve-se ter o máximo de cuidado tanto no cálculo quanto na execução destas uniões

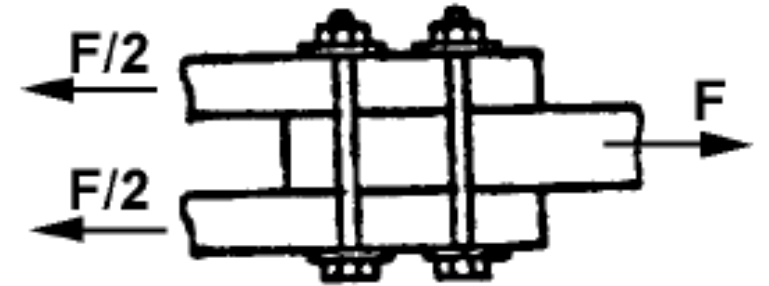
Principais dispositivos de ligações



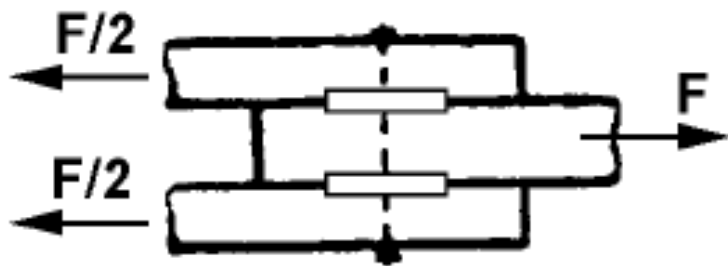
a) Pregos



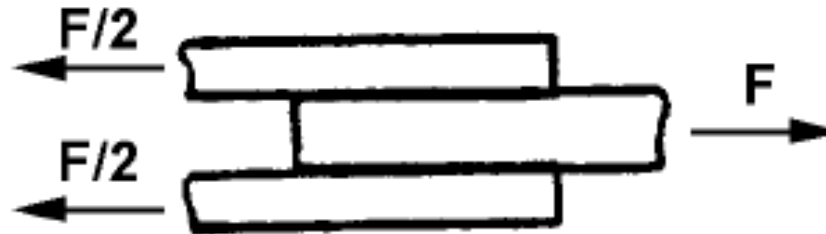
b) Cavilhas



c) Parafusos



d) Anel metálico



e) Adesivo



f) Chapa com dentes estampados

Tipos de ligações

Existem 3 tipos de ligações em estruturas de madeira conforme a forma como ocorre a transmissão de esforços

-contato

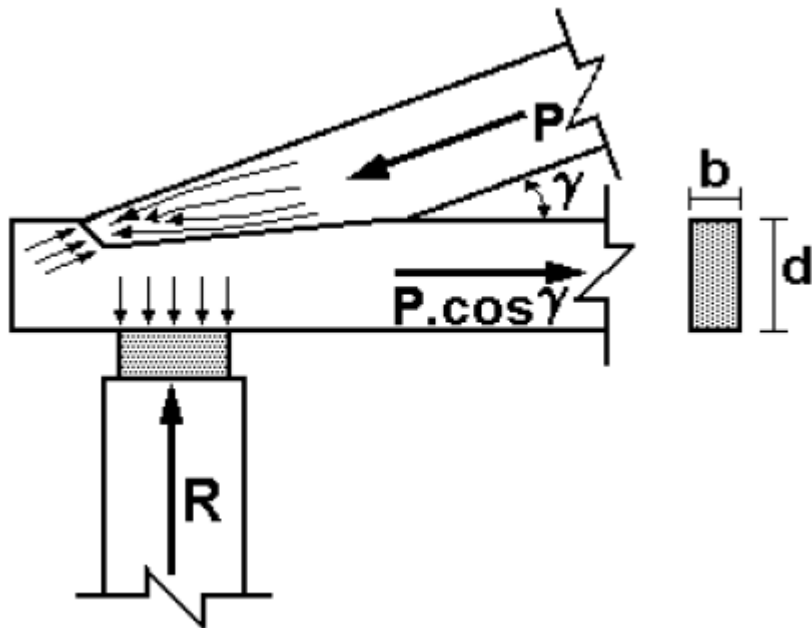
-penetração

-aderência

Tipos de ligações: Contato

só podem ser utilizadas quando existe garantia de que o esforço a ser transmitido é sempre de compressão

existência de contato entre as peças para transmissão de um esforço de compressão, é muito comum no nó de apoio de uma tesoura



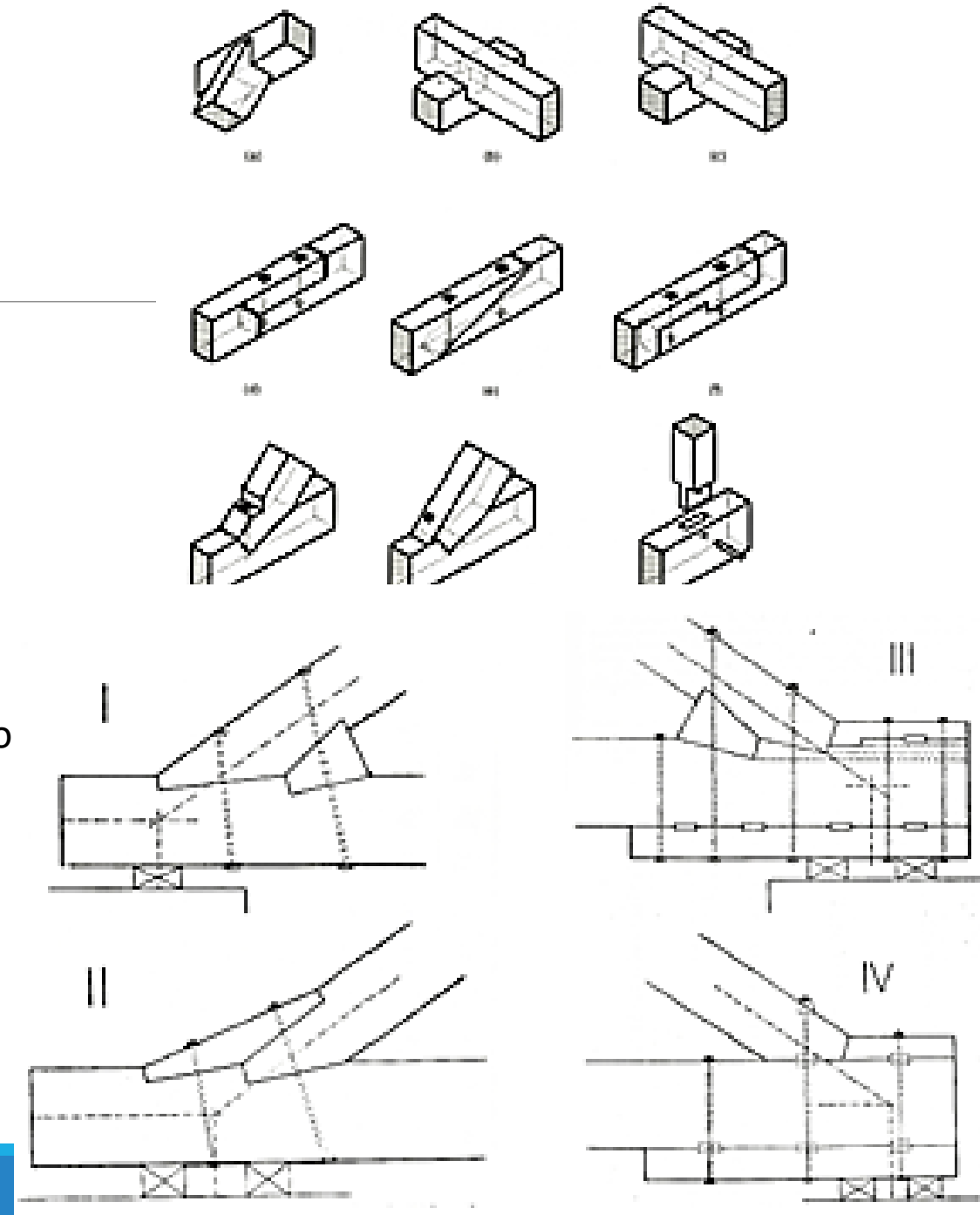
Encaixe

meio que foi mais utilizado nas ligações de peças de madeira

não necessitam de materiais adjacentes necessitam de mão-de-obra cuidadosa e especializada

as peças devem ter as faces transmissoras dos esforços totalmente em contato antes dos carregamentos

Os encaixes são mantidos no lugar com cavilhas, pregos, colas ou parafusos que não são levados em conta no cálculo destas ligações

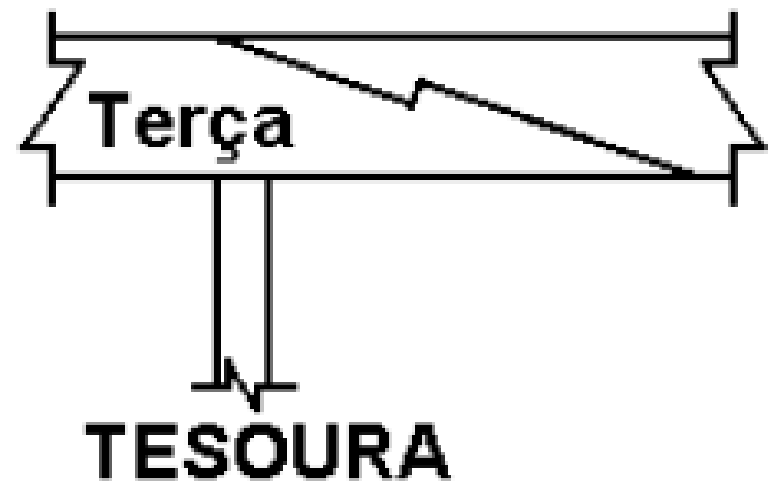


Ligações práticas

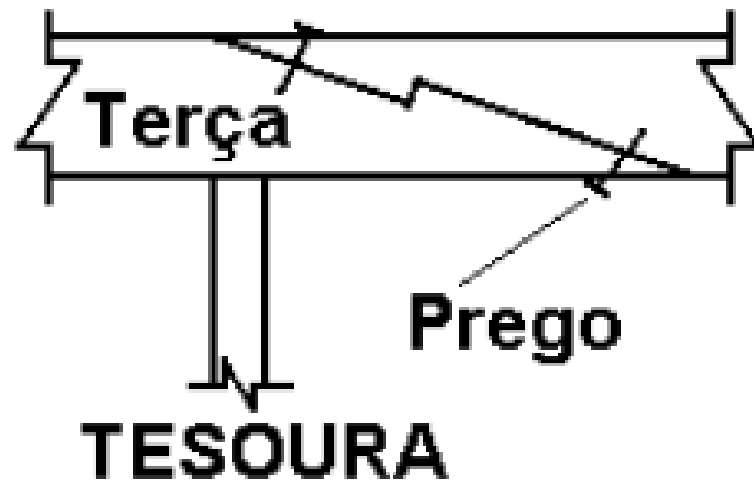
São ligações em estruturas de madeira que não têm modelo de cálculo definido entretanto têm sido utilizadas por carpinteiros sem apresentarem problemas para as estruturas e por isto tiveram sua aplicação difundida

Ligações típicas para emendas de terças

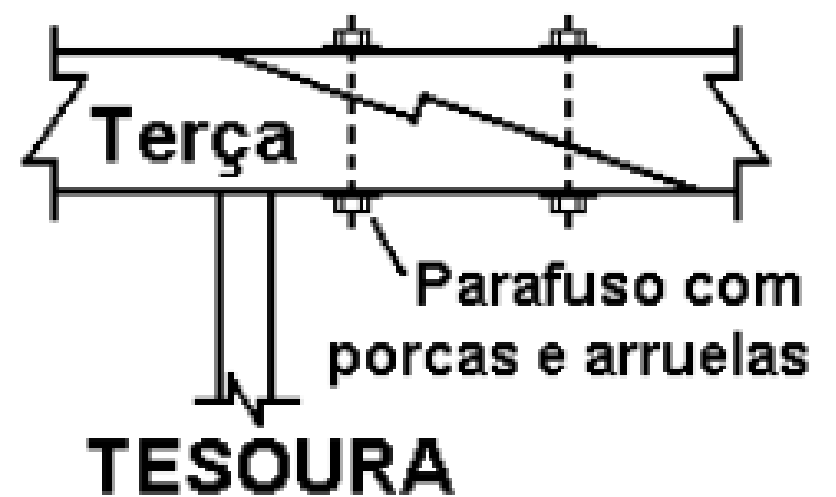
A emenda, em uma terça, deve ser feita o mais próximo possível da região dos apoios (ou seja, das tesouras), nunca no meio do vão



a) Modelo 1



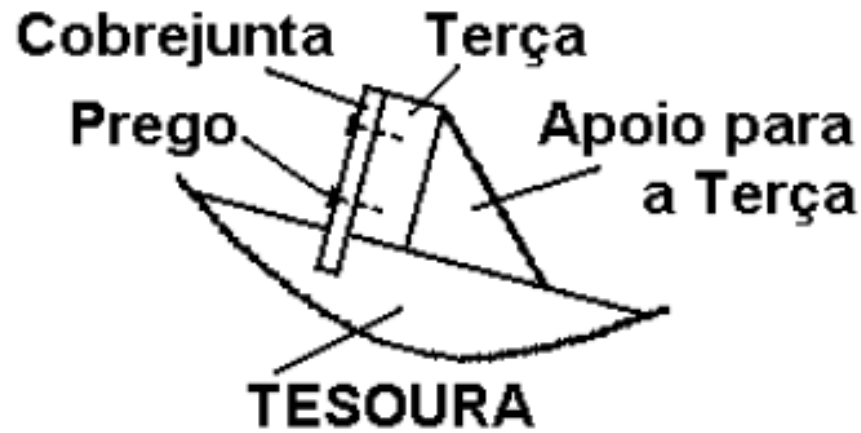
b) Modelo 2



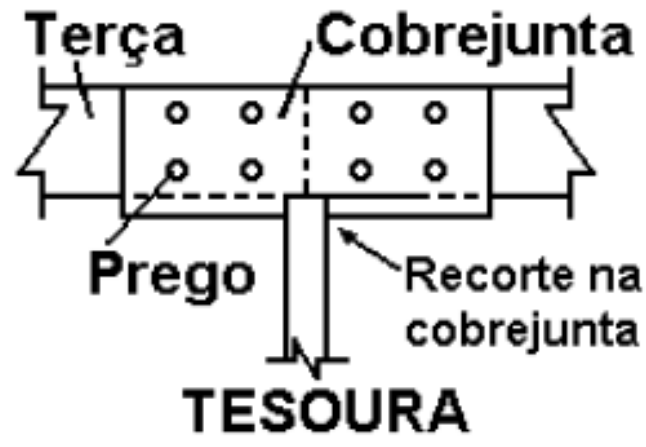
c) Modelo 3

Ligações típicas para emendas de terças

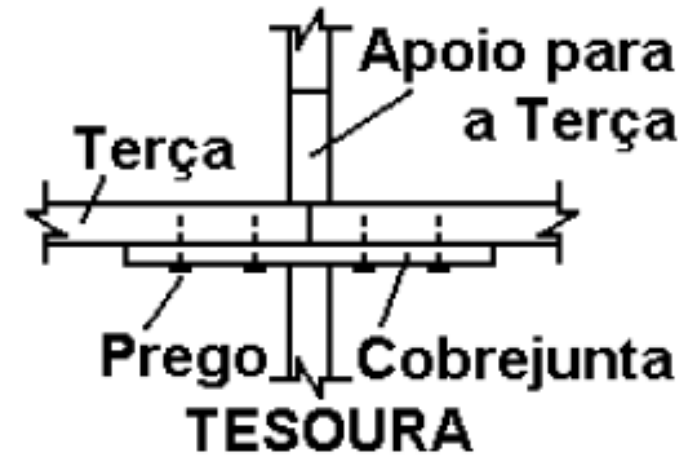
A emenda, em uma terça, deve ser feita o mais perto possível da região dos apoios (ou seja, das tesouras), nunca no meio do vão



Vista lateral



Vista frontal

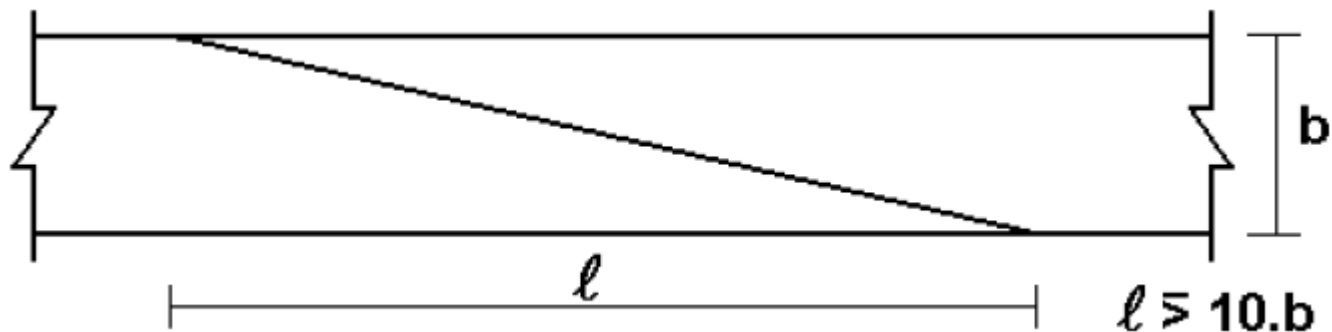


Vista superior

d) Modelo 4

Ligação colada em viga fletida ou tracionada

O modelo de cálculo, deste tipo de ligação, não é definido para vigas fletidas, embora para as peças tracionadas, segundo a norma brasileira, pode-se admitir 85% da resistência da peça maciça (NBR 7190/1997, item 7.7.4)

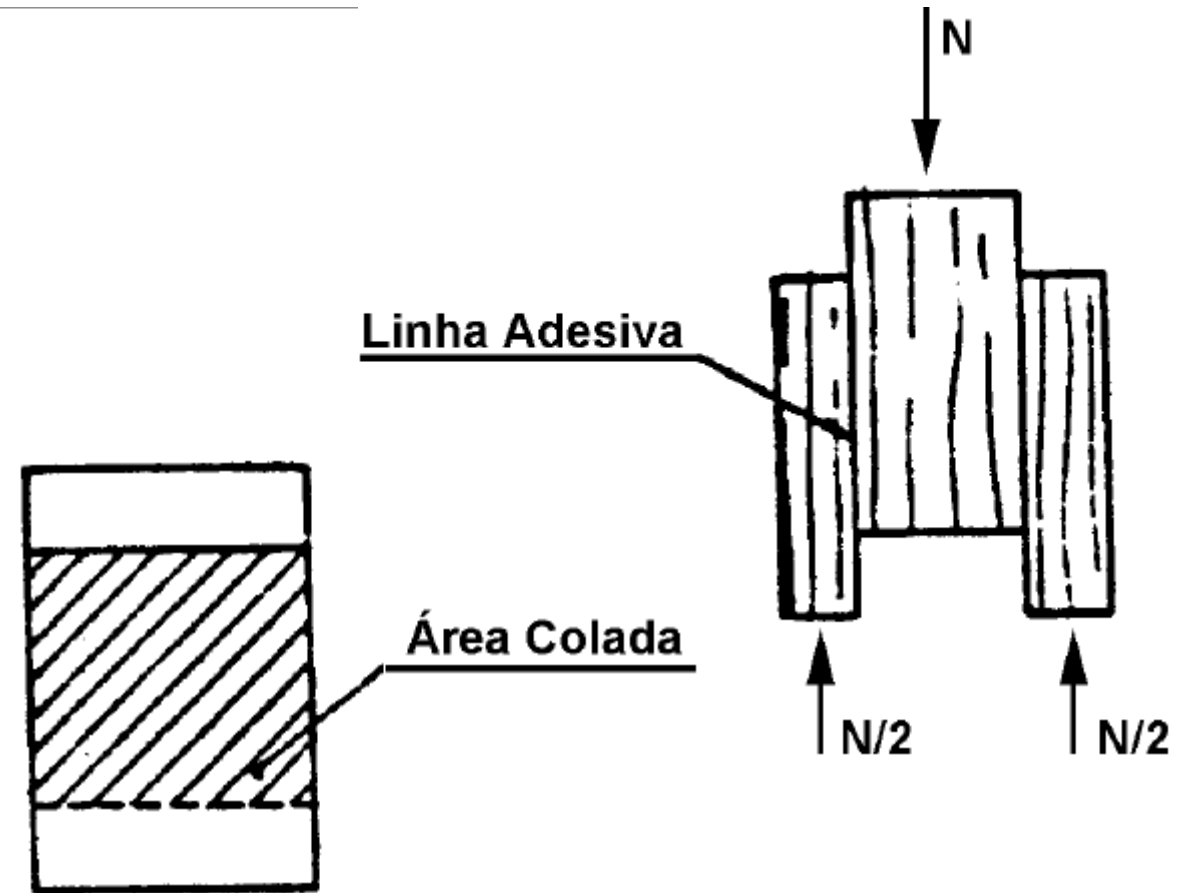


Tipos de ligações: aderência

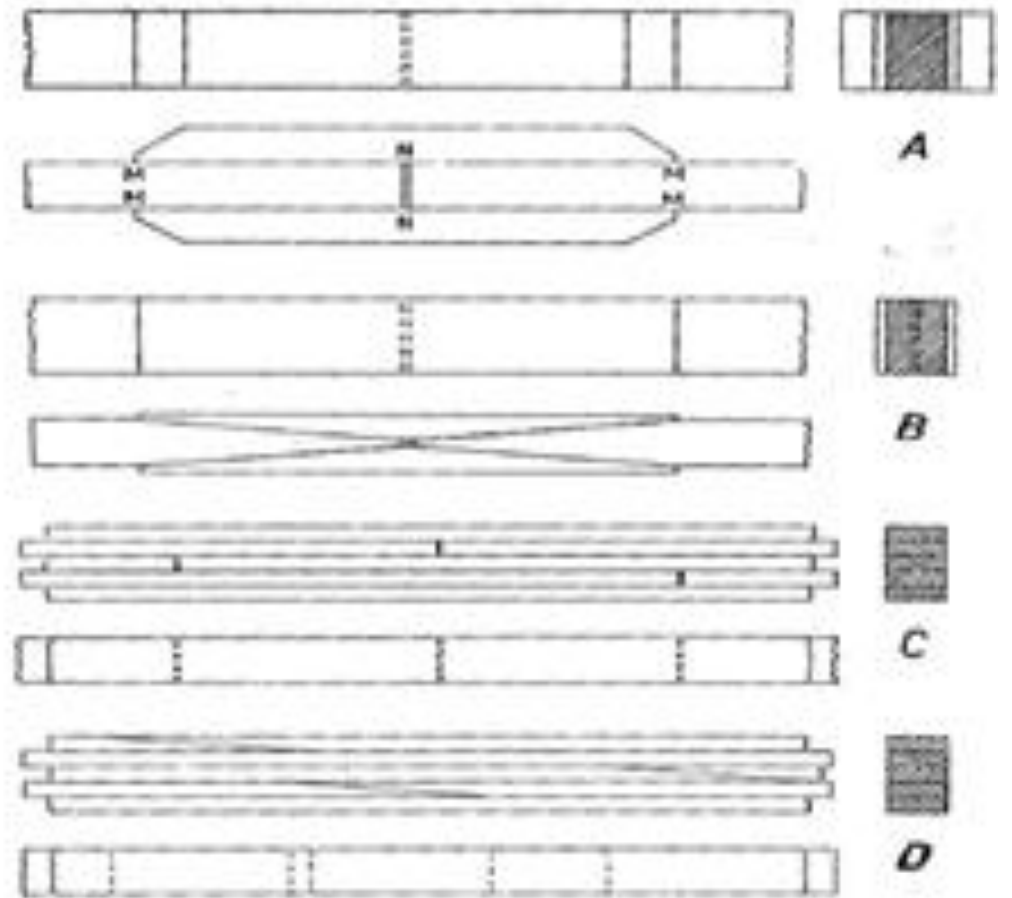
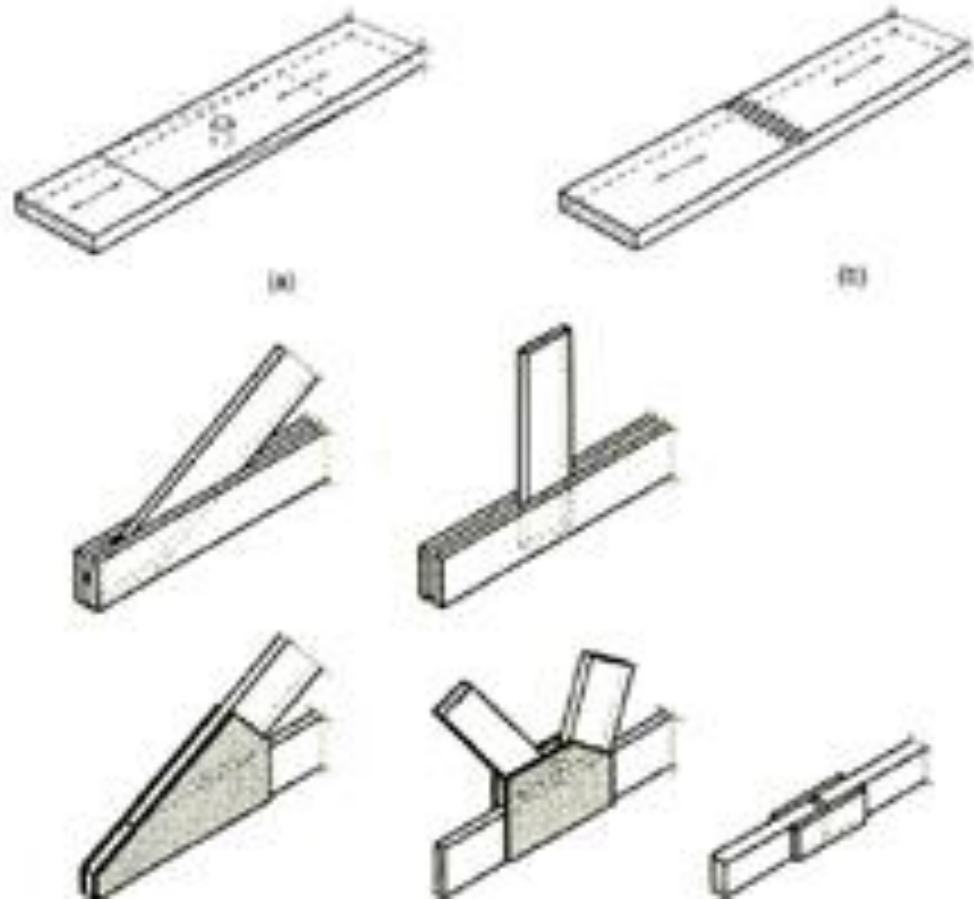
são estabelecidas por meio de uma fina película de adesivo

Os esforços são absorvidos por superfícies relativamente grandes formadas pelas áreas ligadas pelo adesivo

As ligações com cola, que não caracterizam união de barras em nós estruturais, começam também no Brasil a ganhar maior utilização, com o uso crescente de peças industrializadas, produzidas a partir de lâminas coladas entre si



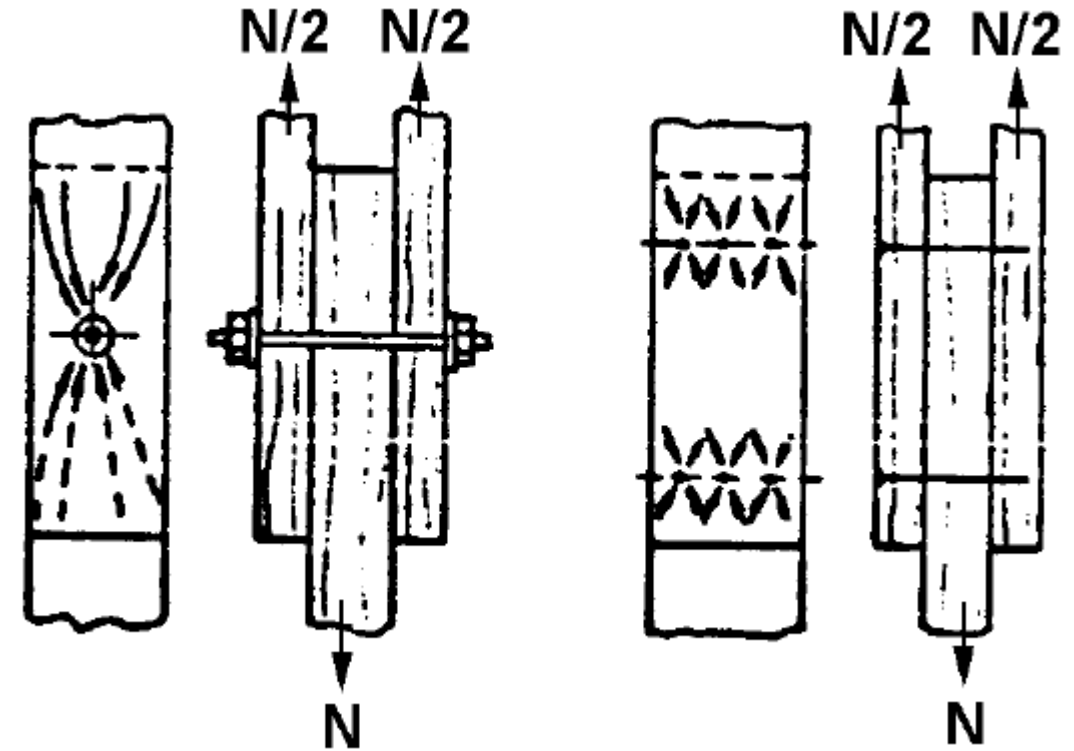
Colas



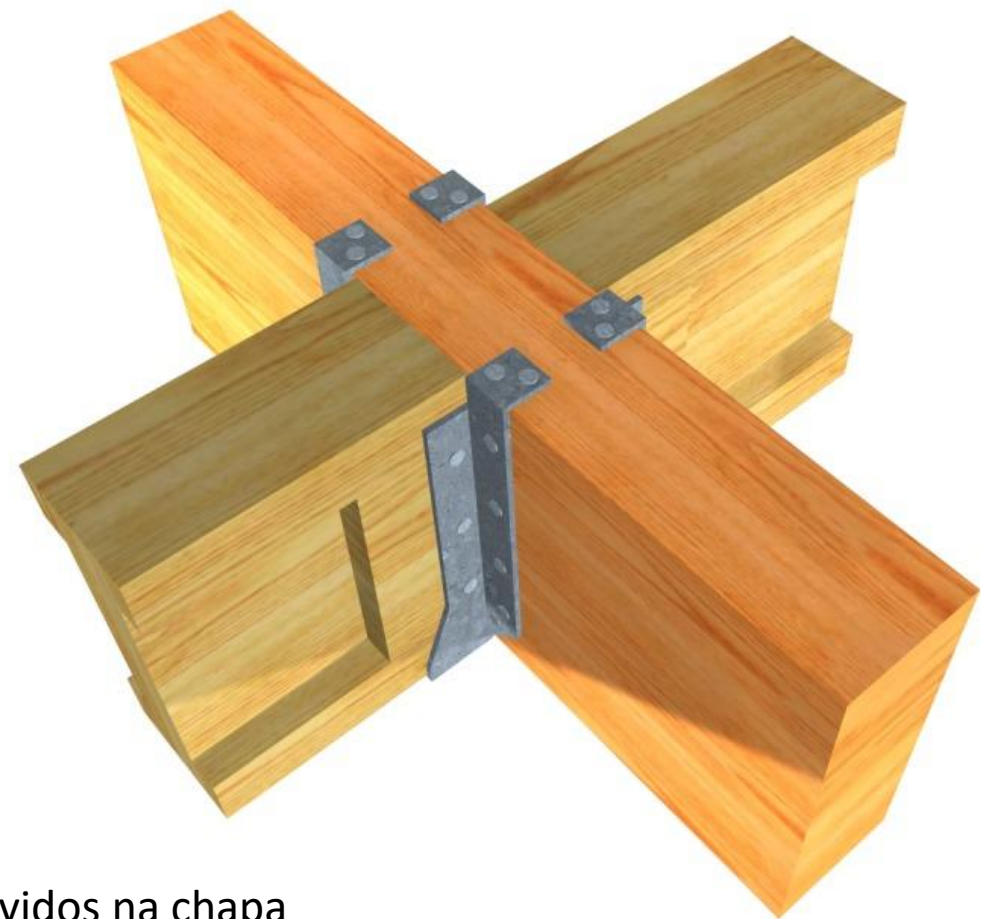
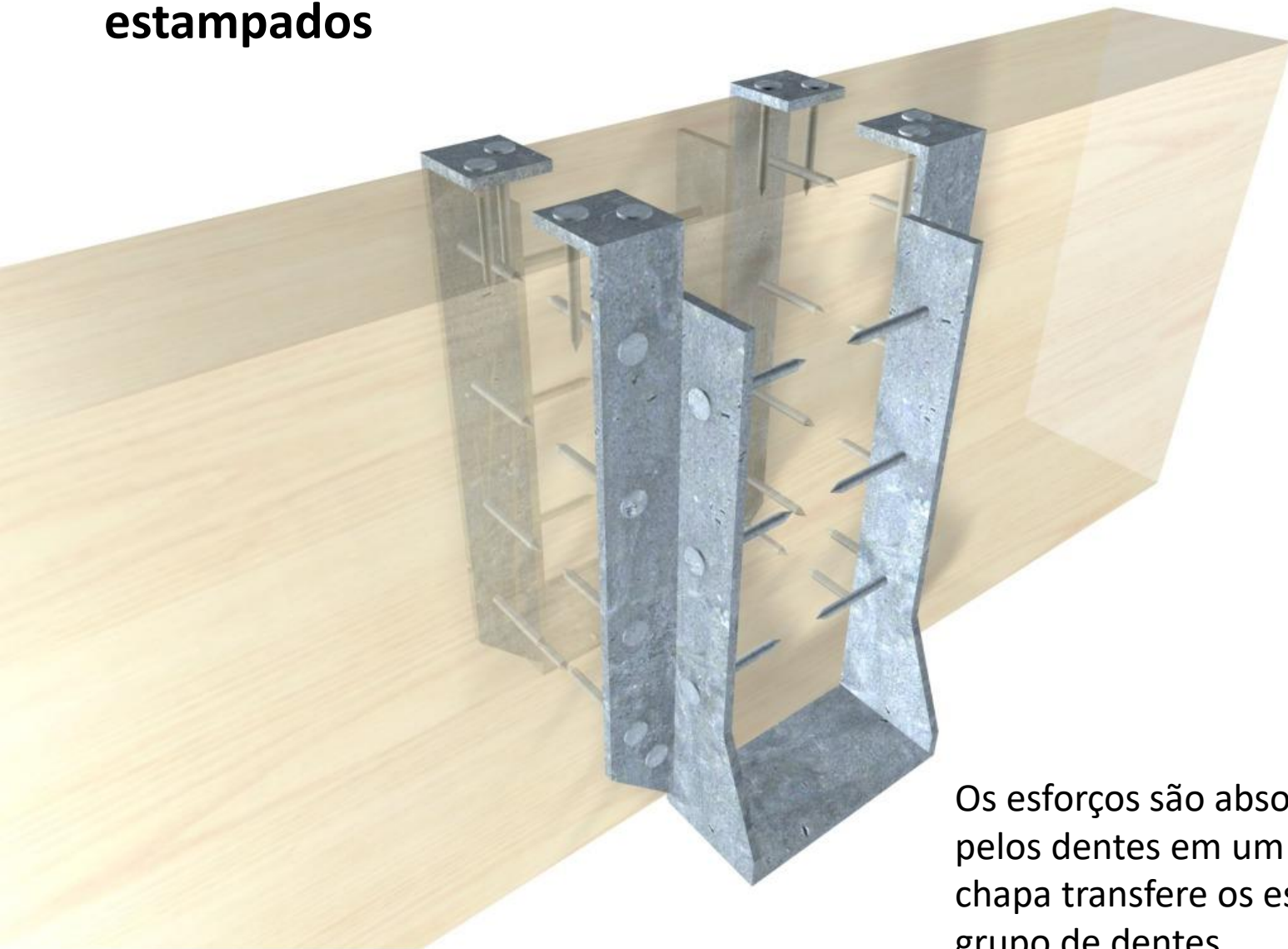
Tipos de ligações: penetração

utilização de elementos de ligação

As forças transmitidas de uma peça para outra convergem geralmente para uma pequena área (parafusos, anéis, etc.)



Chapas com dentes estampados



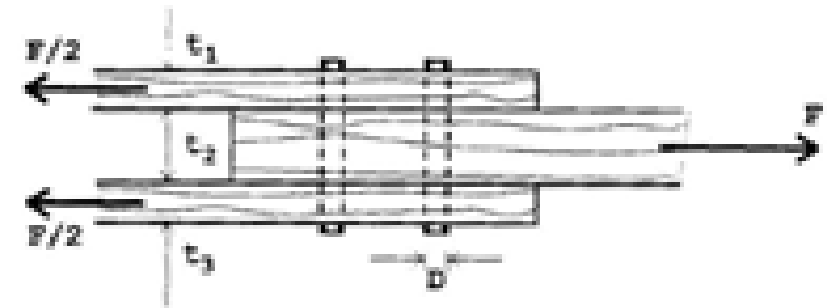
Os esforços são absorvidos na chapa pelos dentes em um grupo de dentes e a chapa transfere os esforços para outro grupo de dentes.

Cavilhas de madeira

As cavilhas são pinos cilíndricos confeccionadas com madeira dura são introduzidas por cravação em furos sem folga nas peças de madeira

De acordo com a NBR7190 as cavilhas deverão ser de madeiras da classe C60 ou com madeiras macias impregnadas por resina para aumento de capacidade resistente

Para estruturas são consideradas apenas cavilhas com 16mm (5/8"), 18mm (3/4") e 20mm (1") e os furos devem ser exatos



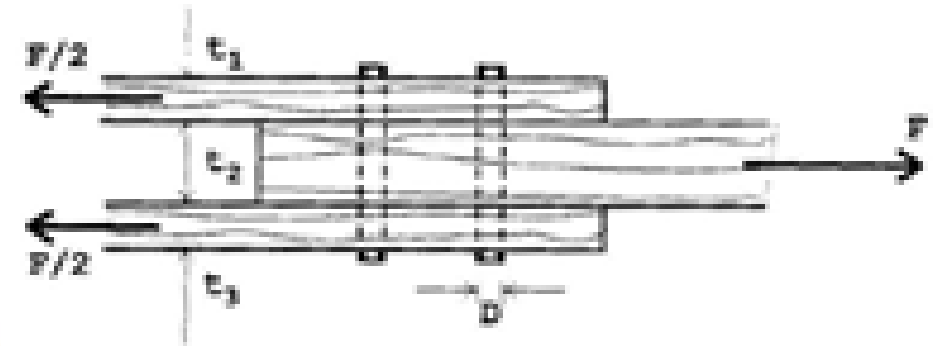
Cavilhas de madeira

A cavilha deve estar perfeitamente seca, caso contrário há retração após sua colocação provocando folgas

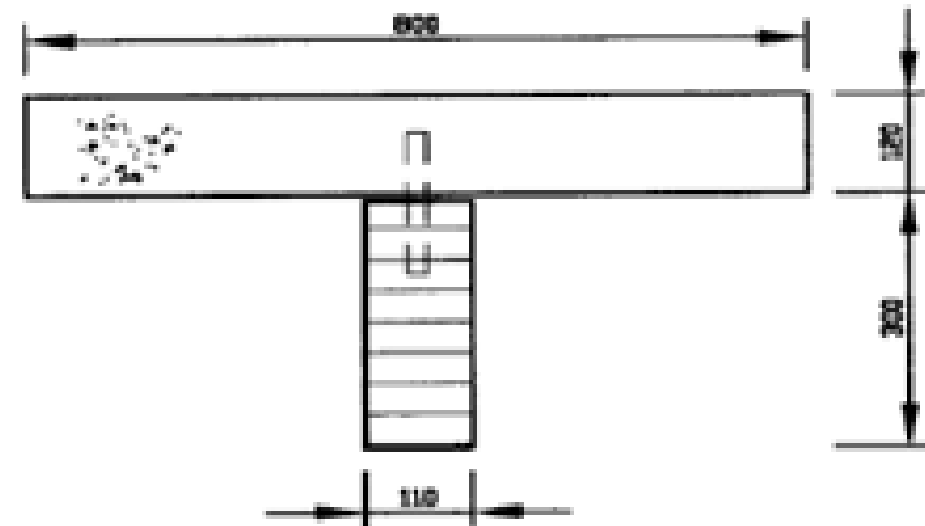
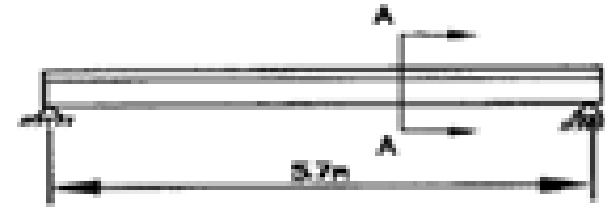
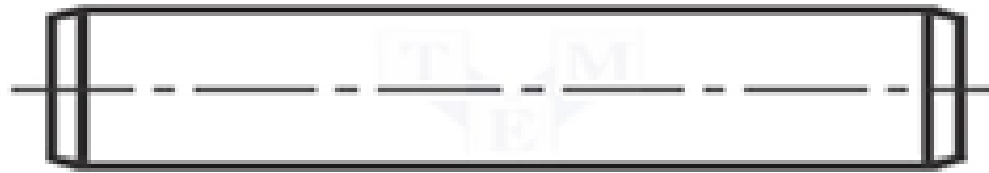
As ligações estruturais com cavilhas devem ser aplicadas somente quando submetidas à corte duplo

À corte simples apenas em ligações secundárias

Atualmente só é permitido o uso de cavilhas juntamente com colas.



Cavilhas metálicas



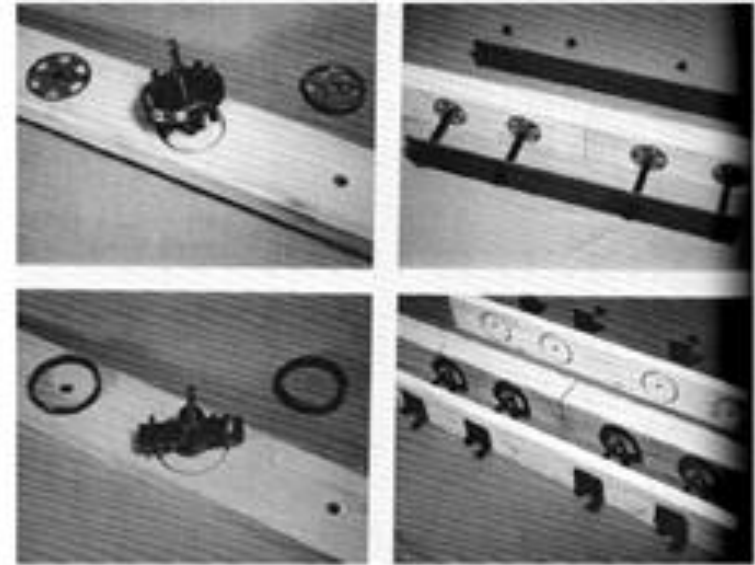
SECTION A-A

Ligações Madeira-Concreto

Anéis metálicos

As ligações com **anéis** são mais comuns em países europeus e norte americanos

No Brasil, as **chapas dentadas** começaram a ser utilizadas, nos últimos anos, devido à sua grande praticidade

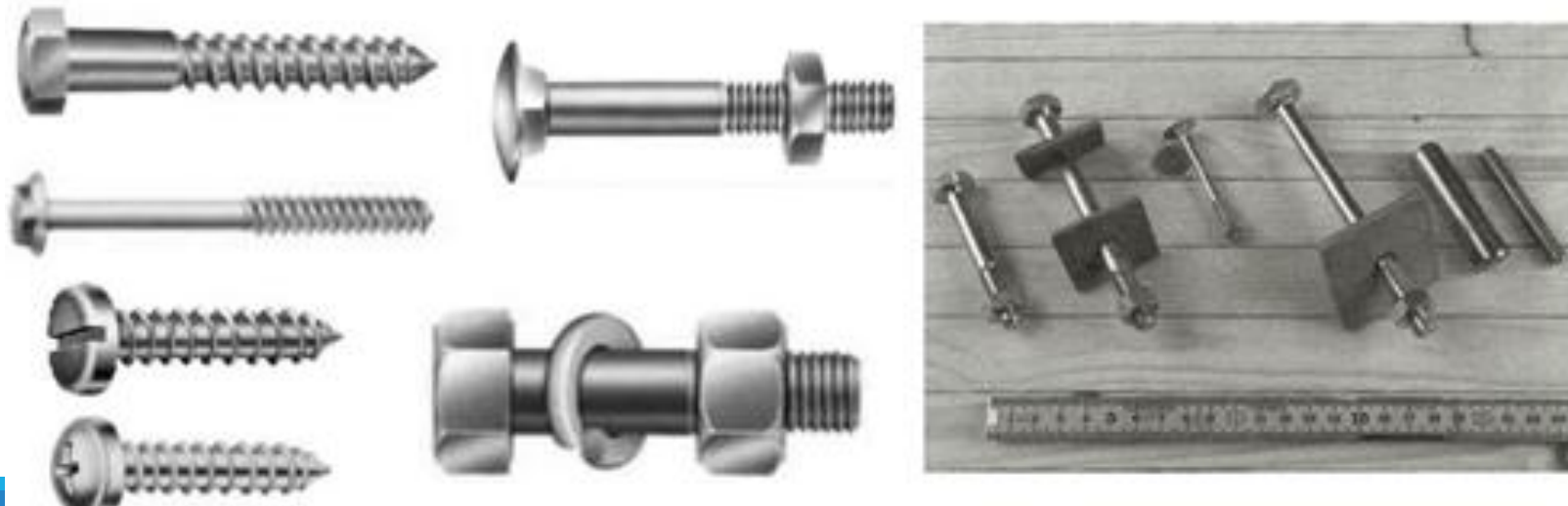


Parafusos

Os parafusos auto-atarraxante possuem rosca em um corpo cônico, possuem ponta e são de aço temperado

Esse tipo de parafuso elimina a necessidade de preparar um furo roscado ou de usar porca como elemento final de fixação

- A NBR7190:1997 não apresenta critério de projeto para este tipo de parafuso.



Parafusos

São instalados em furos ajustados, de modo a não ultrapassar uma pequena folga da ordem de 1 mm

As arruelas ajudam a transferir os esforços de compressão devido ao aperto da porca à madeira

Há um esforço transversal que favorece a ligação. No entanto, não deve ser considerado no dimensionamento da ligação, dessa forma o parafuso é tratado como um pino

Tensão característica de escoamento do aço f_{yk} do parafuso: no mínimo 240 Mpa

Pode ser usado parafuso com aço A307 adotando $f_{yk}=310$ MPa

Parafusos

São colocados a partir de furos feitos com trado manual ou broca mecânica

Pela NBR 7190, caso o diâmetro da pré-furação seja menor ou igual ao diâmetro do parafuso mais 0,5 mm a ligação pode ser considerada rígida

Para folgas maiores, 1 ou 1,5 mm a ligação é considerada flexível

A carga de tração admissível no parafuso é igual a área do núcleo da rosca multiplicada pela tensão admissível no aço do parafuso

Parafusos

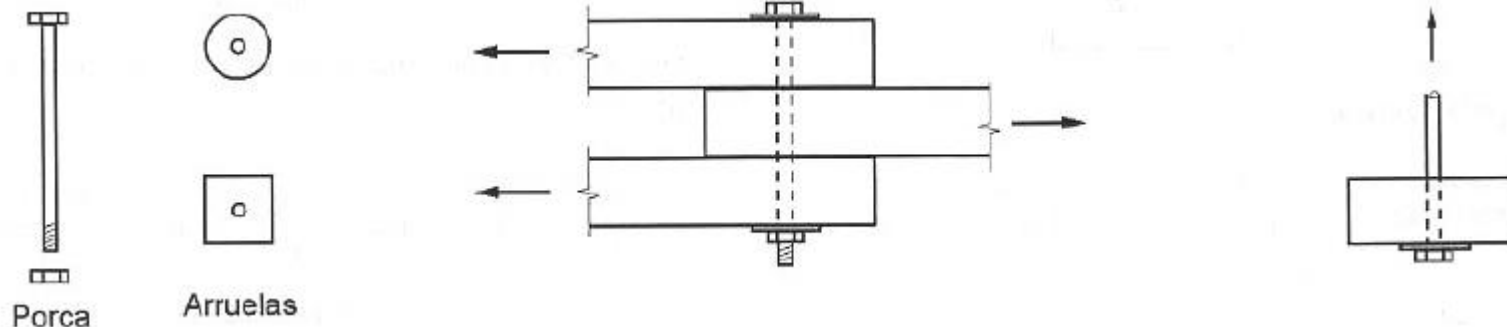
As arruelas devem ter:

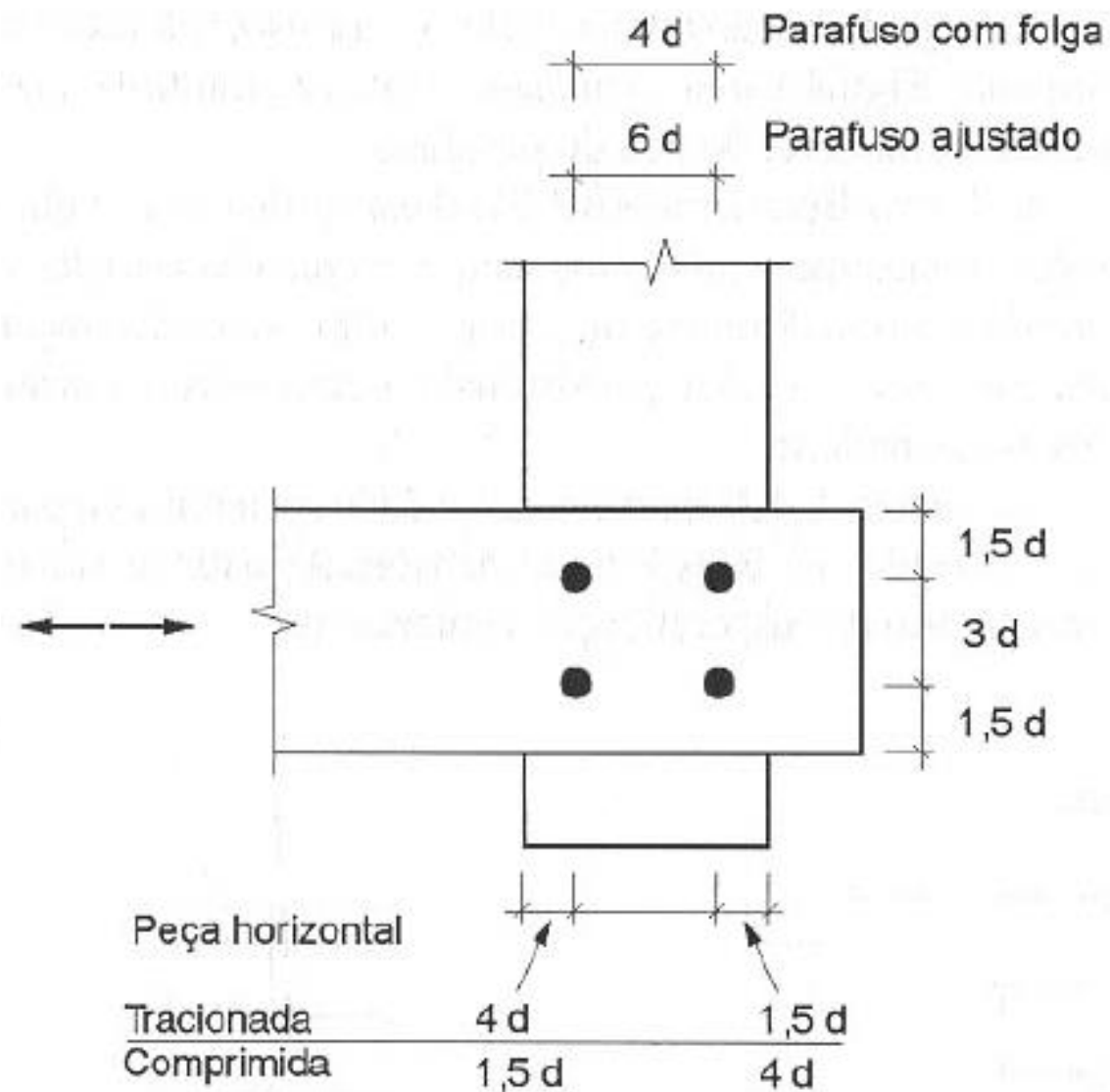
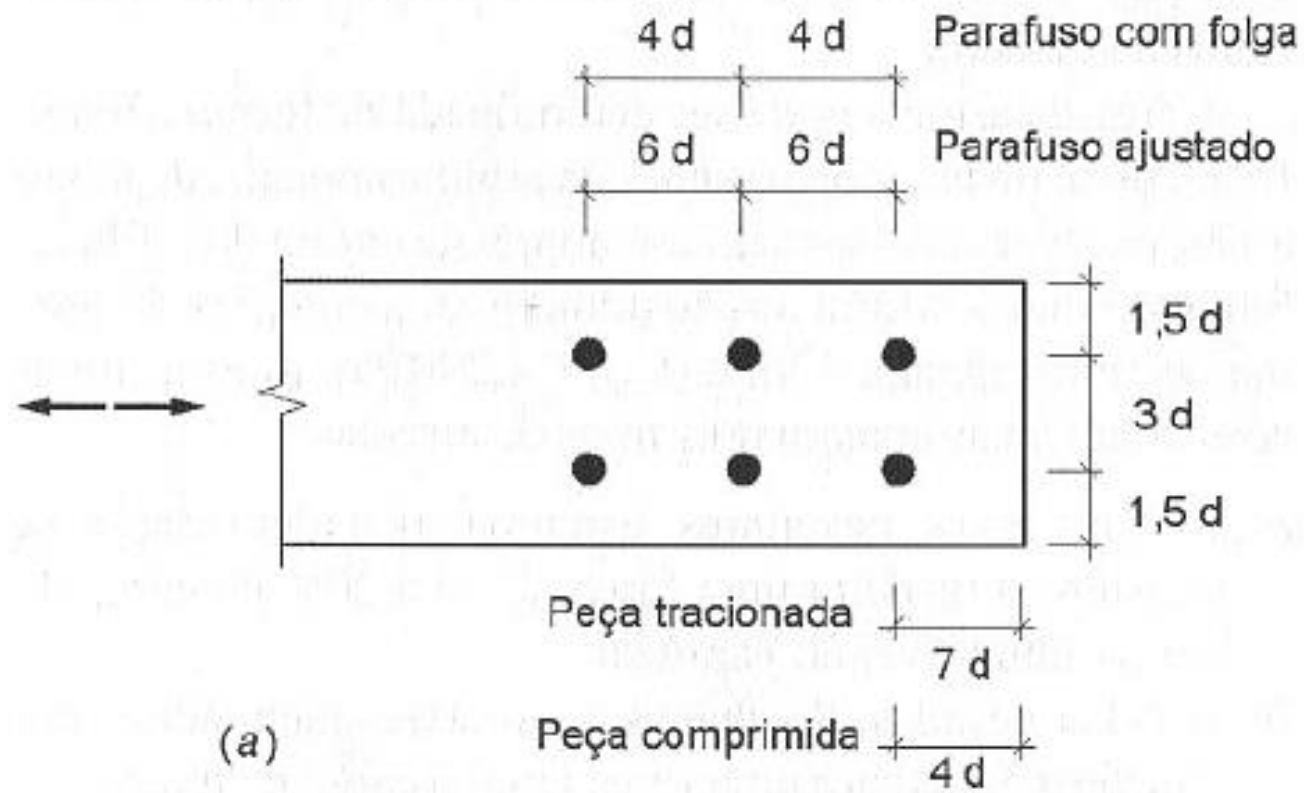
- espessura mínima de 9mm (3/8") no caso de pontes; e 6 mm (1/4") nos demais casos;
- a espessura não deve ser inferior a 1/8 do lado ou diâmetro da arruela

Diâmetro construtivo dos parafusos

- diâmetro mínimo = 10 mm

Diâmetro máximo = $t_1/2$, sendo t_1 a menor espessura da peça mais delgada





Pregos

Fabricados em arame de aço-doce em grande variedade de bitolas

Também fabricados em arame de aço duro com superfície helicoidal para maior resistência ao arrancamento

Prego pode causar fendilhamento da madeira

Pregos

Em estruturas provisórias, pode-se utilizar ligações pregadas sem pré-furação com as seguintes condições:

- uso da madeira leve (densidade 600 kg/m^3)
- diâmetro do prego d não maior que $1/6$ da espessura da peça mais fina de madeira
- pregos espaçados de $10*d$

O diâmetro do prego em geral é tomada $1/8$ a $1/10$ da menor espessura da madeira atravessada e não deve exceder $1/5$ da menor espessura atravessada

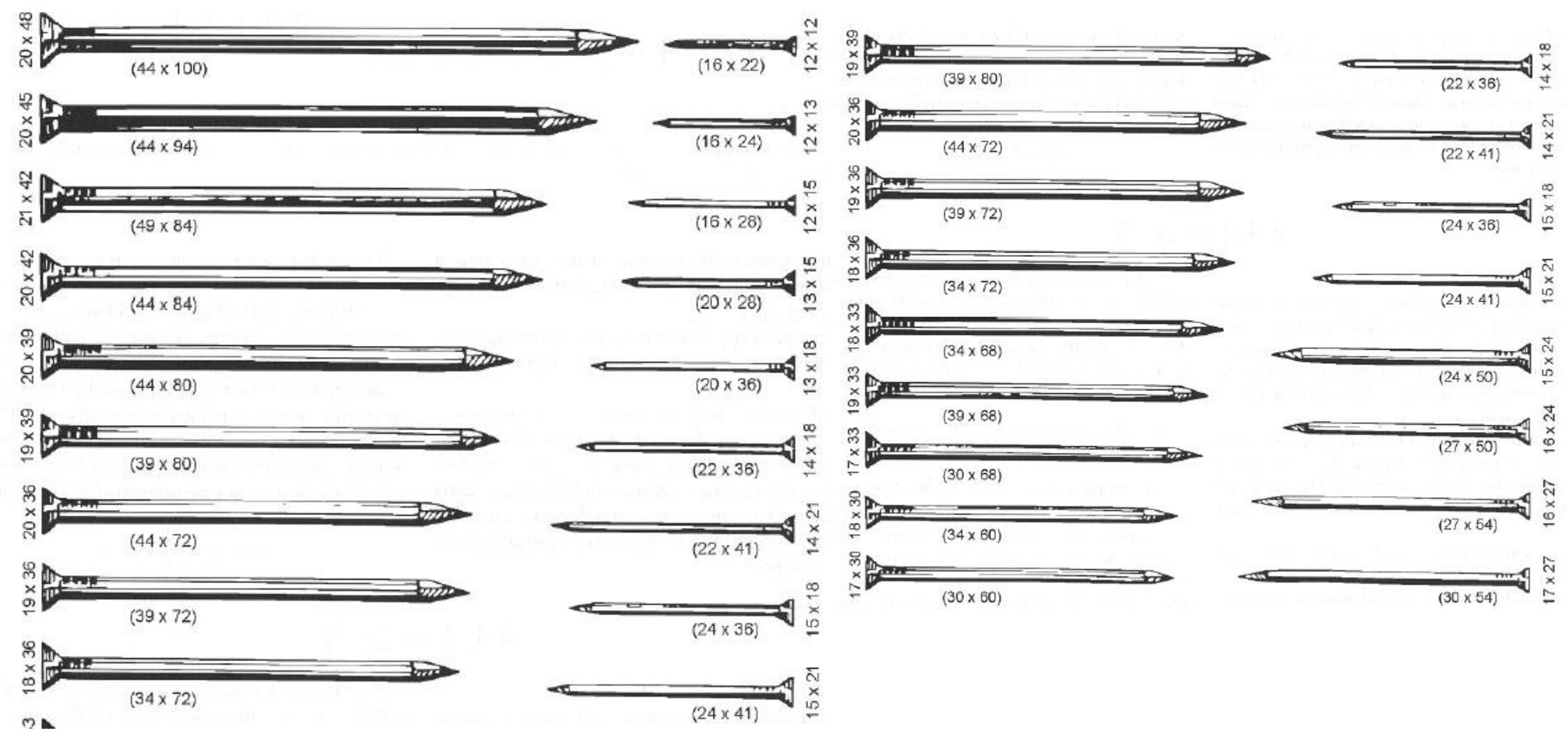
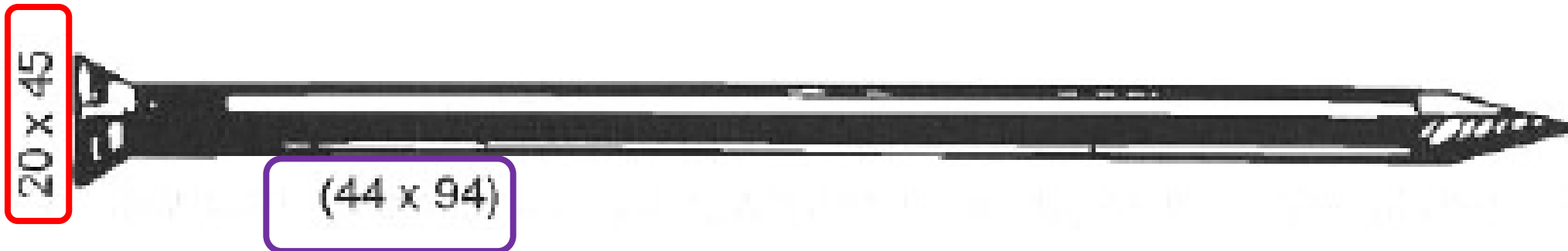


Fig. 4.12 (a) Tabela de pregos em tamanho natural, bitolas comerciais. Os números ao lado das figuras representam diâmetro (feira francesa) X comprimento de corte do arame (linhas portuguesas). Os números entre parênteses representam diâmetro (em décimos de milímetros) X comprimento total nominal do prego (milímetros). Obs.: A relação entre o comprimento de corte do arame em linhas portuguesas e o comprimento total nominal do prego em milímetros varia de acordo com o fabricante.



Bitola conforme padronização da ABNT, comercial

Diâmetro x comprimento do corpo do prego

Pregos

Pré-furação da madeira é um recurso para evitar fendilhamento da madeira e é obrigatório pela NBR 7190 para estruturas definitivas pregadas

$d_0 = 0,85d_{ef}$ em madeiras macias (coníferas)

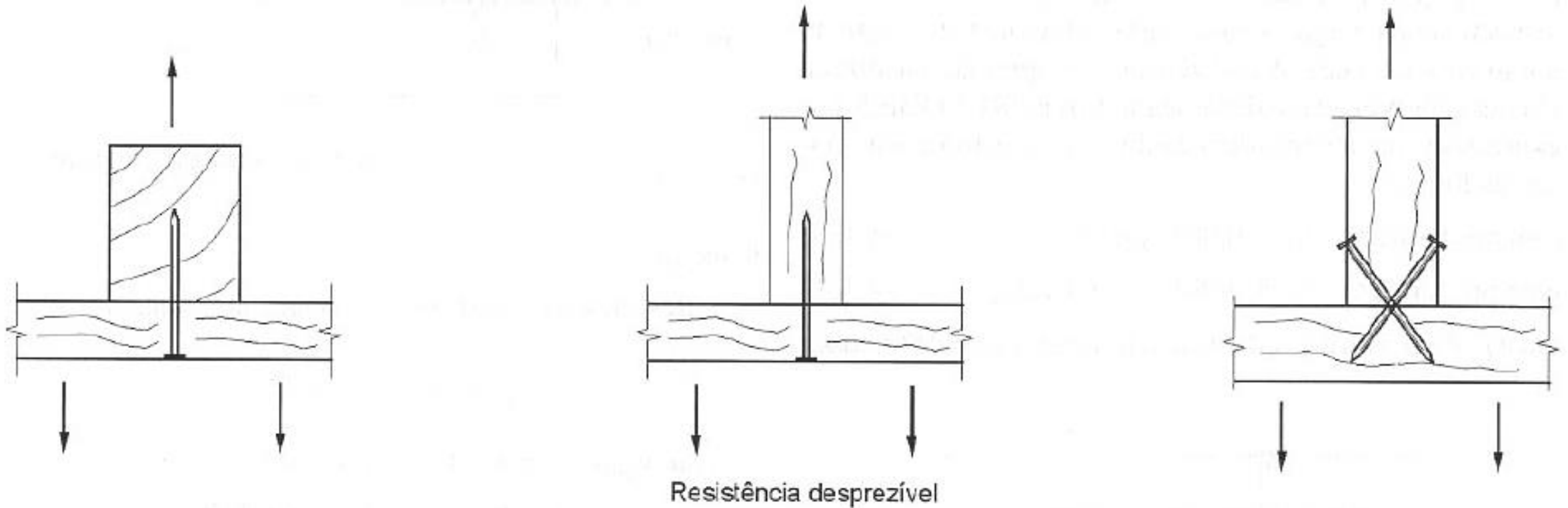
$d_0 = 0,98d_{ef}$ em madeiras duras (dicotiledôneas)

d_0 é o diâmetro do pré furo

d_{ef} é o diâmetro efetivamente medido dos pregos a serem usados

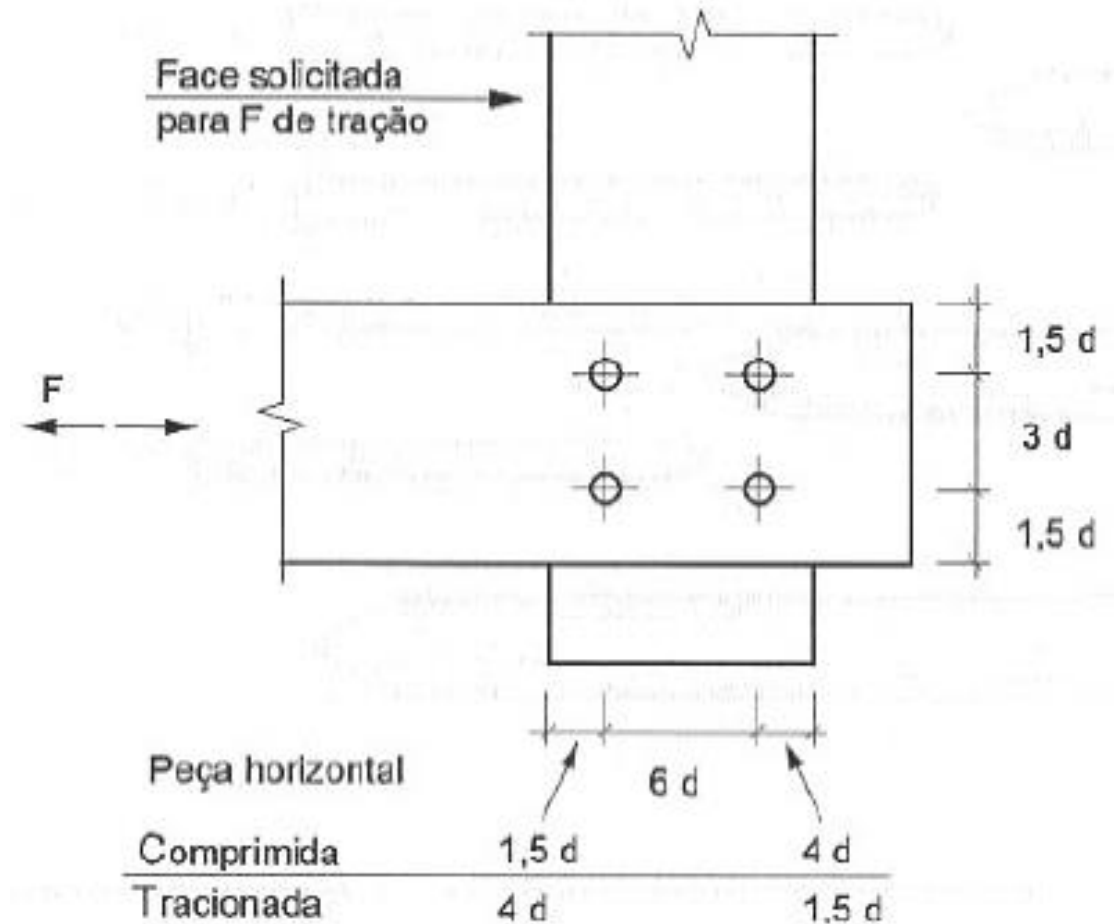
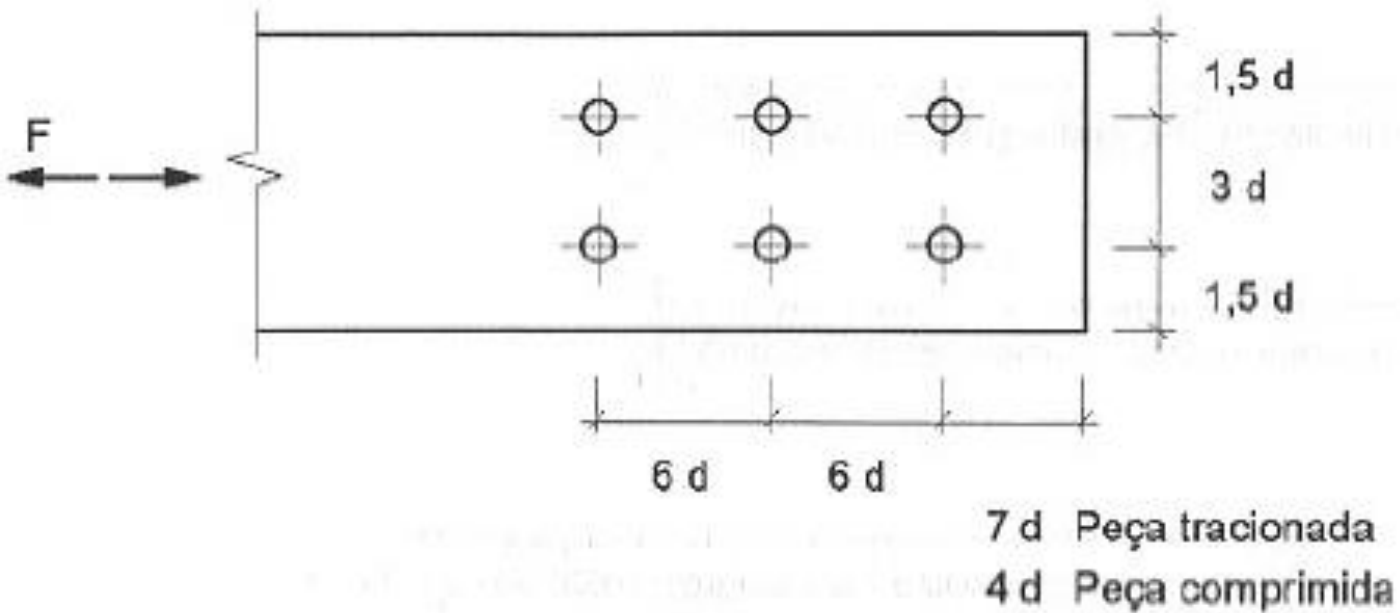
Resistência ao arrancamento de pregos

Pregos lisos apresentam baixa resistência quando solicitados axialmente



Pregos

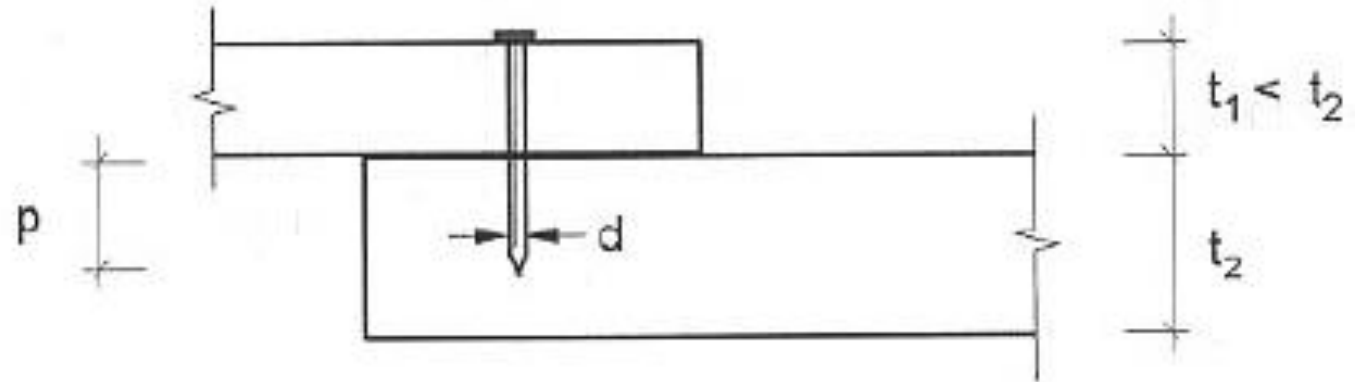
Espaçamentos e distâncias mínimas



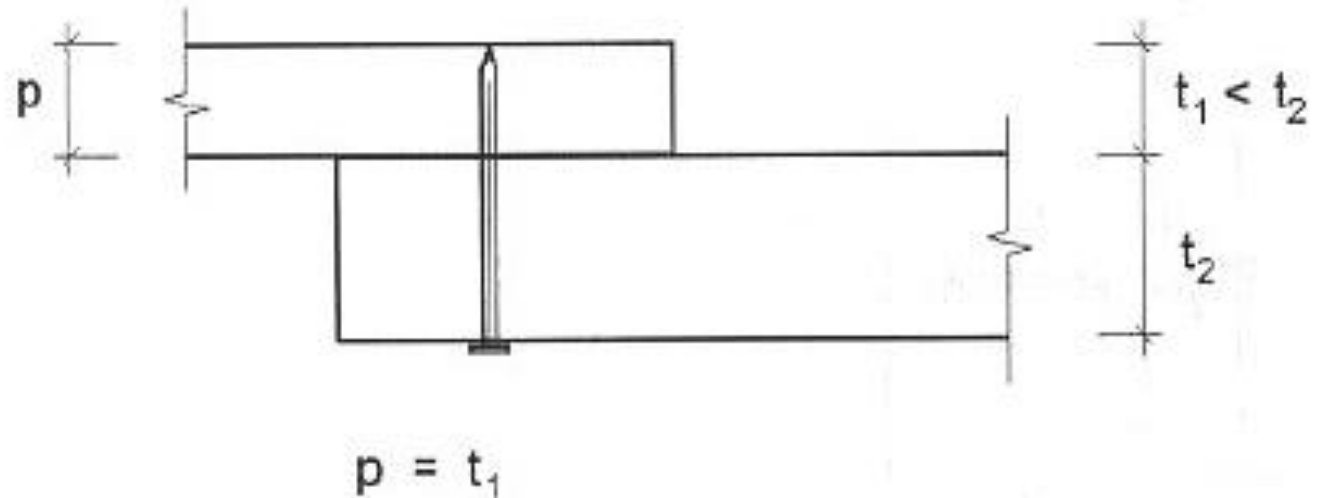
Pregos

Penetração mínima

Para ligações pregadas em corte simples e duplo ou igual à espessura da peça mais delgada



$$p > t_1 \quad \text{e} \quad \begin{cases} p > 12d \\ \text{ou} \\ p = t_2 \end{cases}$$



Considerações iniciais para o projeto de ligações com pinos metálicos

A madeira quando perfurada pode apresentar problemas de fendilhamento

Para evitá-los, deve-se obedecer os espaçamentos e as pré-furações especificados pela norma brasileira

O estado limite último de uma ligação é atingido por deficiência de resistência da madeira ou do elemento de ligação

O dimensionamento da ligação é feito pela seguinte condição de segurança (NBR 7190/1997, item 8.1.4):

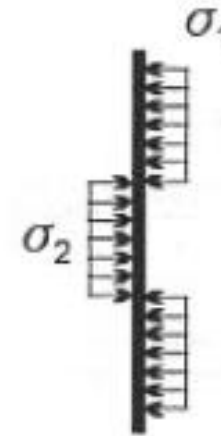
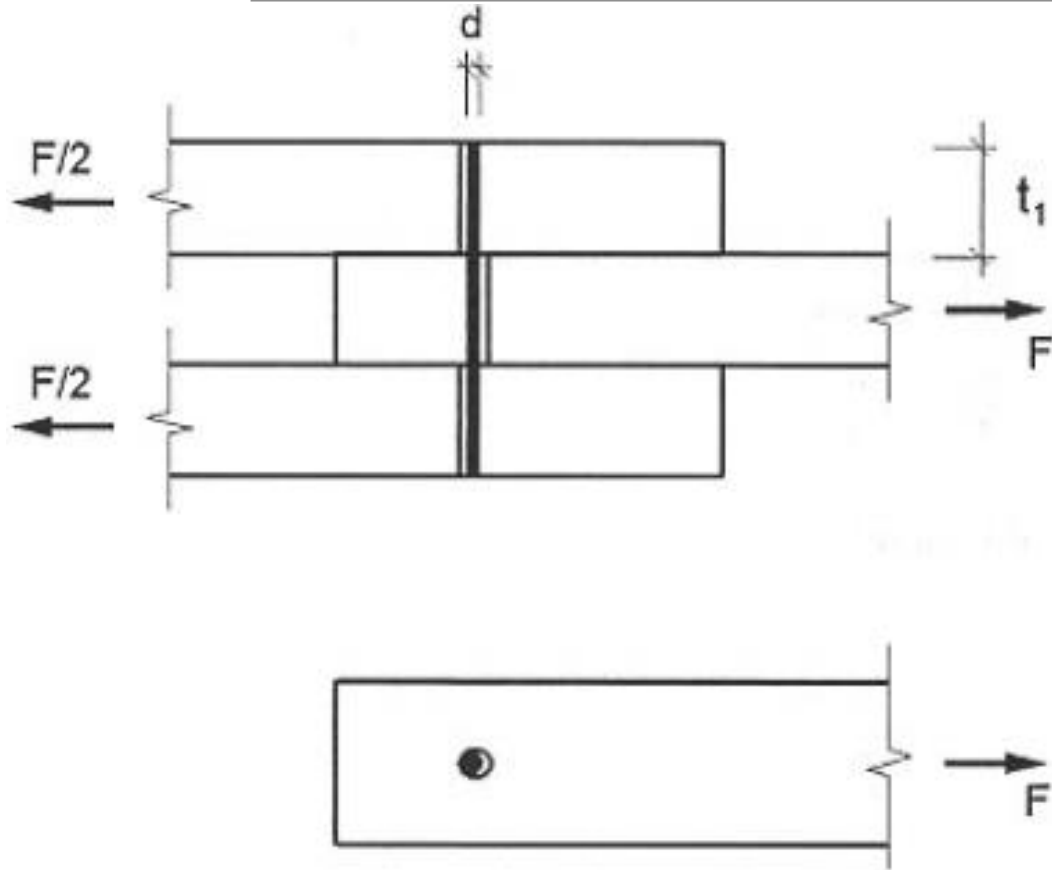
$$S_d \leq R_d$$

Onde:

S_d = valor de cálculo das solicitações;

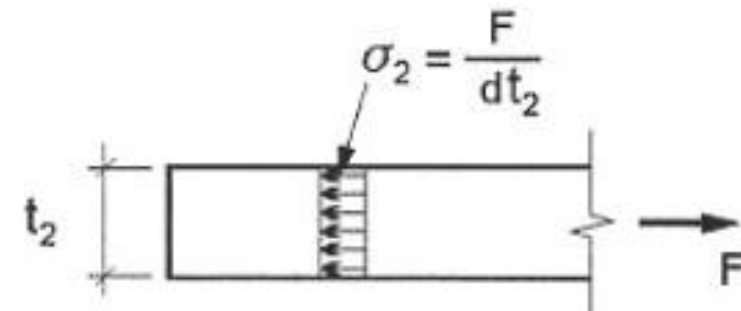
R_d = valor de cálculo da resistência.

Ligações com pinos metálicos (pregos e parafusos)



(b)

O pino sujeito à flexão por conta do contato com a madeira



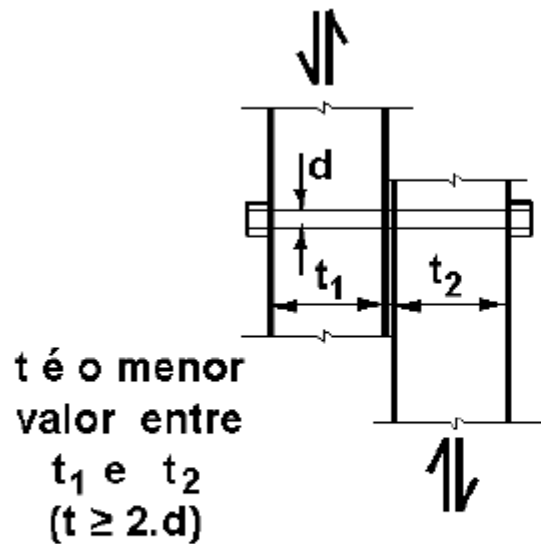
(c)

A madeira central sujeita a tensão de embutimento devido o contato com o pino

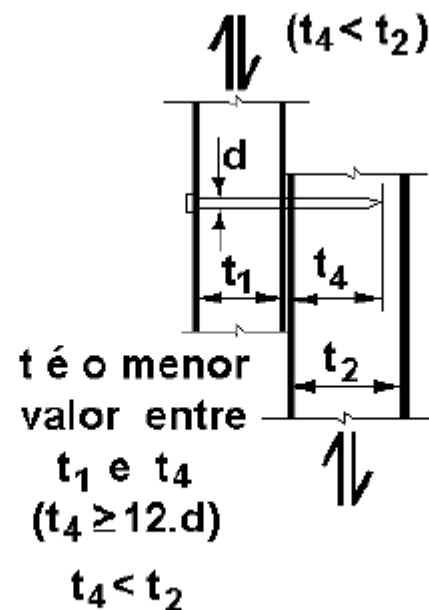
Ligações com pinos metálicos (pregos e parafusos)

$$\sigma_2 = \frac{F}{dt_2}$$

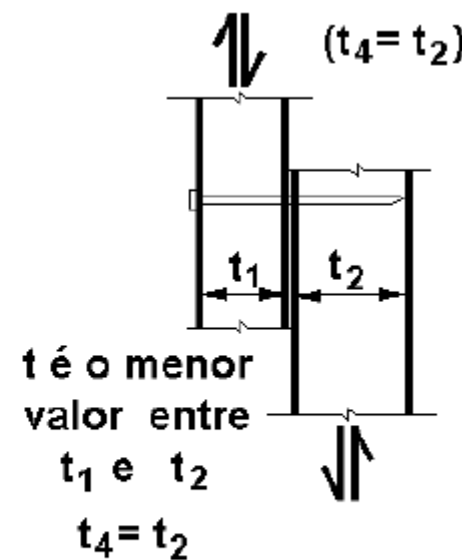
onde d é o diâmetro do pino;
 t_2 é a espessura da peça central.



a) Parafusos



b) Pregos



Resistência da madeira à compressão localizada (embutimento)

Condição de deformabilidade

dada conforme o sentido da força com relação às fibras

paralela às fibras

$$f_{ed} = f_{cd}$$

normal às fibras

$$f_{end} = 0,25 f_{ed} \alpha_e$$

TABELA 4.1 Coeficiente α_e para cálculo da resistência ao embutimento normal às fibras (Eq. (4.2b)), sendo d o diâmetro do pino

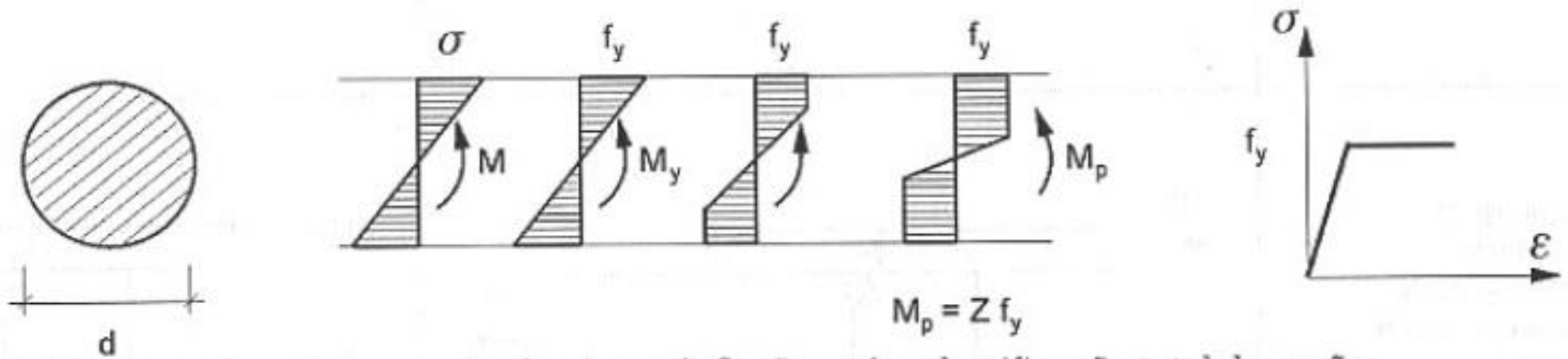
$d(\text{cm})$	$\leq 0,62$	0,95	1,25	1,6	1,9	2,2	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	$\geq 7,5$
α_e	2,5	1,95	1,68	1,52	1,41	1,33	1,27	1,19	1,14	1,10	1,07	1,00

Resistência à flexão do pino

$$M_{pd} = Z f_{yd} = \frac{Z f_y}{1,1}$$

M_{pd} = momento resistente de projeto do pino metálico

f_y = tensão de escoamento da madeira



Mecanismos de plastificação em ligações com pinos em cortes simples e duplo

Envolvem:

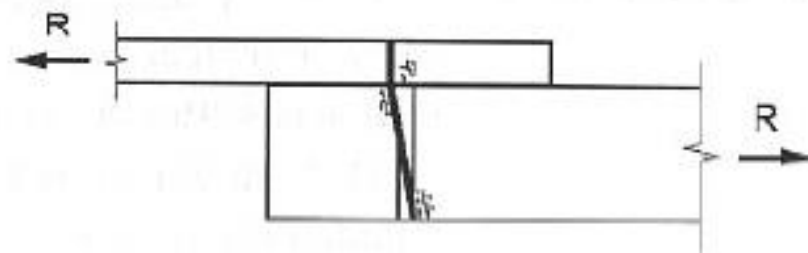
o esmagamento das peças de madeira em compressão localizada (quando atingem a resistência ao embutimento)

a plastificação de uma ou mais seções do pino em flexão

Mecanismo	Descrição	Ilustração	
		Corte simples	Corte duplo
I-2	Esmagamento local da peça 2		
I-1	Esmagamento local das peças 1		<div style="border: 1px solid red; padding: 5px;"> <p>Mecanismo I-2 só pode ocorrer em ligações com peças de diferentes espécies de madeira</p> </div>
II	Esmagamento local das peças com rotação do pino		

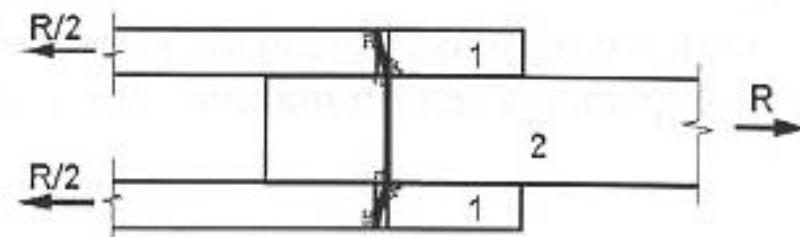
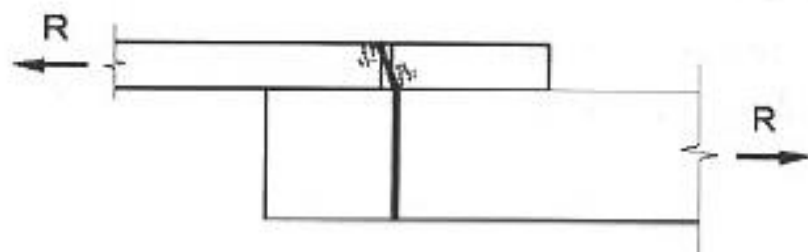
III - 2

Esmagamento da
peça 2 e formação
de rótula plástica
no pino



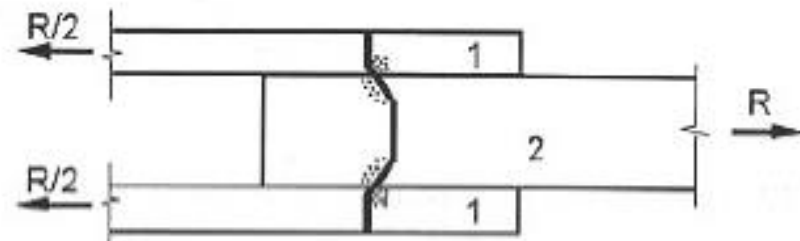
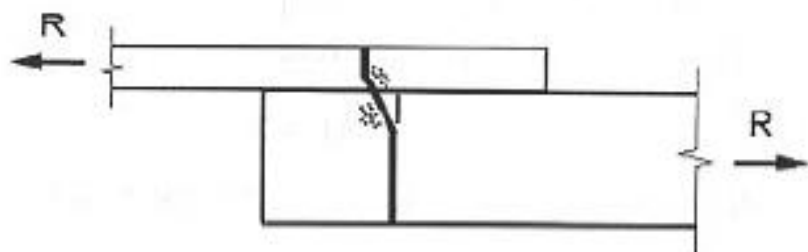
III - 1

Esmagamento da
peça 1 e formação
de 1 rótula plástica
no pino por plano
de corte



IV

Formação de 2
rótulas plásticas
por plano de corte
com esmagamento
das peças



Pela NBR 7190:1996

Somente os modos II e IV podem ser determinantes em ligações com peças de madeiras com espessuras aproximadamente iguais com pino em corte simples

Pinos em corte duplo somam-se as resistências referentes a cada uma das seções de corte, considerando t como o menor valor entre t_1 da peça lateral e a metade da espessura da peça central

Para ligações com pinos entre peça de madeira e chapa de aço, em corte simples ou duplo, a resistência da ligações é menor valor calculado entre as resistências referentes às ligações do pino com a madeira e do pino com a chapa de aço

Mecanismo II — esmagamento local da madeira

$$\text{para } \frac{t}{d} \leq 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$$

$$R_d = 0,4 f_{ed} dt$$

Mecanismo IV — flexão do pino

$$\text{para } \frac{t}{d} > 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$$

$$R_d = 0,5 d^2 \sqrt{f_{ed} f_{yd}}$$

Exemplo 1

Calcular a resistência R_d ao corte do prego 20x48 na ligação ilustrada de duas peças tracionadas de pinho-do-paraná, de acordo com a NBR 7190, para as seguintes condições: carga de média duração e classe 2 de umidade. Adote f_{yk} do prego igual a 600MPa

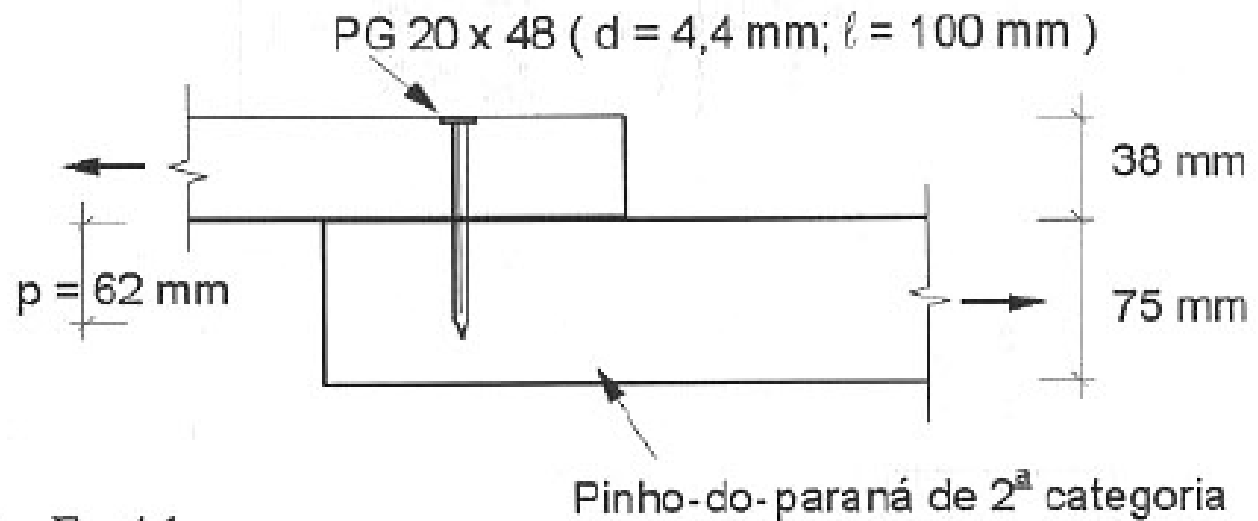


TABELA 3.13 Valores do coeficiente k_{mod3}

Produto de madeira	Tipo de madeira
Serrada	Dicotiledôneas
	Coníferas
Laminada e colada*	Qualquer

*Laminada com espessura t e colada com raio de curvatura r (mínimo).

$$k_{mod2} = 1$$

$$k_{mod3} = 0,8$$

$$k_{mod} = 0,8 * 1 * 0,8$$

$$k_{mod} = 0,64$$

TABELA 3.10 Valores do coeficiente k_{mod1}

Classe de carregamento da combinação de ações	Tipo de produto de madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
Permanente	0,60	0,30
Longa duração	0,70	0,45
Média duração	0,80	0,65
Curta duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

TABELA 3.12 Valores do coeficiente k_{mod2}

Classe de umidade	Tipo de produto de madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada e colada Madeira compensada	Madeira recomposta
1 e 2	1,0	1,0
3 e 4	0,8	0,9

Resolução

1-Resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras

$$f_k = 0,7 * f_{cm}$$

$$f_k = 0,7 * 40,9$$

$$f_k = 28,63 \text{ MPa}$$

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$f_{ed} = f_{cd} = 0,64 * \frac{28,63}{1,4}$$

$$f_{ed} = 13,09 \text{ MPa}$$

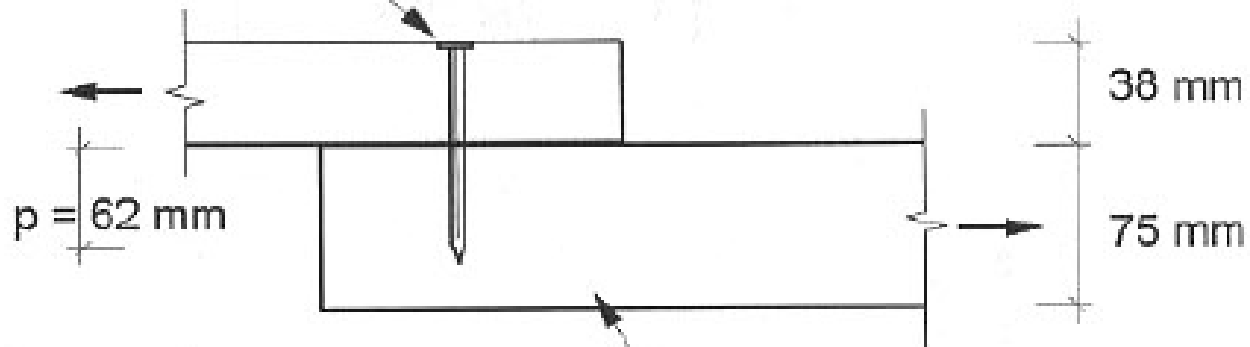
TABELA 3.8 Relação f_k/f_m entre as resistências característica e média e o valor do coeficiente γ_w

Esforço	f_k/f_m	γ_w
Compressão paralela às fibras	0,70	1,4
Tração paralela às fibras	0,70	1,8
Cisalhamento paralelo às fibras	0,54	1,8

Resolução

2-Requisito de penetração

PG 20 x 48 ($d = 4,4 \text{ mm}$; $\ell = 100 \text{ mm}$)

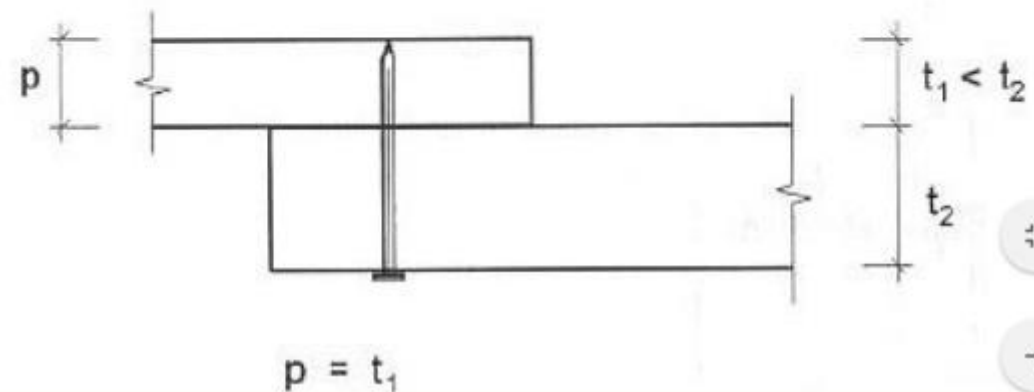
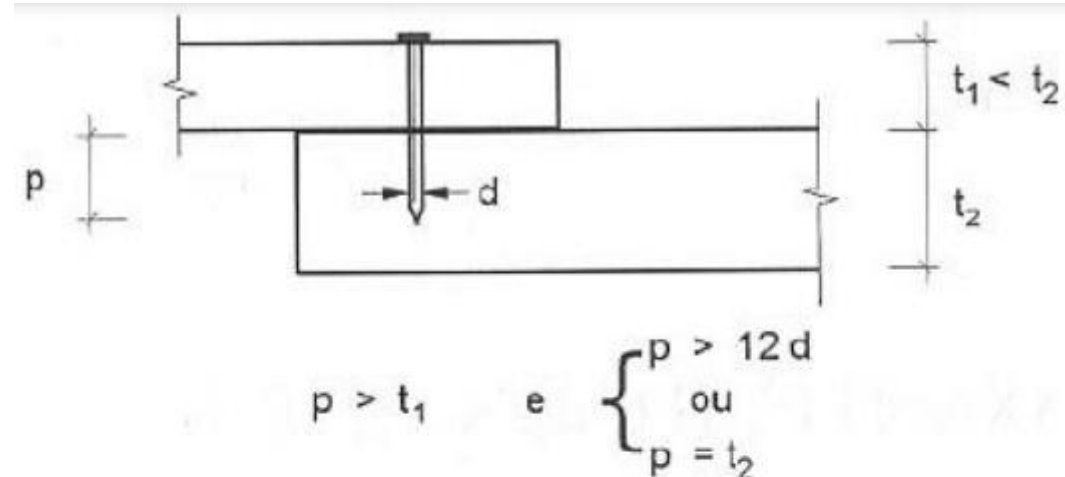


Pinho-do-paraná de 2ª categoria

$$p > t_1 \rightarrow p = 62 \text{ mm} > t_1 = 38 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

$$p > 12 * d$$

$$62 \text{ mm} > 12 * 4,4 \rightarrow 62 \text{ mm} > 52,8 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!!!}$$



Resolução

3-Resistência de uma seção de corte do prego

$$\frac{t}{d} = \frac{38}{4,4} = 8,63$$

$$1,25 * \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$$

$$1,25 * \sqrt{\frac{(600/1,1)}{13,09}} = 8,06$$

$$\frac{t}{d} = 8,63 > 8,06$$

Mecanismo II — esmagamento local da madeira

$$\text{para } \frac{t}{d} \leq 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$$

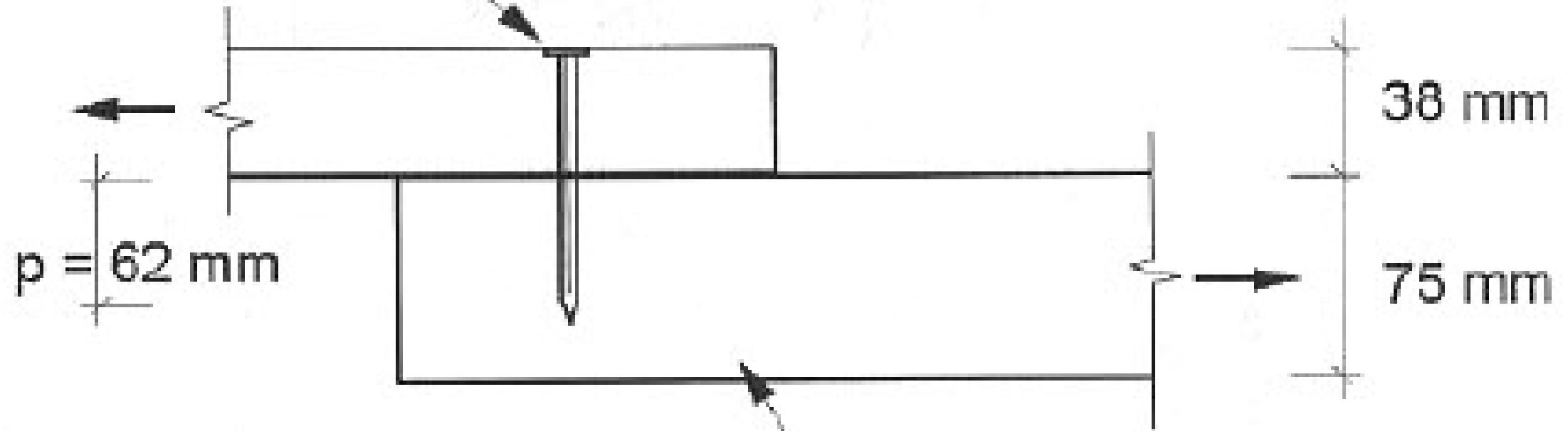
$$R_d = 0,4 f_{ed} dt$$

Mecanismo IV — flexão do pino

$$\text{para } \frac{t}{d} > 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$$

$$R_d = 0,5 d^2 \sqrt{f_{ed} f_{yd}}$$

PG 20 x 48 ($d = 4,4 \text{ mm}$; $\ell = 100 \text{ mm}$)



Pinho-do-paraná de 2^a categoria

Resolução

3-Resistência de uma seção de corte do prego

$$R_d = 0,5 * d^2 * \sqrt{f_{ed} * f_{yd}}$$

$$R_d = 0,5 * 4,4^2 * \sqrt{13,09 * \left(\frac{600}{1,1}\right)}$$

$$R_d = 817,9 \text{ N}$$

Mecanismo II — esmagamento local da madeira

$$\text{para } \frac{t}{d} \leq 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$$

$$R_d = 0,4 f_{ed} dt$$

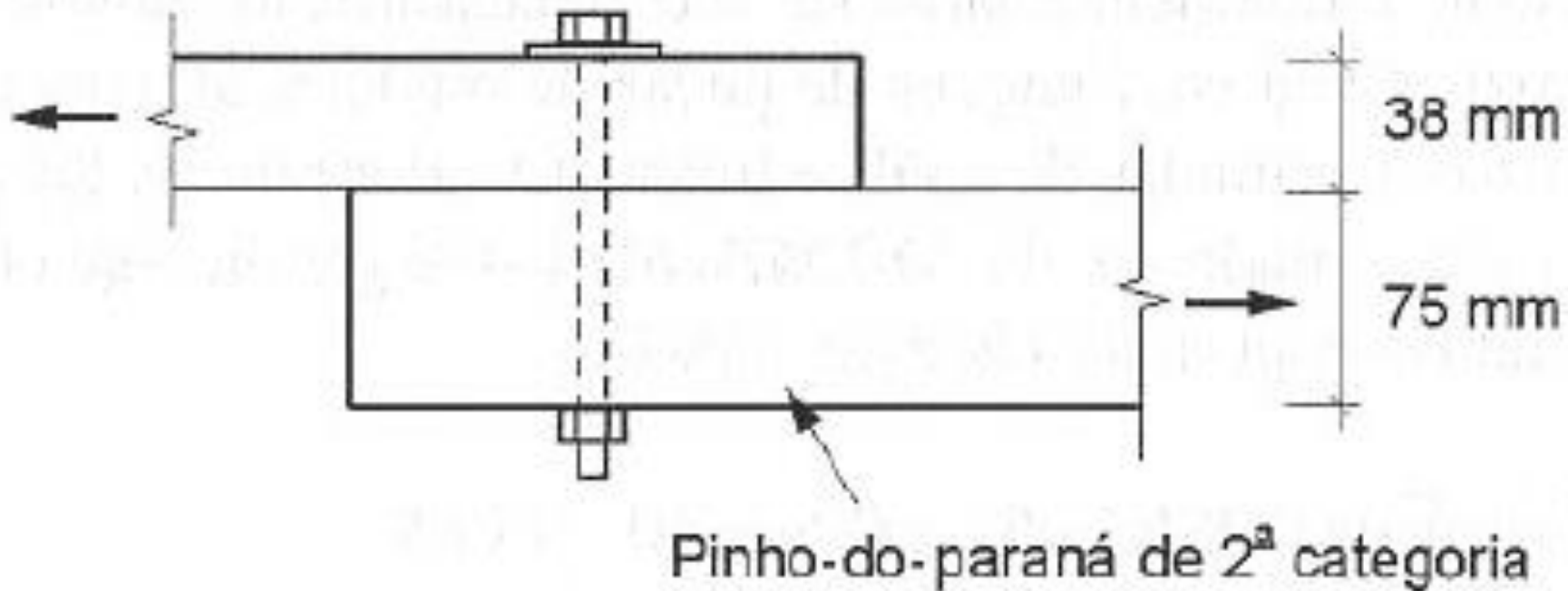
Mecanismo IV — flexão do pino

$$\text{para } \frac{t}{d} > 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}}$$

$$R_d = 0,5 d^2 \sqrt{f_{ed} f_{yd}}$$

Exemplo 2

Calcular a resistência ao corte do parafuso diâmetro de 12,5mm (1/2") em aço A307 na ligação ilustrada na figura, de acordo com a NBR 7190 para as seguintes condições: carga de longa duração e classe 2 umidade



Resolução

1- Resistência da madeira ao embutimento paralelo à

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$k_{mod1} = 0,7$$

TABELA 3.10 Valores do coeficiente k_{mod1}

Classe de carregamento da combinação de ações	Tipo de produto de madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
Permanente	0,60	0,30
Longa duração	0,70	0,45
Média duração	0,80	0,65
Curta duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

TABELA A.1.2 Valores médios de resistência e do módulo de deformação longitudinal, para $U = 12\%$, de madeiras coníferas nativas e de florestamento (NBR7190, 1996)

Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}$ (kg/m ³)	f_c (MPa)	f_t (MPa)	f_m (MPa)	f_v (MPa)	E_c (MPa)
Pinho-do-paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15225

Resolução

1- Resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$k_{mod1} = 0,7$$

$$k_{mod2} = 1$$

TABELA 3.12 Valores do coeficiente k_{mod2}

Tipo de produto de madeira		
Classe de umidade	Madeira serrada	Madeira recomposta
	Madeira laminada e colada Madeira compensada	
1 e 2	1,0	1,0
3 e 4	0,8	0,9

TABELA A.1.2 Valores médios de resistência e do módulo de deformação longitudinal, para $U = 12\%$, de madeiras coníferas nativas e de florestamento (NBR7190, 1996)

Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}$ (kg/m ³)	f_c (MPa)	f_t (MPa)	f_m (MPa)	f_v (MPa)	E_c (MPa)
Pinho-do-paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15225

TABELA 3.13 Valores do coeficiente k_{mod3}

Produto de madeira	Tipo de madeira	Categoria	k_{mod3}
Serrada	Dicotiledôneas	1.ª Categoria	1,0
		2.ª Categoria	0,8
	Coníferas	1.ª ou 2.ª	0,8
Laminada e colada*	Qualquer	1.ª ou 2.ª – peça curva	$1,0 - 2000 \left(\frac{r}{t}\right)^2$
		peça reta	1,0

*Laminada com espessura t e colada com raio de curvatura r (mínimo).

$$k_{mod3} = 0,8$$

TABELA A.1.2 Valores médios de resistência e do módulo de deformação longitudinal, para $U = 12\%$, de madeiras coníferas nativas e de florestamento (NBR7190, 1996)

Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}$ (kg/m ³)	f_c (MPa)	f_t (MPa)	f_m (MPa)	f_v (MPa)	E_c (MPa)
Pinho-do-paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15225

Resolução

1- Resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$k_{mod1} = 0,7$$

$$k_{mod2} = 1$$

$$k_{mod3} = 0,8$$

$$k_{mod} = 0,7 * 1 * 0,8$$

$$k_{mod} = 0,56$$

TABELA A.1.2 Valores médios de resistência e do módulo de deformação longitudinal, para U = 12%, de madeiras coníferas nativas e de florestamento (NBR7190, 1996)

Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}$ (kg/m ³)	f_c (MPa)	f_t (MPa)	f_m (MPa)	f_v (MPa)	E_c (MPa)
Pinho-do-paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15225

Resolução

1- Resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$f_k = 0,7 * f_{cm}$$

$$f_k = 0,7 * 40,9$$

$$f_k = 28,63 \text{ MPa}$$

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$f_{ed} = f_{cd} = 0,56 * \frac{28,63}{1,4}$$

$$f_{ed} = 11,4 \text{ MPa}$$

TABELA A.1.2 Valores médios de resistência e do módulo de deformação longitudinal, para U = 12%, de madeiras coníferas nativas e de florestamento (NBR7190, 1996)

Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}$ (kg/m ³)	f_c (MPa)	f_t (MPa)	f_m (MPa)	f_v (MPa)	E_c (MPa)
Pinho-do-paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15225

Resolução

3 -Resistencia de uma seção ao corte

$$\frac{t}{d} = \frac{38}{12,5} = 3,04$$

$$1,25 * \sqrt{\frac{\left(\frac{310}{1,1}\right)}{11,4}} = 6,21$$

$$\frac{t}{d} = 3,04 < 6,21$$

→ mecanismo II – esmagamento local da madeira

Resolução

3 -Resistencia de uma seção ao corte

→ mecanismo II – esmagamento local da madeira

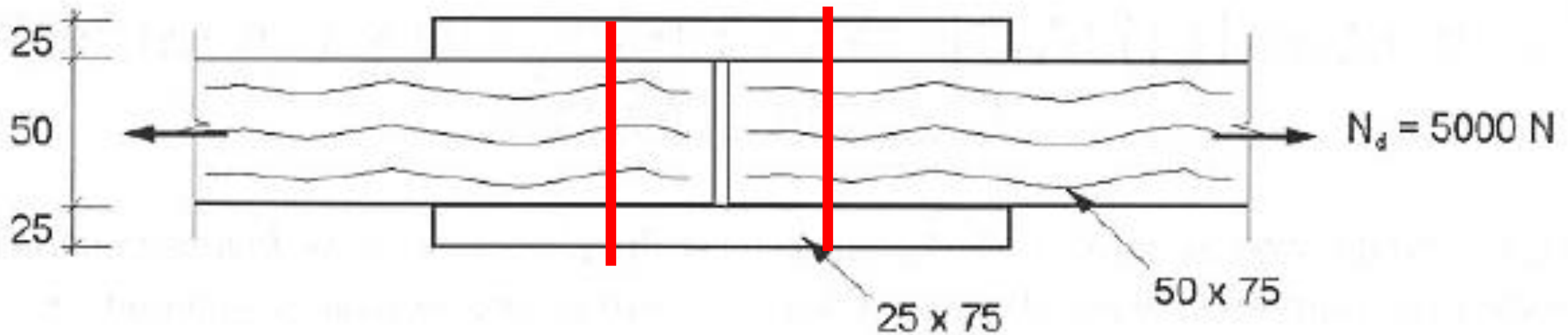
$$R_d = 0,4 * f_{ed} * d * t$$

$$R_d = 0,4 * 11,4 * 12,5 * 38$$

$$R_d = 2166 \text{ N ou } 2,166 \text{ kN}$$

Exemplo 3

Dimensionar a emenda pregada de peças tracionadas da madeira de louro preto de 2ª categoria utilizadas em uma estrutura sujeita de cargas de longa duração em classe de umidade 2. o esforço de tração de projeto é igual a 5000 N.



Resolução

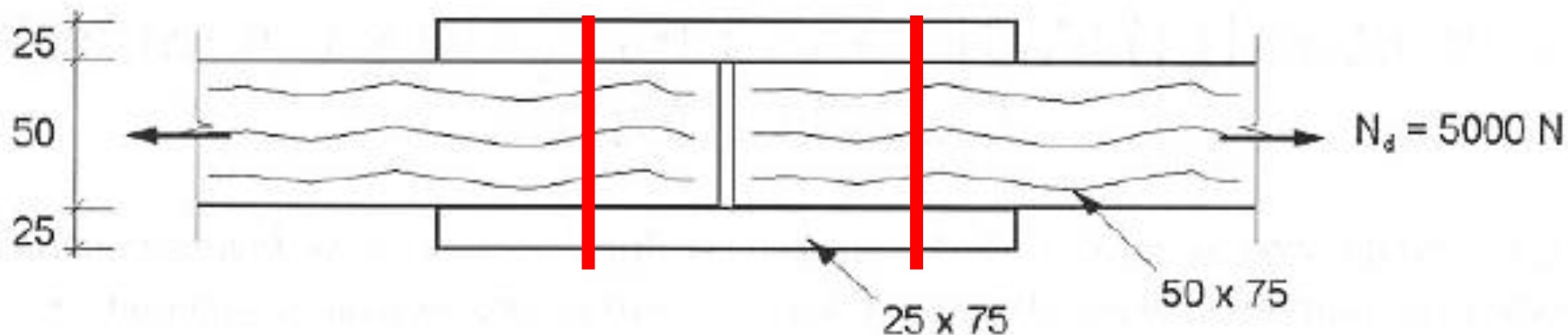
1 – escolha dos pregos

A escolha dos pregos deve levar em consideração o comprimento do corpo do prego e o tipo de corte da ligação

Como a ligação possui corte duplo, é necessário que o corpo do prego penetre em todas as 3 camadas de madeira que fazem parte da ligação

E deve atender o seguinte requisito:

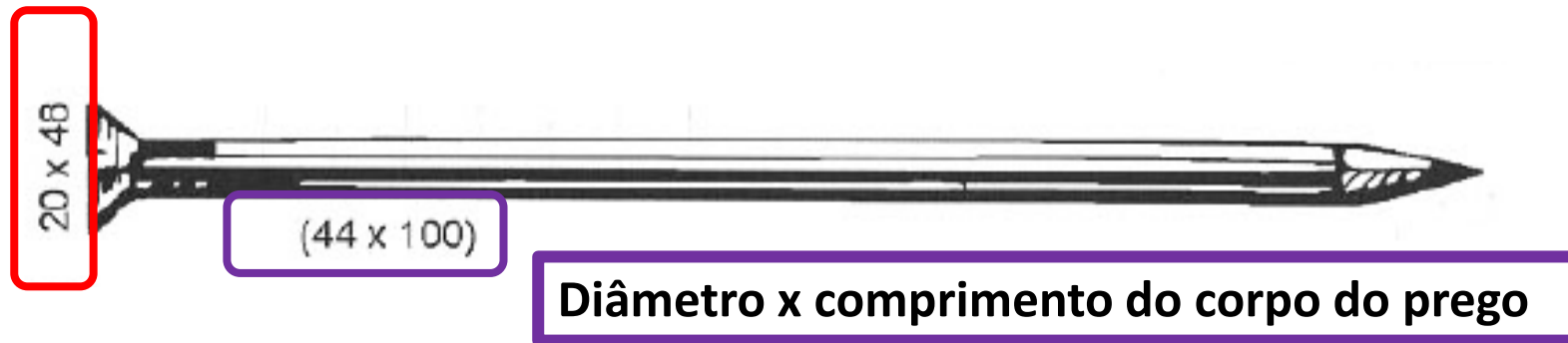
$d \leq t/4$, t a espessura da madeira com menor espessura na ligação



Resolução

1- escolha dos pregos

Vamos adotar o prego 20x48 que possui corpo do prego $l=100\text{mm}$



Bitola conforme padronização da ABNT, comercial

$$d \leq t/4$$

$$\rightarrow d \leq 25/4 = 6,25 \text{ mm}$$

Como $d=4,4 \text{ mm} \leq 6,25 \text{ mm} \rightarrow \text{ok!!!!}$

Resolução

2-Resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$k_{mod1} = 0,7$$

$$k_{mod2} = 1$$

$$k_{mod3} = 0,8$$

$$k_{mod} = 0,7 * 1 * 0,8$$

$$k_{mod} = 0,56$$

Resolução

2-Resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$f_k = 0,7 * f_{cm}$$

$$f_k = 0,7 * 56,5$$

$$f_k = 39,5 \text{ MPa}$$

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$f_{ed} = f_{cd} = 0,56 * \frac{39,5}{1,4}$$

$$f_{ed} = 15,8 \text{ MPa}$$

Resolução

3 - Resistencia de um prego em corte duplo

$$\frac{t}{d} = \frac{25}{4,4} = 5,7$$

$$1,25 * \sqrt{\frac{\left(\frac{600}{1,1}\right)}{15,8}} = 7,3$$

$$\frac{t}{d} = 5,7 < 7,3$$

→ mecanismo II – esmagamento local da madeira

Resolução

3 - Resistencia de um prego em corte duplo

→ mecanismo II – esmagamento local da madeira

$$R_d = 2 * 0,4 * f_{ed} * d * t$$

$$R_d = 2 * 0,4 * 15,8 * 4,4 * 25$$

$$R_d = 1390 N$$

Resolução

4 – Número de pregos

$$n = \frac{T}{R_d}$$

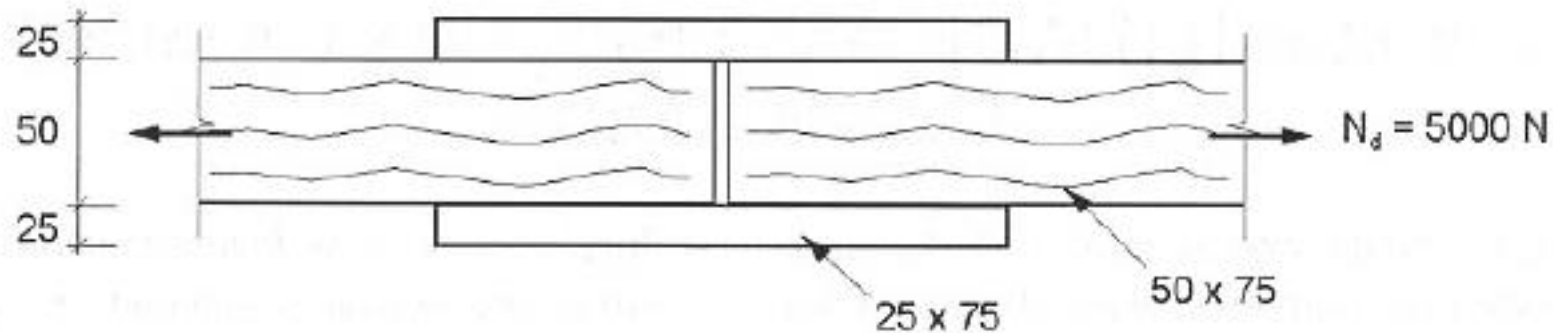
$$n = \frac{5000}{1390}$$

$$n = 3,6$$

Adotar $n=4$

Resolução

5 - Disposição dos pregos



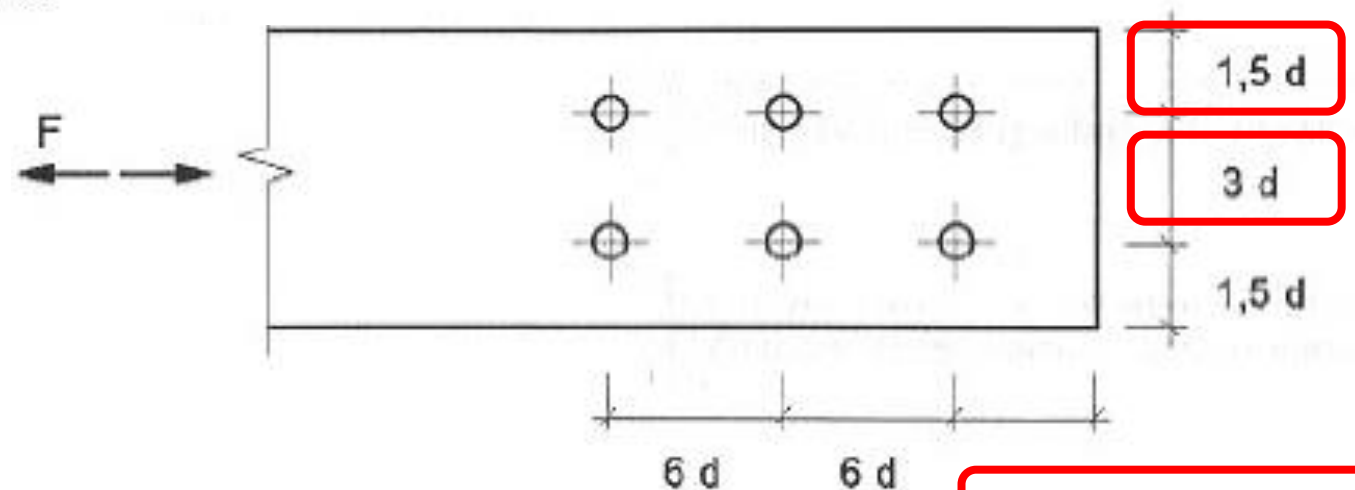
Espaçamentos mínimos

$$1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 4,4 = 6,6 \text{ mm}$$

$$3 \cdot d = 3 \cdot 4,4 = 13,2 \text{ mm}$$

$$7 \cdot d = 7 \cdot 4,4 = 30,8 \text{ mm}$$

$$6 \cdot d = 6 \cdot 4,4 = 26,4 \text{ mm}$$

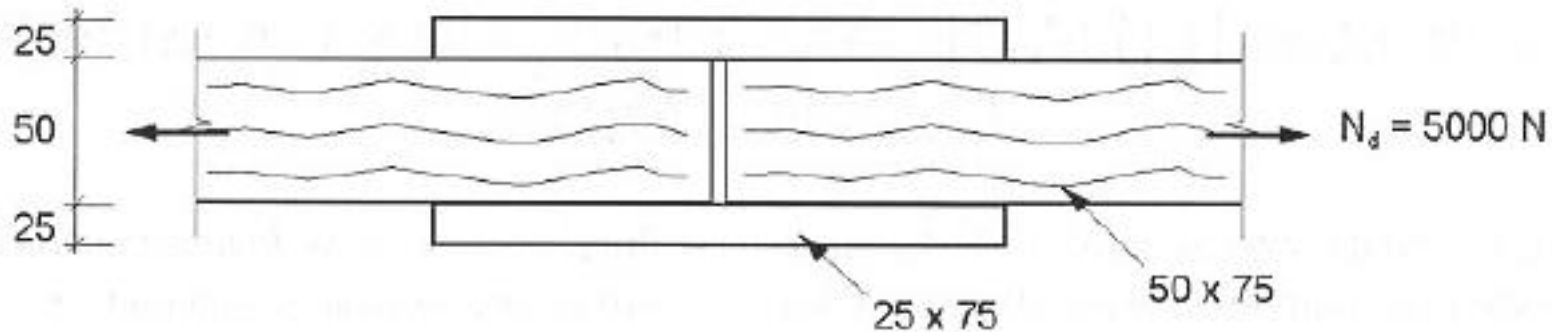


7 d Peça tracionada

4 d Peça comprimida

Resolução

5 - Disposição dos pregos



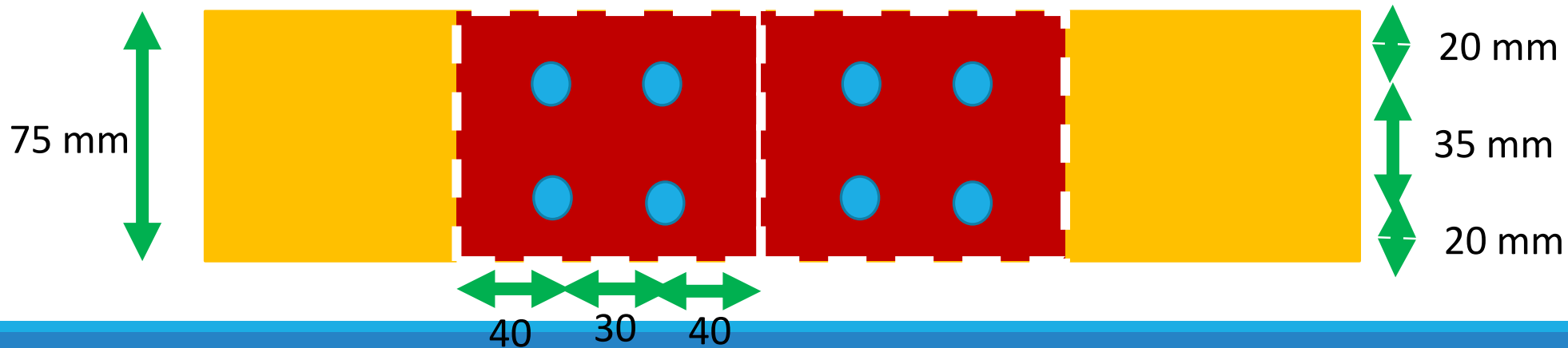
Espaçamentos mínimos

$$1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 4,4 = 6,6\text{ mm}$$

$$3 \cdot d = 3 \cdot 4,4 = 13,2\text{ mm}$$

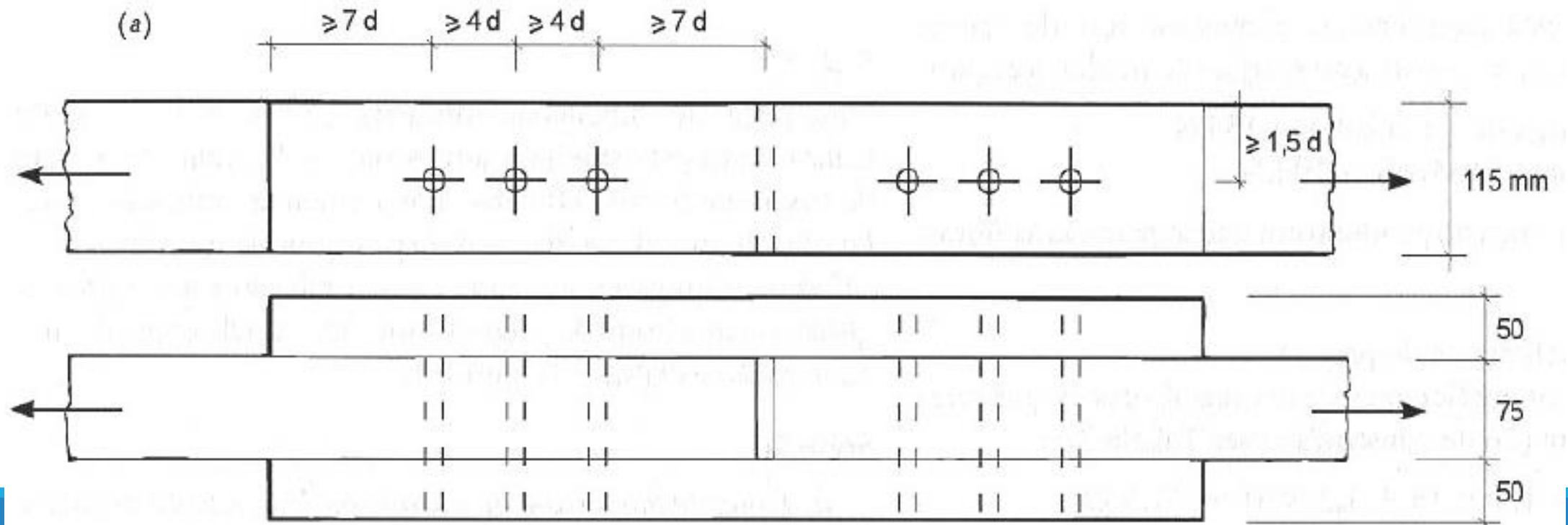
$$7 \cdot d = 7 \cdot 4,4 = 30,8\text{ mm}$$

$$6 \cdot d = 6 \cdot 4,4 = 26,4\text{ mm}$$



Exemplo 2

Uma peça, de dimensões nominais 7,5 cm x 11,5 cm de louro preto está sujeita a um esforço solicitante de projeto de tração de 55 kN. Dimensionar a emenda, utilizando talas de madeira e diversos dispositivos de transmissão de esforços. Ação de carga de longa duração e classe de umidade 3. parafusos de 19 mm e $f_{yk}=240$ Mpa.



Resolução

1. Resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras

Condições:

-longa média de duração

$$K_{mod\ 1} = 0,7$$

-classe 3 de umidade;

$$K_{mod\ 2} = 0,8$$

-madeira dicotiledônea de 2ª categoria

$$K_{mod\ 3} = 0,8$$

Resolução

1.resistência à tração de projeto

$$K_{mod} = K_{mod 1} * K_{mod 2} * K_{mod 3}$$

$$K_{mod} = 0,7 * 0,8 * 0,8$$

$$K_{mod} = 0,448$$

$$f_k = 0,7 * f_{cm}$$

$$f_k = 0,7 * 56,5$$

$$f_k = \mathbf{39,55 \text{ MPa}}$$

TABELA 3.8 Relação f_k/f_m entre as resistências característica e média e o valor do coeficiente γ_w

Esforço	f_k/f_m	γ_w
Compressão paralela às fibras	0,70	1,4
Tração paralela às fibras	0,70	1,8
Cisalhamento paralelo às fibras	0,54	1,8

Resolução

2- Resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

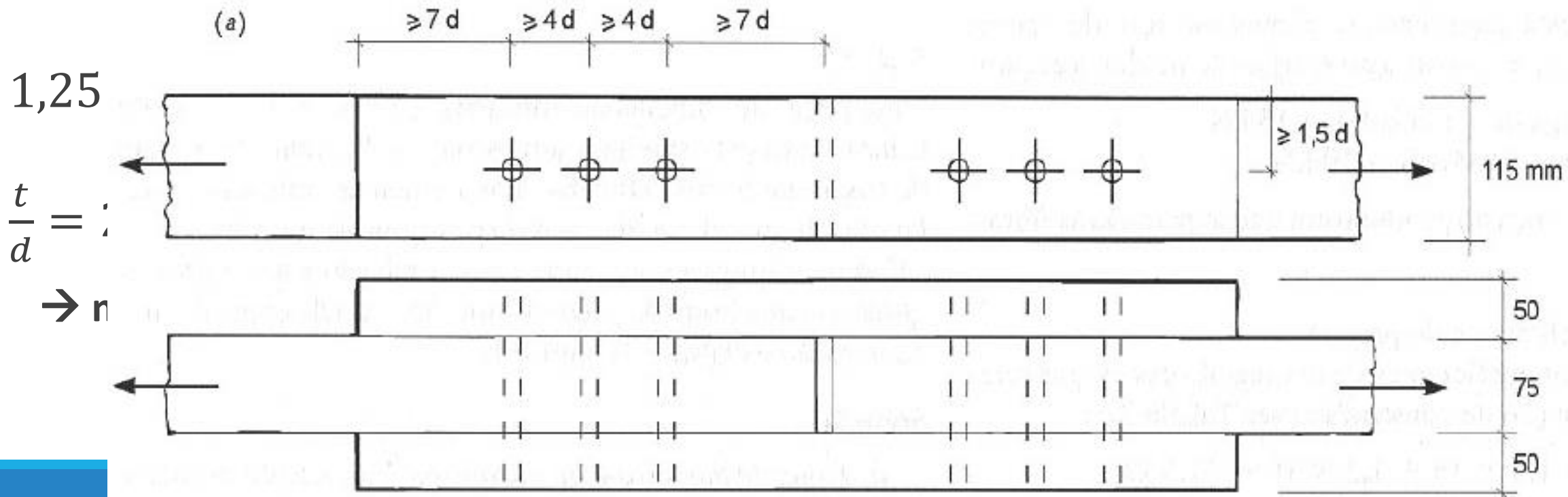
$$f_{ed} = f_{cd} = 0,448 * \frac{39,55}{1,4}$$

$$f_{ed} = 12,65 \text{ MPa}$$

Resolução

3 - Resistencia de uma seção ao corte

$$\frac{t}{d} = \frac{75/2}{19} = 2$$



Resolução

3 -Resistencia de uma seção ao corte

→ mecanismo II – esmagamento local da madeira

$$R_d = 2 * 0,4 * f_{ed} * d * t$$

$$R_d = 2 * 0,4 * 12,65 * 19 * \frac{75}{2}$$

$$R_d = 7182 N$$

Resolução

4- Quantos parafusos são necessários?

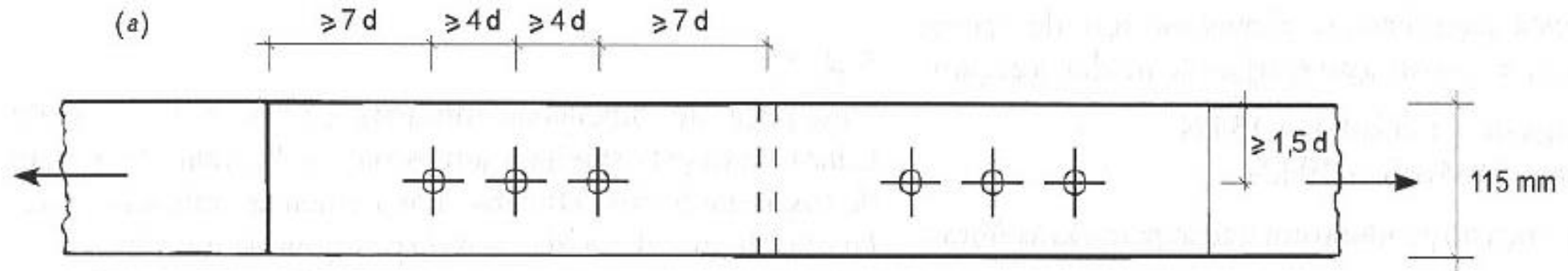
Numero de parafusos= $55/7,18 = 8$ parafusos

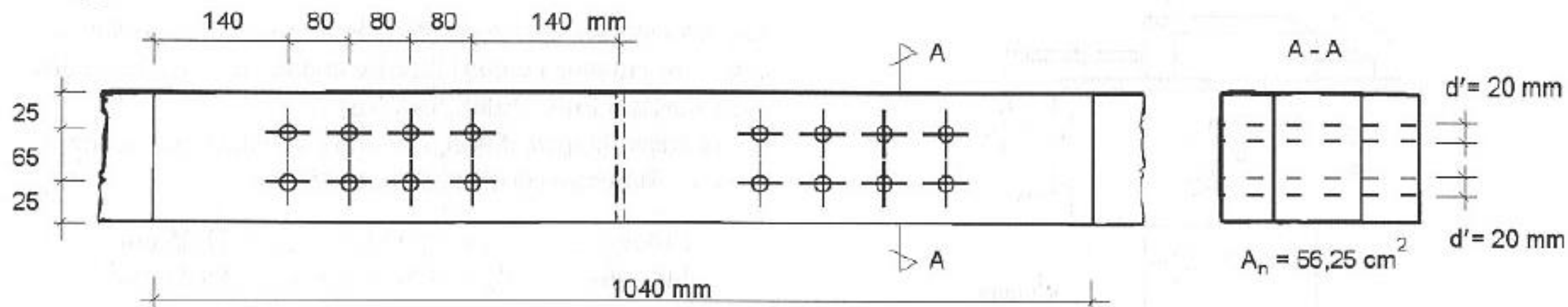
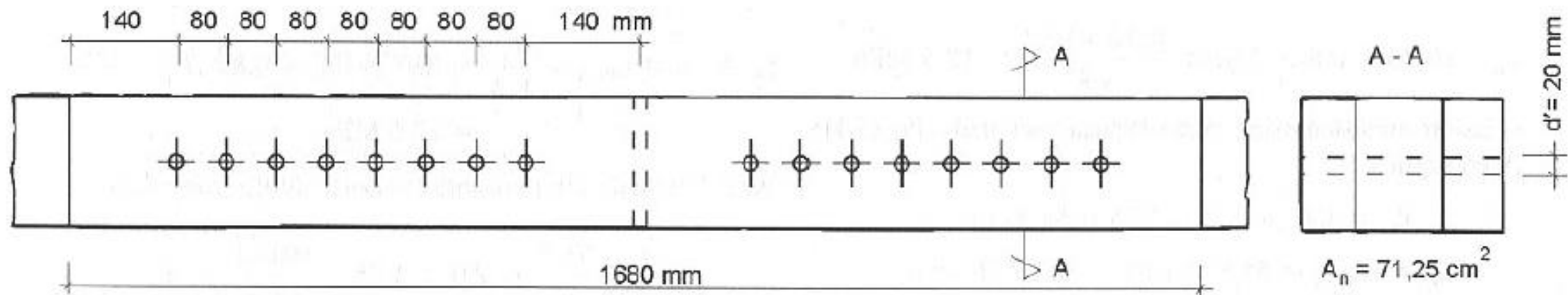
Espaçamentos horizontais mínimos:

$4*d = 4*19 \text{ mm} = 76 \text{ mm}$

$7*d = 133 \text{ mm}$

Espaçamentos verticais mínimos: $1,5*d = 1,5*19 = 28,5$





Resolução

5- resistência a tração

$$f_{td} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$f_{td} = 0,448 * \frac{(0,7 * 111,9)}{1,8}$$

$$f_{td} = 19,5 \text{ MPa}$$

Resolução

6- Área líquida

Para 1 fileira

$$A_n = A_g - b * d'$$

$$A_n = (b * h) - b * d'$$

$$A_n = b * (h - d')$$

$$A_n = 7,5 * (11,5 - 2)$$

$$A_n = 71,25 \text{ cm}^2$$

Resolução

6- Área líquida

Para 2 fileira

$$A_n = A_g - b * d'$$

$$A_n = (b * h) - b * d'$$

$$A_n = b * (h - d')$$

$$A_n = 7,5 * (11,5 - 2 * 2)$$

$$A_n = 56,25 \text{ cm}^2$$

Resolução

7- Esforço resistente de projeto da peça tracionada

1 fileira

$$\sigma_{sd} = \frac{N_d}{A_n} \leq f_{td}$$

$$\rightarrow N_{d\ res} = A_n * f_{td}$$

$$N_{d\ res} = 71,25 * 1,95$$

$$N_{d\ res} = 138,94\ kN$$

$$N_{d\ res} = 138,94\ kN > N_d = 55\ kN$$

Resolução

7- Esforço resistente de projeto da peça tracionada

1 fileira

$$\sigma_{sd} = \frac{N_d}{A_n} \leq f_{td}$$

$$\rightarrow N_{d\ res} = A_n * f_{td}$$

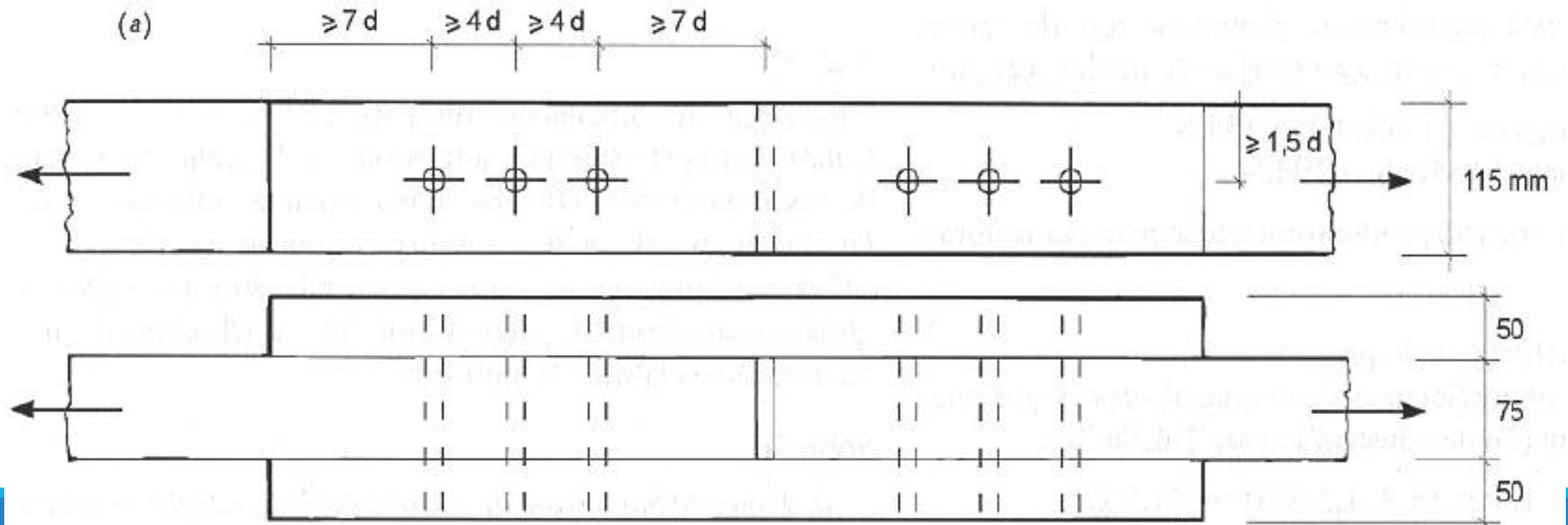
$$N_{d\ res} = 56,25 * 1,95$$

$$N_{d\ res} = 109,68\ kN$$

$$N_{d\ res} = 109,68\ kN > N_d = 55\ kN$$

Exemplo 3

Uma peça, de dimensões nominais 7,5 cm x 11,5 cm de louro preto está sujeita a um esforço solicitante de projeto de tração de 55 kN. Dimensionar a emenda, utilizando talas de madeira e diversos dispositivos de transmissão de esforços. Ação de carga de longa duração e classe de umidade 3.pregos 120x59 (d=0,59 cm, l=12cm) e $f_{yk}=600$ Mpa.



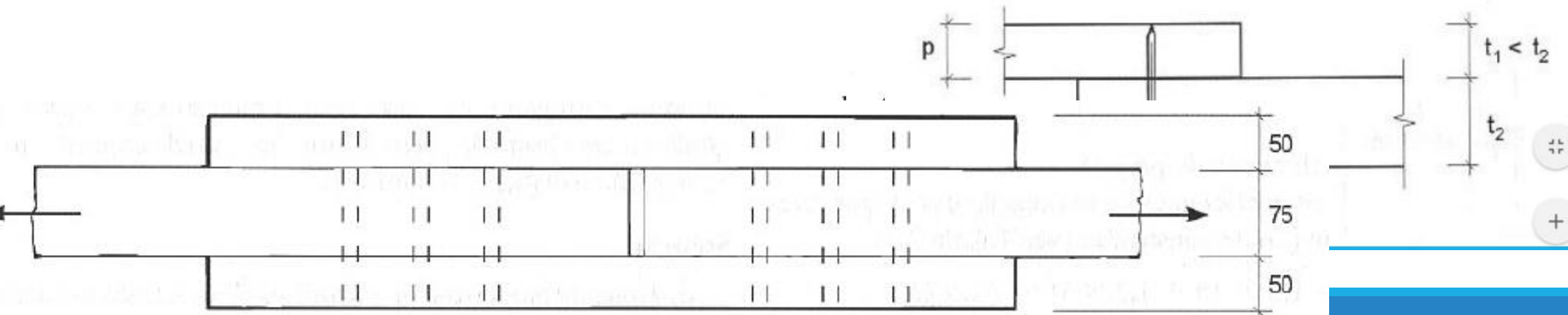
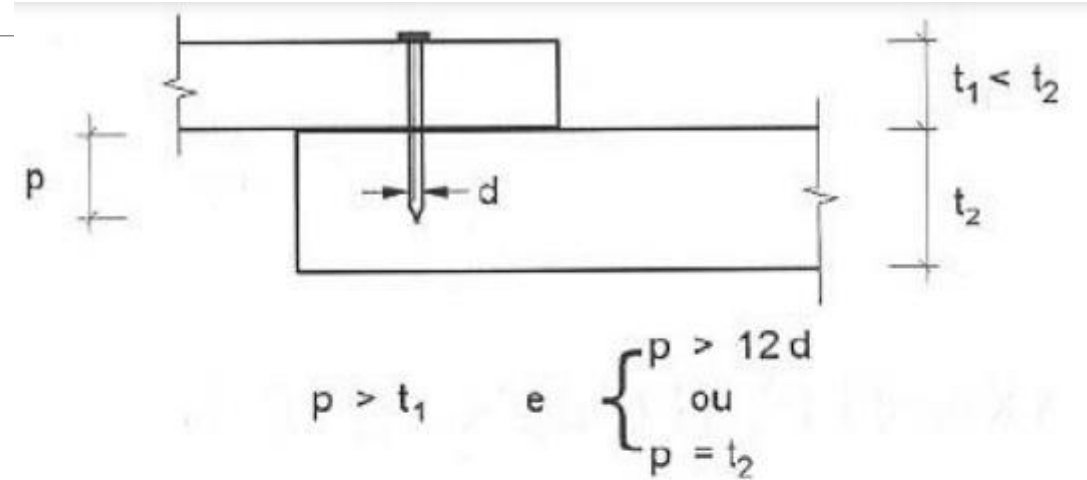
Resolução

1- penetração mínima dos pregos

$$p = 7 \text{ cm} > t_1 = 5 \text{ cm} \rightarrow \text{Ok}$$

$$p > 12 * d$$

$$12 * d = 12 * 0,59 = 7,1 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$$



Resolução

2- Resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

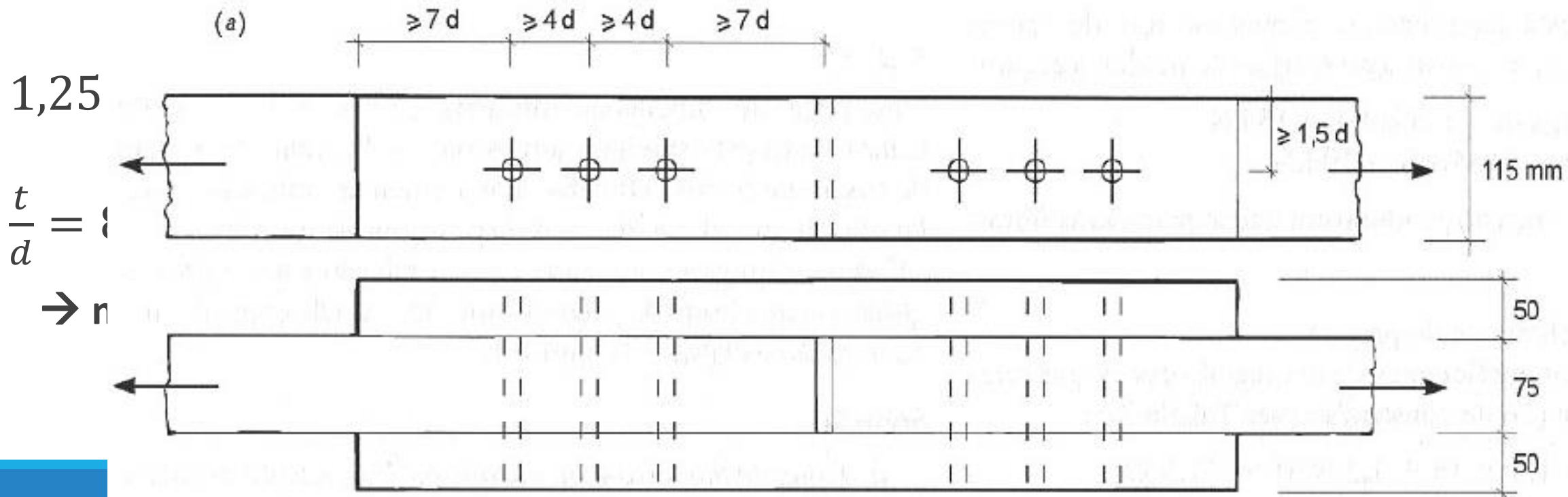
$$f_{ed} = f_{cd} = 0,448 * \frac{39,55}{1,4}$$

$$f_{ed} = 12,65 \text{ MPa}$$

Resolução

3 - Resistencia de uma seção ao corte

$$\frac{t}{d} = \frac{50}{5,9} = 8,5$$



Resolução

3-Resistência de uma seção de corte do prego

$$R_d = 0,5 * d^2 * \sqrt{f_{ed} * f_{yd}}$$

$$R_d = 0,5 * 5,9^2 * \sqrt{12,65 * \left(\frac{600}{1,1}\right)}$$

$$R_d = 1443 \text{ N}$$

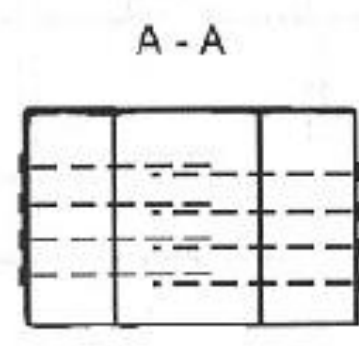
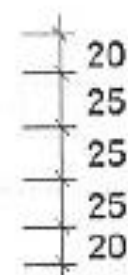
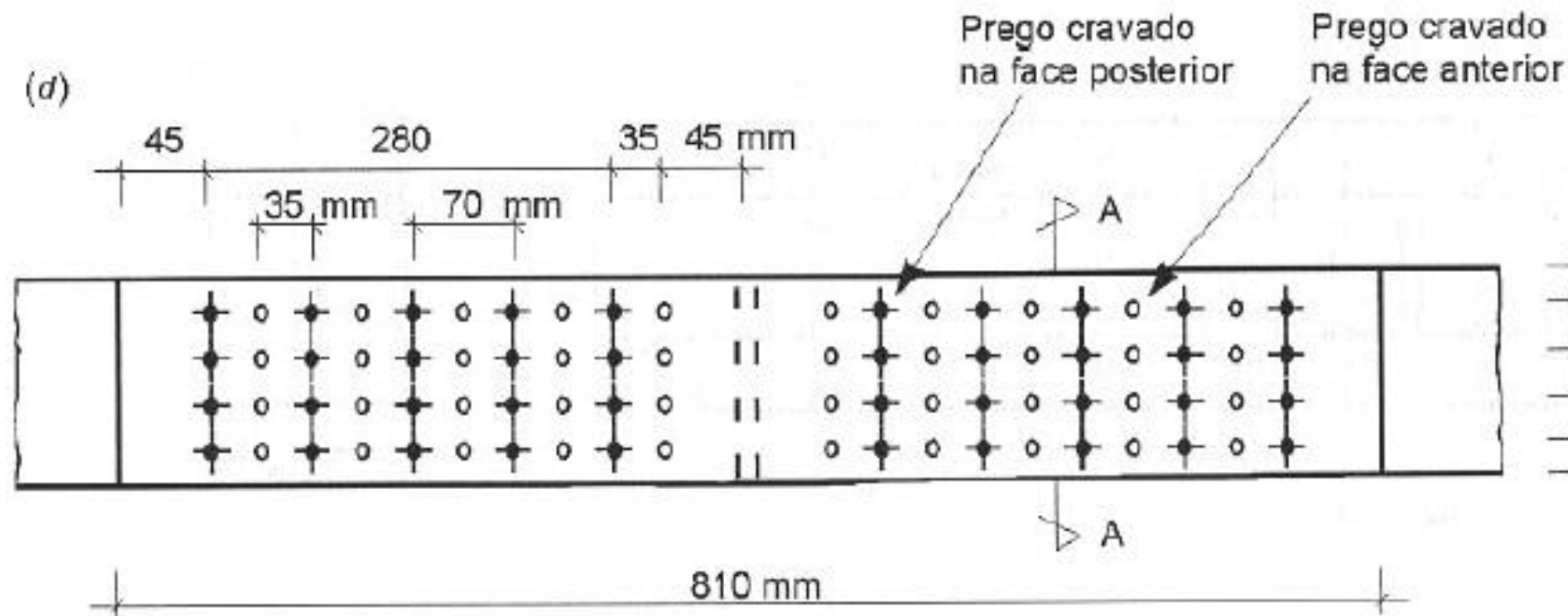
Número de pregos:

$$N = F_{sd} / (2 * R_d)$$

$$N = 55000 / 2 * 1443$$

$$N = 19,1 \text{ pregos}$$

(d)



$A_n = 68,55 \text{ cm}^2$

$d = 5,9 \text{ mm}$

Resolução

- Área líquida

$$A_n = A_g - b * d'$$

$$A_n = (b * h) - b * d'$$

$$A_n = b * (h - d')$$

$$A_n = 7,5 * (11,5 - 4 * 0,59)$$

$$A_n = 68,55 \text{ cm}^2$$

Resolução

Esforço resistente de projeto da peça tracionada

$$\sigma_{sd} = \frac{N_d}{A_n} \leq f_{td}$$

$$\rightarrow N_{d\ res} = A_n * f_{td}$$

$$N_{d\ res} = 68,55 * 1,95$$

$$N_{d\ res} = 133,57\ kN$$

$$N_{d\ res} = 133,57\ kN > N_d = 55\ kN$$