



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

Roteiro para Dimensionamento de Ligações entre Elementos de Madeira e Aço com Parafusos

1 VARIÁVEIS UTILIZADAS

Variável	Descrição	Procedência
$f_{c0,k1}$	Força de compressão característica paralela às fibras do elemento 1 de madeira	Característica da classe de madeira
$f_{c0,k2}$	Força de compressão característica paralela às fibras do elemento 2 de madeira	Característica da classe de madeira
t_1	Espessura do elemento 1 de madeira	Determinado pelo projeto
t_2	Espessura do elemento 2 de madeira	Determinado pelo projeto
Ângulo	Ângulo entre os elementos de madeira	Determinado pelo projeto
k_{mod1}	Coefficiente de modificação que leva em consideração as classes de carregamento	Duração do carregamento
k_{mod2}	Coefficiente de modificação que leva em consideração as classes de umidade	Teor de umidade e tipo de madeira utilizado
k_{mod3}	Coefficiente de modificação que leva em consideração a qualidade da madeira	Método de classificação da qualidade da madeira
d	Diâmetro do parafuso	Tipo do parafuso
n	Número de parafusos utilizados	Determinado pelo projeto
$f_{u,k}$	Força de tensão característica do parafuso	Classe do aço do parafuso

2 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO

O método de dimensionamento a seguir, utiliza as equações apresentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas através da revisão da norma ABNT NBR 7190 (1997). O documento normativo não determina uma



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

seqüência de cálculo, porém, por questões de agilidade, será apresentada uma ordem considerada pelos desenvolvedores do software como mais adequada.

2.1 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS – VALORES DE CÁLCULO

A revisão da norma ABNT NBR 7190 (1997) permite que o dimensionamento seja realizado através das Classes de Resistência ou Espécies, porém, no software ocorre por meio da primeira opção apenas. Portanto, seguem as tabelas apresentadas na norma que especificam valores de propriedades para o dimensionamento por Classes de Resistência.

Tabela 1 - Classe de resistência das Coníferas

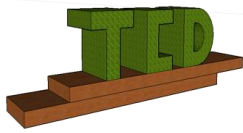
Coníferas (valores na condição padrão de referência U = 12%)				
Classes	f_{c0k} (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)	$E_{c0,k}$ (MPa)	ρ_{aparente} (kg/m ³)
C20	20	4	3500	500
C25	25	5	8500	550
C30	30	6	14500	600

Fonte: NBR 7190 (ABNT,2011).

Tabela 2 - Classe de resistência das Folhosas

Folhosas (valores na condição padrão de referência U = 12%)				
Classes	f_{c0k} (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)	$E_{c0,k}$ (MPa)	ρ_{aparente} (kg/m ³)
D20	20	4	9500	650
D30	30	5	14500	800
D40	40	6	19500	950
D50	50	7	22000	970
D60	60	8	24500	1000

Fonte: NBR 7190 (ABNT,2011)



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

Os valores apresentados nas tabelas são os característicos.

Para calcular os valores de resistência de cálculo, utiliza-se a equação a seguir:

$$f_{w,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{w,k}}{\gamma_w}$$

Equação 1 – Resistências de Cálculo

Onde:

$f_{w,d}$ = resistências de cálculo (pode assumir valores de resistência à compressão, tração, cisalhamento, etc.);

$f_{w,k}$ = é a resistência característica da madeira definida por meio de classes de resistência;

$\gamma_w = 1,4$ (para resistência à compressão paralela ou normal da madeira);

$\gamma_w = 1,8$ (para resistência à tração paralela ou cisalhamento da madeira).

O valor conhecido como k_{mod} é o produto de três coeficientes de modificação. Seus valores são dados no Quadro 1 e Tabelas 4, 5 e 6. Cada k_{mod} significa:

k_{mod1} = refere-se a classe de carregamento e o tipo de material;

k_{mod2} = refere-se a classe de umidade e o tipo de material;

k_{mod3} = refere-se a qualidade da madeira e ao método utilizado na classificação da mesma.

$$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3}$$

Equação 2 – Composição do Coeficiente de Modificação



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

Classes de carregamento	Ação variável principal da combinação		Tipos de madeira	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica	Madeira serrada Madeira roliça Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
Permanente	Permanente	Vida útil da construção	0,60	0,30
Longa duração	Longa duração	Mais de seis meses	0,70	0,45
Média duração	Média duração	Uma semana a seis meses	0,80	0,65
Curta duração	Curta duração	Menos de uma semana	0,90	0,90
Instantânea	Instantânea	Muito curta	1,10	1,10

Quadro 1 - Definição de classes de carregamento e valores de k_{mod1}

Fonte: NBR 7190 (ABNT,2011).

Classes de carregamento	Exemplos
Permanente	Peso próprio
Longa duração	Reservatórios de água Carga de armazenamento
Média duração	Sobrecarga geral de piso
Curta duração	Neve Sobrecarga de manutenção de cobertura
Instantânea	Vento Explosão Cargas de impacto

Quadro 2 – Exemplos práticos das classes de carregamento

Fonte: Adaptado Porteous e Kermani (2007).



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

Tabela 3 - Classes de umidade

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente U_{amb}	Umidade de equilíbrio da madeira U_{eq}
1	$U_{amb} \leq 65 \%$	12 %
2	$65 \% < U_{amb} \leq 75 \%$	15 %
3	$75 \% < U_{amb} \leq 85 \%$	18 %
4	$U_{amb} > 85 \%$ durante longos períodos	$\geq 25 \%$

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2011).

Tabela 4 - Valores do K_{mod} 2

Classes de umidade	Madeira serrada	Madeira recomposta
	Madeira roliça	
	Madeira laminada colada	
	Madeira compensada	
(1)	1,00	1,00
(2)	0,90	0,95
(3)	0,80	0,93
(4)	0,70	0,90

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2011).

Para madeira serrada submersa, admite-se o valor de 0,65.



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

Tabela 5 - Valores de Kmod 3 para Coníferas

Classificação	Classes	Tipos de classificação	
		Apenas visual	Visual e mecânica
Densas (D)	SE-D	0,70	0,90
	S1-D	0,60	0,80
	S2-D	0,50	0,70
	S3-D	0,40	0,60
Classificação	Classes	Tipos de classificação	
		Apenas visual	Visual e mecânica
Não-Densas (ND)	SE-ND	0,60	0,60
	S1-ND	0,50	0,70
	S2-ND	0,40	0,60
	S3-ND	0,30	0,50

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2011).

Tabela 6 - Valores de Kmod 3 para Folhosas

Classes	Tipos de classificação	
	Apenas visual	Visual e mecânica
SE	0,90	1,00
S1	0,85	0,95
S2	0,80	0,70
S3	0,75	0,85

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2011).

Para madeira folhosa não-classificada, admite-se o valor de 0,70.

Diâmetro (cm)	<0,64	0,95	1,27	1,59	1,91	2,22	2,54	3,18	3,81	4,45	5,08	>7,62
Coefficiente α_e	2,5	1,95	1,68	1,52	1,41	1,33	1,27	1,19	1,14	1,1	1,07	1

Quadro 3 - Coeficiente α_e

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2017).



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

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	
Parafuso passante padrão NBR ISO 898-1	Classe 4.6	235	400	$d \geq 10 \text{ mm}$
	Classe 8.8	640	800	
	Classe 10.9	900	1000	
Parafuso de rosca soberba padrão NBRxxx		250	415	$d \geq 6 \text{ mm}$

Quadro 4 – Características dos pinos metálicos

2.2 CÁLCULO DO VALOR CARACTERÍSTICO DA FORÇA DE EMBUTIMENTO

$(f_{e,k})$:

Primeiramente, deve-se calcular os valores característicos das forças de embutimento dos elementos 1 e 2 de madeira. Para isso, utiliza-se as variáveis $f_{c0, k1}$ e $f_{c0, k2}$ respectivamente. Se a classe do elemento de madeira 1 for igual à classe do elemento de madeira 2, temos que $f_{e, k1} = f_{e, k2}$.

$$f_{e0,k} = f_{c0,k}$$

Equação 3 – Força de embutimento paralela às fibras do elemento de madeira

$$f_{e90,k} = 0,25 \cdot f_{c0,k} \cdot \alpha_e$$

Equação 4 – Força de embutimento perpendicular às fibras do elemento de madeira

Sendo:

$f_{c0,k}$ = valor característico de compressão paralelo às fibras;

α_e = coeficiente indicado no Quadro 3.



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

$$f_{c90,d} = \frac{f_{e0,k} \cdot f_{e90,k}}{f_{e0,k} \cdot \sin^2 \alpha + f_{e90,k} \cdot \cos^2 \alpha}$$

Equação 5 – Força de embutimento inclinada às fibras do elemento de madeira

Sendo:

$f_{c0,k}$ = valor característico de compressão paralelo às fibras;

$f_{c90,k}$ = valor característico de compressão perpendicular às fibras;

α = ângulo entre os elementos.

2.3 CÁLCULO DO COEFICIENTE DE RELAÇÃO ENTRE OS VALORES DE EMBUTIMENTO DOS ELEMENTOS DE MADEIRA (β)

$$\beta = \frac{f_{e,k2}}{f_{e,k1}}$$

Equação 6 – Coeficiente de Relação entre as Forças de Embutimento dos Elementos de Madeira

Sendo:

$f_{e,k1}$ = valor característico da força de embutimento do elemento 1 de madeira;

$f_{e,k2}$ = valor característico da força de embutimento do elemento 2 de madeira;

2.4 CÁLCULO DO NÚMERO EFETIVO DE PARAFUSOS NA LIGAÇÃO

2.4.1 Se número de parafusos em linha da ligação for maior que 8

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

Equação 7 – Número Efetivo de Parafusos

Em que:



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

n_0 = número efetivo de parafusos resistentes;

n_c = número de parafusos.

2.5 CÁLCULO DO EFEITO DE CONFINAMENTO

Recomenda-se que a contribuição do efeito de confinamento só deva ser considerada após investigação experimental que comprove o fenômeno. A contribuição do efeito de confinamento deve ser limitada ao percentual de 25% para parafusos passantes com porcas e arruelas. Para o mesmo caso, 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.

- Devido à resistência à tração no pino metálico:

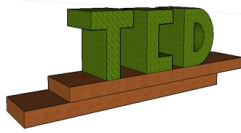
$$F_{ax,rk} = 0,75 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot f_{u,k}$$

Equação 8 – Efeito de Corda devido à Resistência à Tração

- Devido à resistência ao embutimento da arruela na madeira:

$$f_{ax,rk} = \left(\frac{\pi d_2^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4} \right) \cdot 3 \cdot f_{e,k}$$

Equação 8 – Efeito de Corda devido ao Embutimento da Arruela



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

O valor de $F_{ax,rk}$ será o menor entre os calculados anteriormente, e deverá ser levado em consideração somente se, seu valor dividido por 4, for menor que 25% da parcela de Johansen. Caso seja levado em consideração, seu valor dividido por 4 será somado a parcela de Johansen. Caso contrário, considera-se a parcela de Johansen somada a 25% de seu próprio valor.

$$F_{ax,rk} = 0$$

Equação 9 – Efeito de corda quando não considerado

2.6 DETERMINAÇÃO DO MOMENTO RESISTENTE DO PARAFUSO

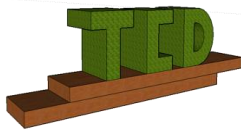
$M_{y,k}$ é o momento resistente do parafuso à flexão (N.mm); $f_{u,k}$ é a resistência última do aço do parafuso à tração (N/mm²); d é o diâmetro do parafuso (mm).

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

Equação 10 – Momento Resistente do Parafuso

2.7 CÁLCULO DAS RESISTÊNCIAS CARACTERÍSTICAS DE UMA SEÇÃO DE CORTE DE UM PARAFUSO

Escolhe-se o menor valor das equações abaixo, calculadas para uma seção ou duas seções de corte.



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

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

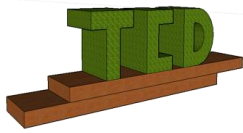
- Para ligações com chapa metálica central de qualquer espessura, em dupla seção de corte

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



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

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)

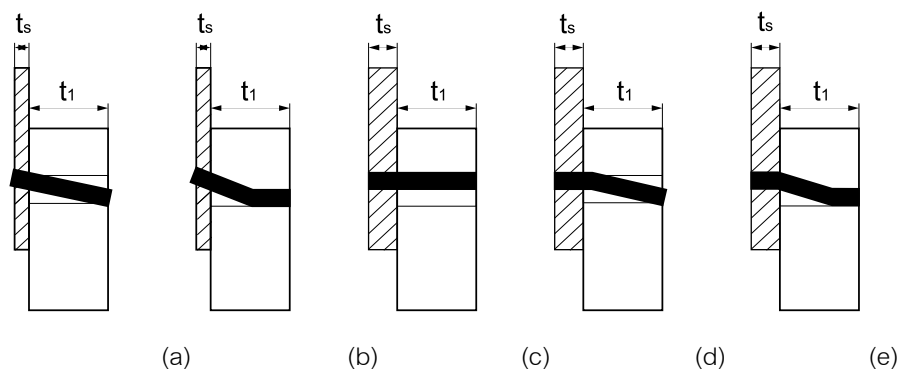
$$F_{v,Rk} = 0,5 \cdot f_{e2,k} \cdot t_2 \cdot d$$

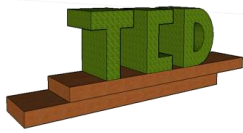
Modo de falha
(m)

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

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, $M_{y,Rk}$ é o momento característico resistente do parafuso. Os modelos de falha podem ser vistos na Figura 1.

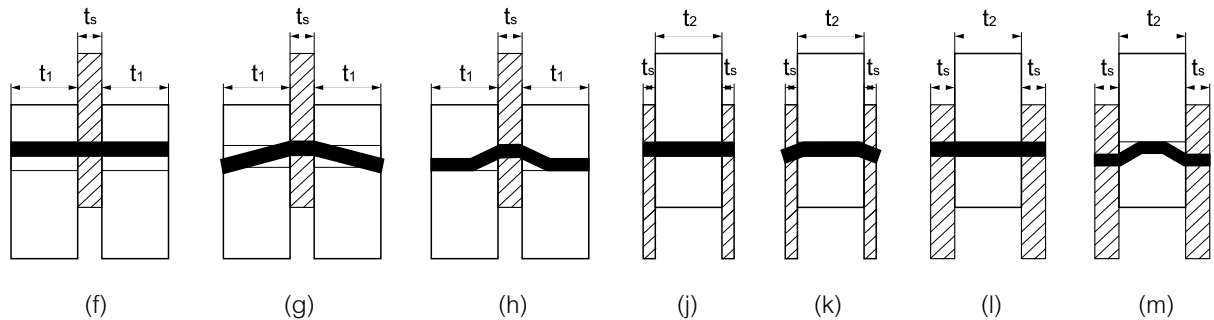
Figura 1 - Modos de falha para determinação da força característica de ligações com pinos metálicos e chapas de aço





TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0



2.8 CÁLCULO DAS RESISTÊNCIAS CARACTERÍSTICAS DA LIGAÇÃO

A resistência característica da ligação é definida por:

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

Equação 10 – Resistência característica da ligação

Onde:

n_{sp} = refere-se à quantidade de seções de corte por pino metálico;

n_0 = número efetivo de pinos por ligação;

$F_{v,Rk}$ = resistência característica de um pino, correspondente a uma dada seção de corte.

2.9 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE CÁLCULO DA LIGAÇÃO

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



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

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

Equação 11 – Resistência de cálculo da ligação

O valor do coeficiente de minoração das propriedades de resistência da ligação γ_{lig} é igual a 1,4.

OBSERVAÇÕES:

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.