



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Estruturas de Alvenaria e Madeira

(Madeira)

Luís Guerreiro

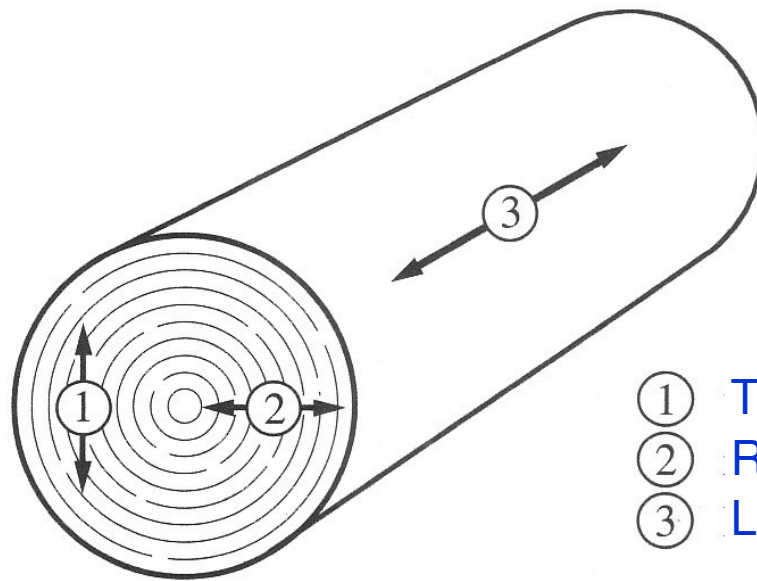
Ano lectivo 2010-2011

Direcções de crescimento



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil



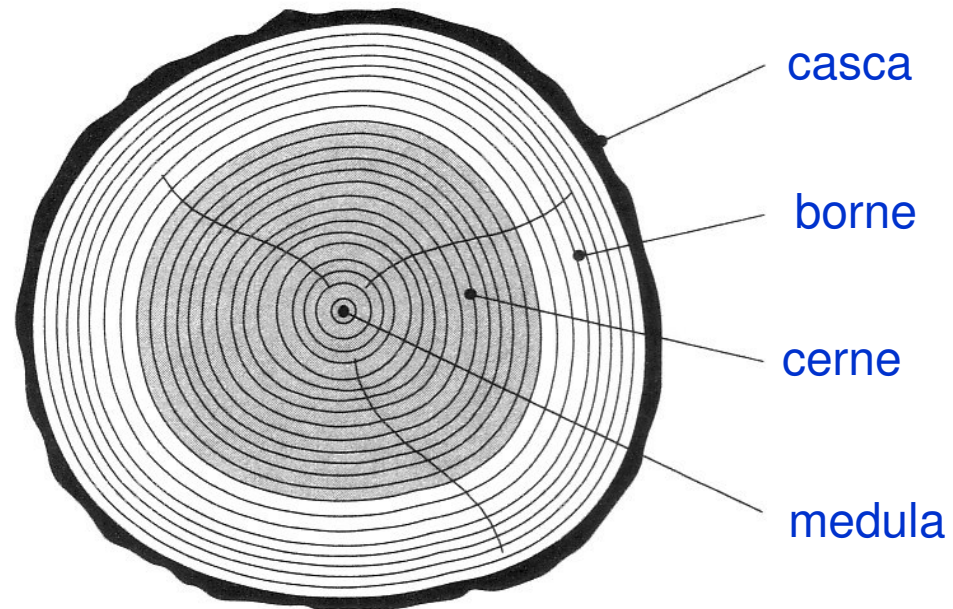
- ① Tangencial ao cerne
- ② Radial ao cerne
- ③ Longitudinal às fibras



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Constituição da secção transversal do tronco





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Propriedades da madeira

Anisotropia e higroscopicidade

O principal factor que afecta as propriedades da madeira é a água

A diferença de propriedades entre a direcção longitudinal as direcções transversais ao tronco está relacionada com a estrutura celular da madeira

Água Livre – preenche os vazios celulares (fácil de perder)

Água retida ou de saturação - impregna as paredes celulares (difícil de perder)

Água de constituição = água livre + água retida

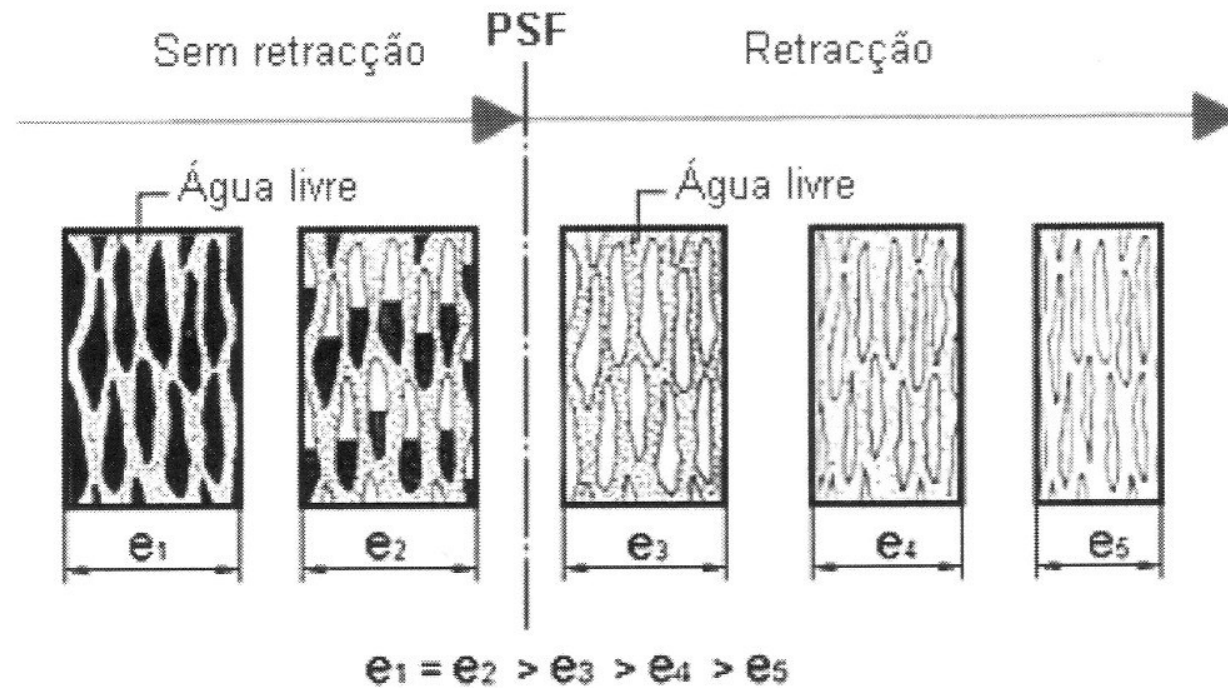
(psf) Ponto de saturação das fibras – perdeu toda a água livre

Retracção e inchamento da madeira



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil



Retracção da madeira



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

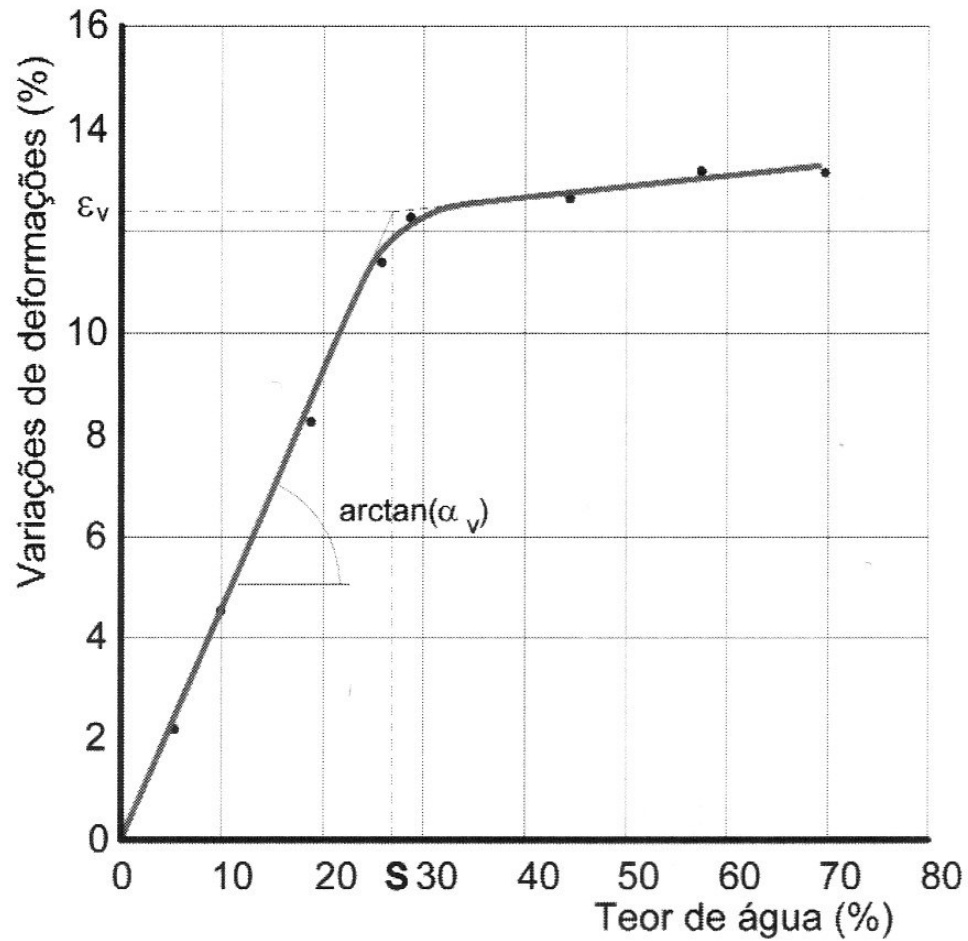


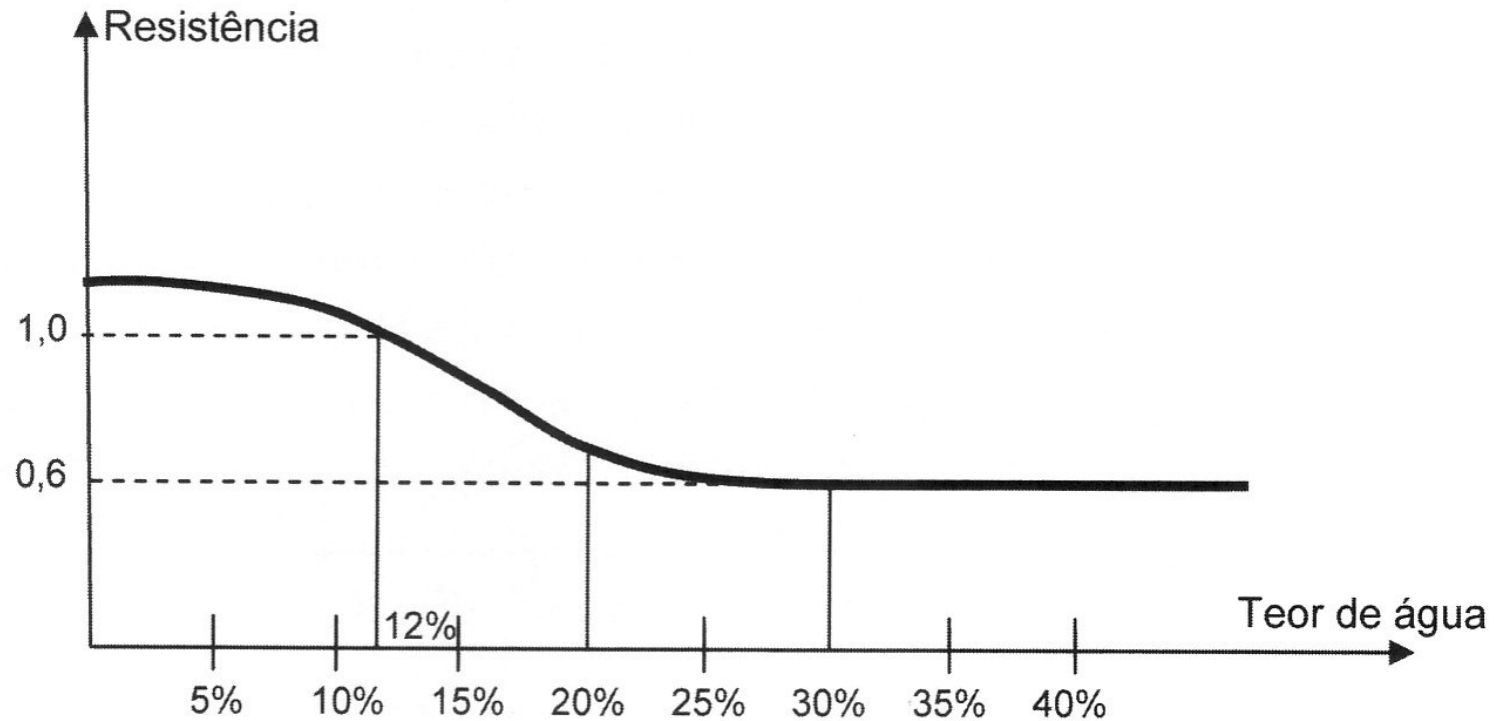
Figura 59 Determinação da retracção.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Efeito do teor de água na resistência da madeira

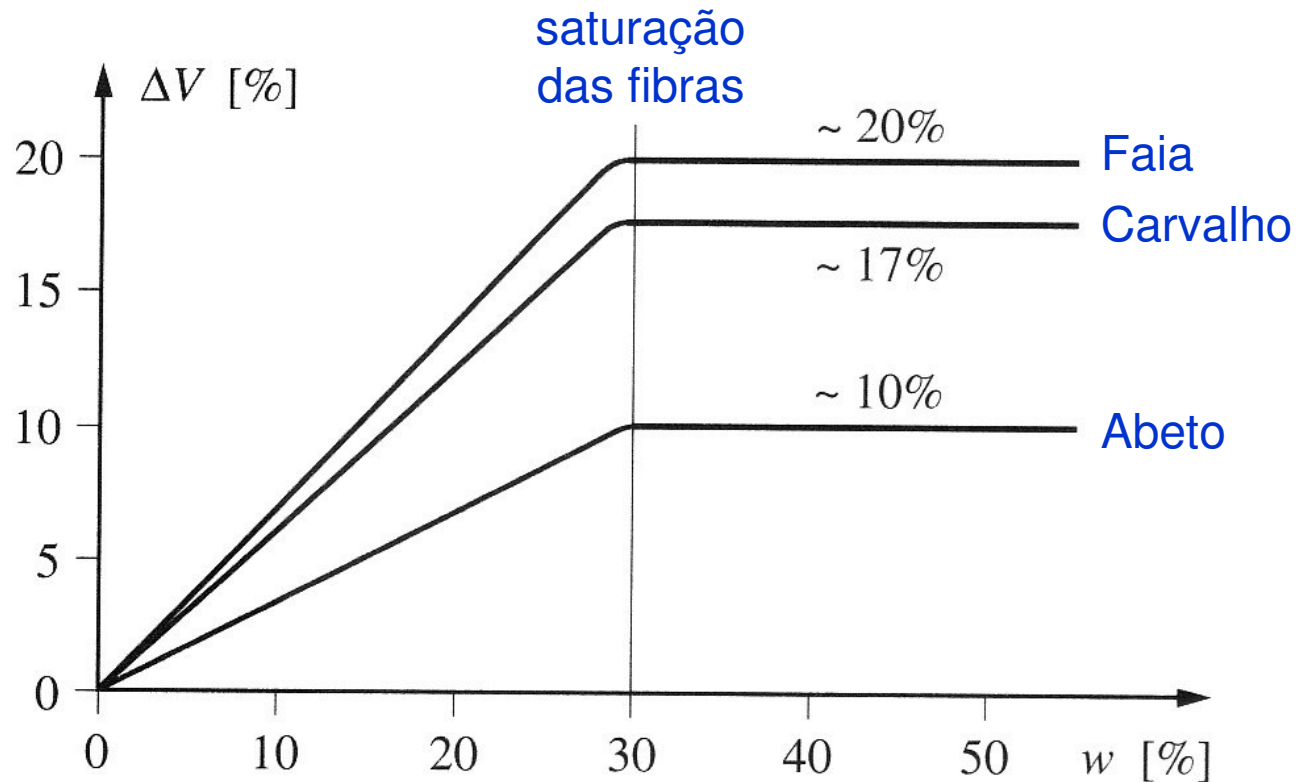




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Variação do volume em função do teor em água

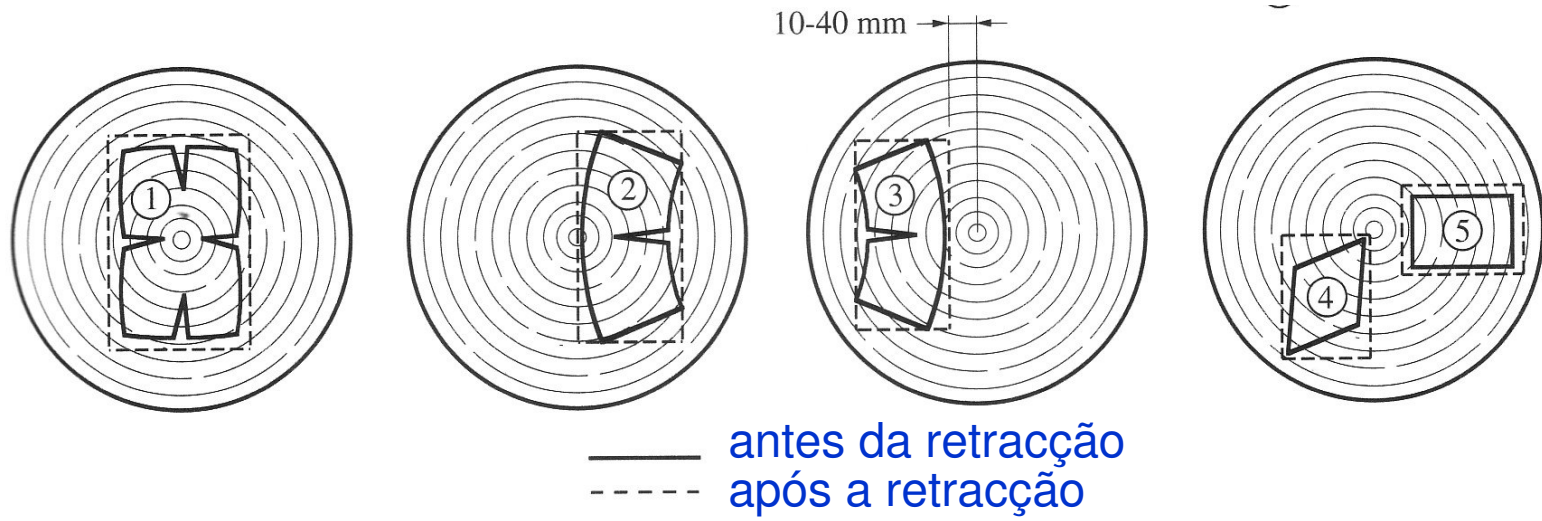




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Modos de deformação e fissuração da secção

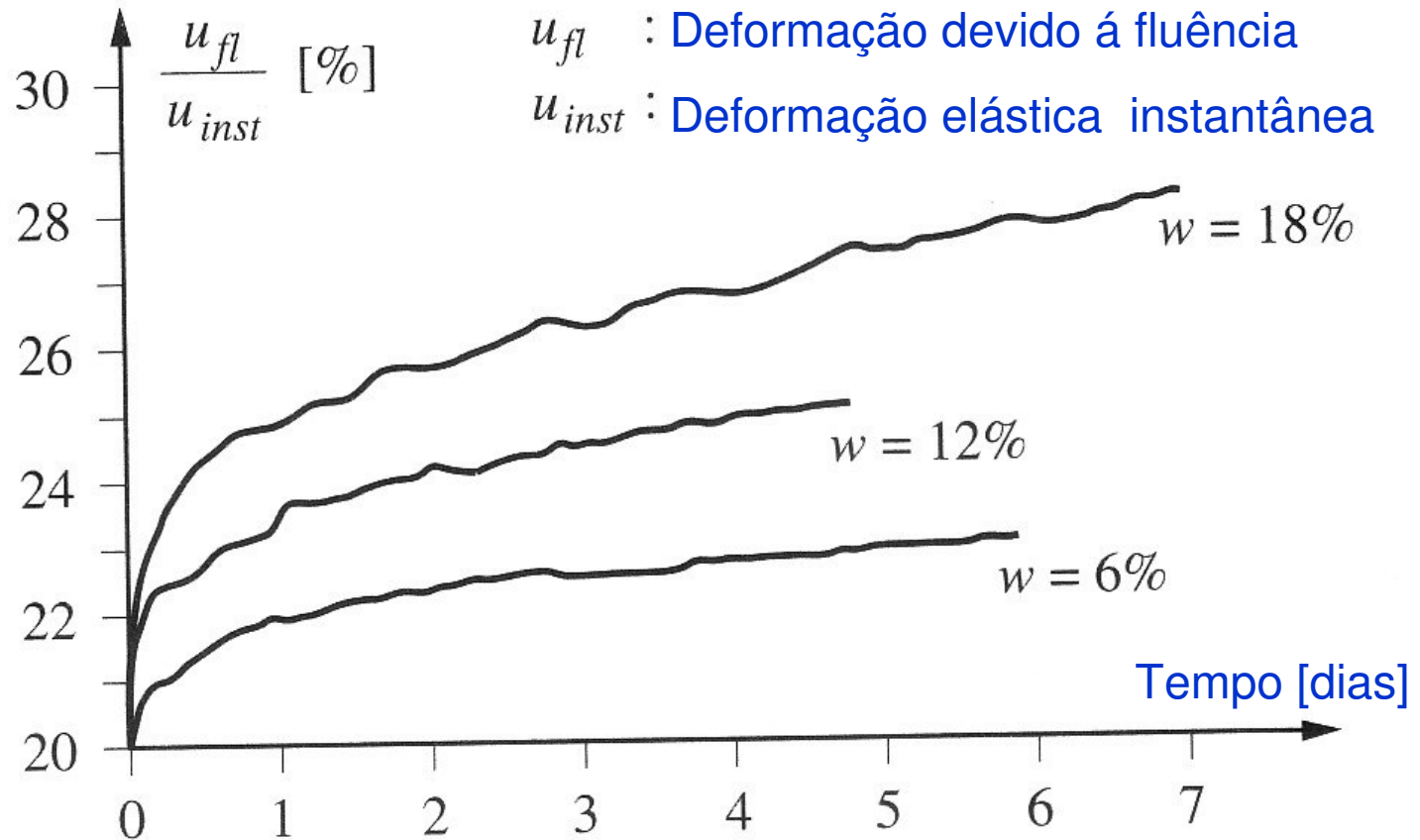




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Evolução da fluência em flexão para 3 níveis de teor de água

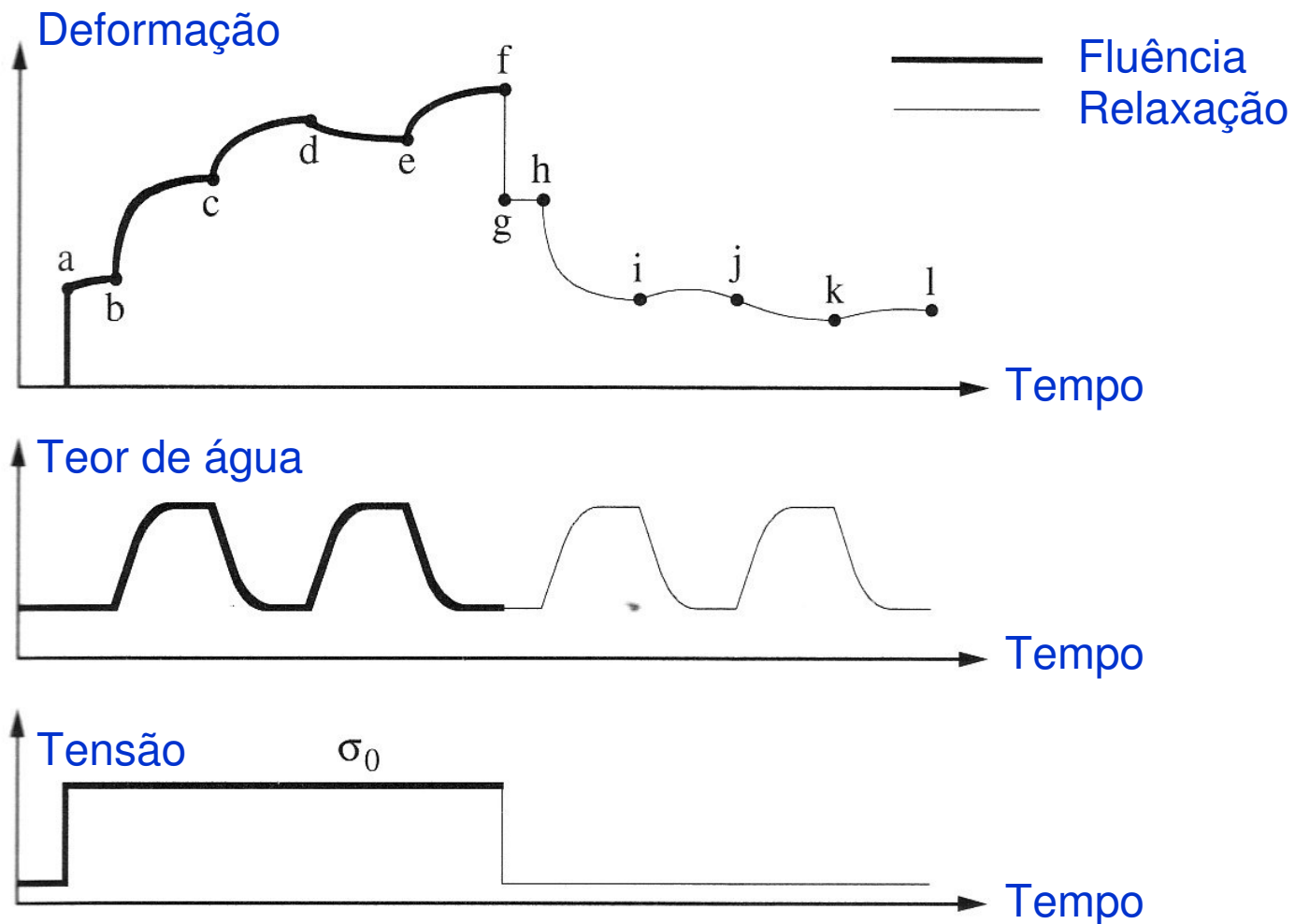




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Evolução de deformação por fluência dum elemento sujeito a ciclos de variação de teor de água

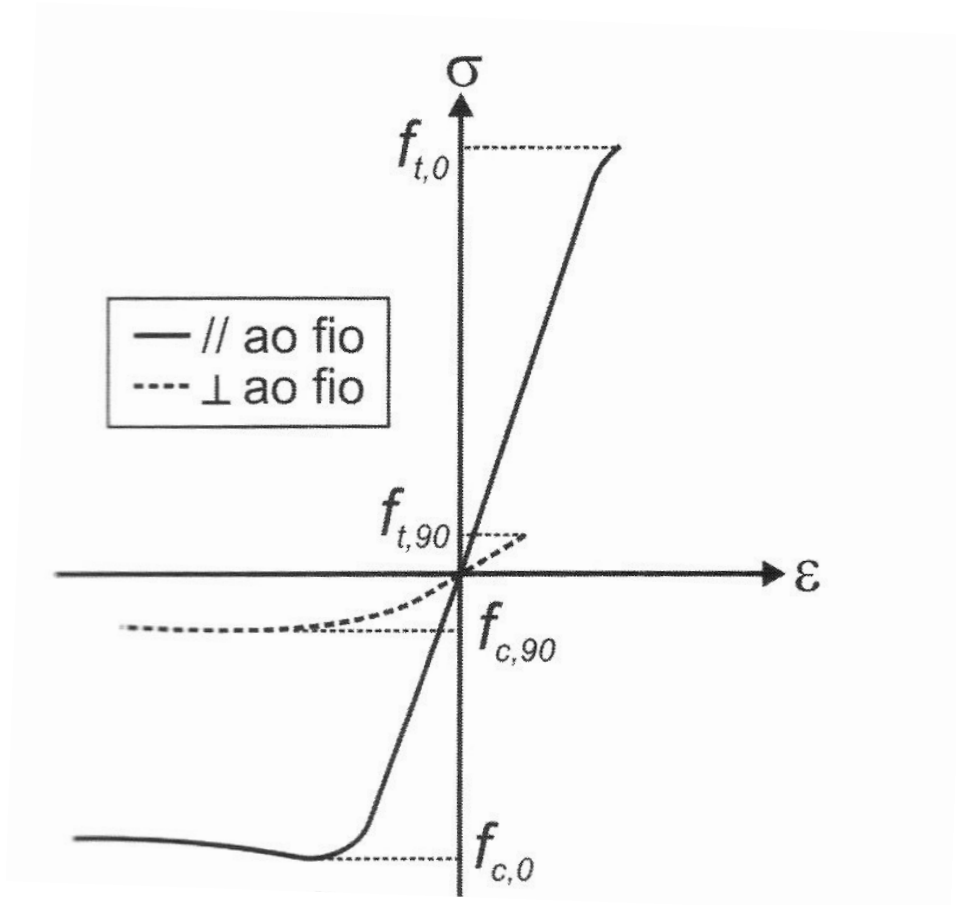




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Curva de tensão-extensão (exemplo)

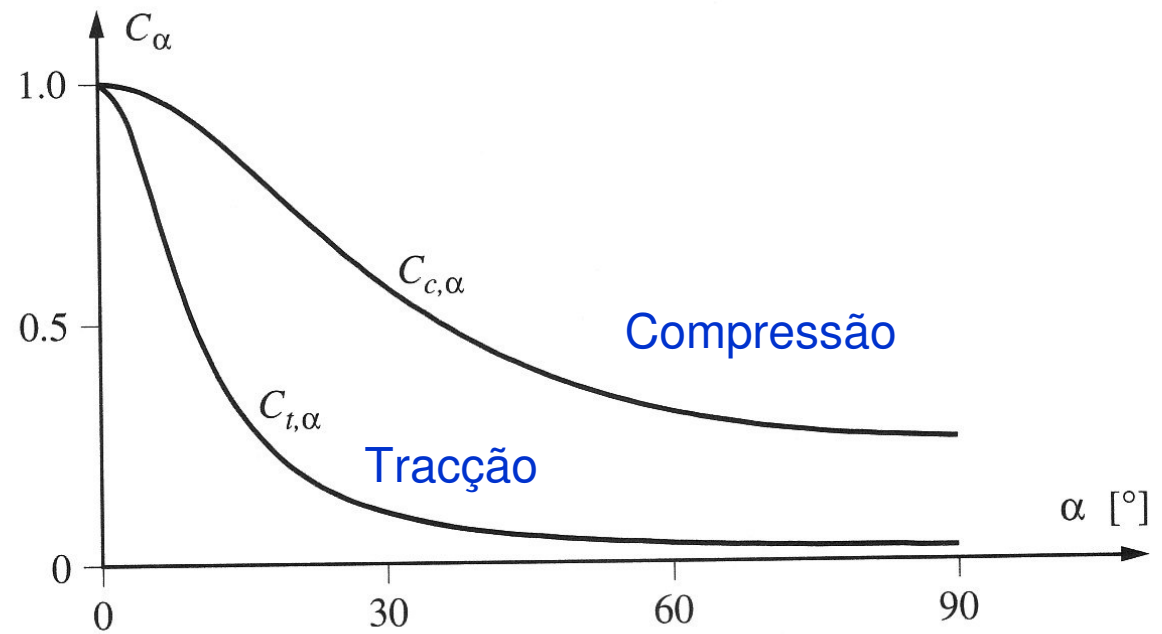
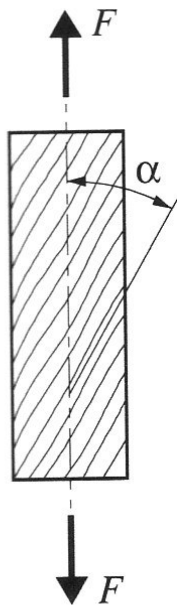




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Efeito do desvio do fio





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Classes de Duração das Acções

Load-duration Classes

Classe <i>Class</i>	Descrição <i>Description</i>	Exemplos <i>Examples</i>
Permanente <i>Permanent</i>	Mais de 10 anos <i>More than 10 years</i>	Peso-próprio <i>Self-weight</i>
Longa duração <i>Long-term</i>	6 meses – 10 anos <i>6 months – 10 years</i>	Sobrecargas de carácter permanente <i>Storage</i>
Média duração <i>Medium-term</i>	1 semana – 6 meses <i>1 week – 6 months</i>	Sobrecargas correntes <i>Imposed floor load</i>
Curta duração <i>Short-term</i>	Menos de 1 semana <i>Less than 1 week</i>	Neve, vento <i>Snow, wind</i>
Instantânea <i>Instantaneous</i>		Vento, sismo, acção de acidente <i>Accidental load</i>



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Classes de Serviço

Service Classes

Classe <i>Class</i>	Descrição <i>Description</i>	Observações <i>Observations</i>	
1	Teor de água dos elementos correspondente a humidade relativa do ar que excede 65% (à temperatura de 20°C) apenas nalgumas semanas do ano	O teor médio de humidade não deve exceder 12%	Ambiente protegido <i>Protected environment</i>
2	Teor de água dos elementos correspondente a humidade relativa do ar que excede 85% (à temperatura de 20°C) apenas nalgumas semanas do ano	O teor médio de humidade não deve exceder 20%	Ambiente moderadamente exposto <i>Moderately Protected environment</i>
3	Teor de água dos elementos correspondente a humidade relativa superiores à da Classe 2	O teor médio de humidade é superior a 20%	Ambiente exposto <i>Exposed</i>



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Valores do parâmetro k_{mod}

Values of k_{mod}

Material <i>Material</i>	Classe de Serviço <i>Service Class</i>	Classe de duração das acções <i>Load-duration class</i>				
		Perman.	Longa duração	Média duração	Curta duração	Instant.
Madeira Maciça <i>Solid Timber</i>	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Madeira laminada e colada <i>Glued Laminated Timber</i>	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Valores do parâmetro k_{def}

Values of k_{def}

Material <i>Material</i>	Classe de Serviço <i>Service Class</i>	
Madeira Maciça <i>Solid Timber</i>	1	0,60
	2	0,80
	3	2,00
Madeira laminada e colada <i>Glued Laminated Timber</i>	1	0,60
	2	0,80
	3	2,00



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Factor parcial de segurança para as propriedades dos materiais e resistências (γ_M) (Valores recomendados)

Combinações fundamentais	
Madeira maciça	1,3
Madeira laminada colada	1,25
Combinações acidentais	
Qualquer material	1,0



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Valores de cálculo – Madeira Nova (Resinosas - Softwood)

		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
<i>Propriedades resistentes em N/mm² (MPa)</i>													
Flexão	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tracção	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tracção	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compressão	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Corte	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
<i>Propriedades de rigidez em KN/mm² (GPa)</i>													
Módulo de Elasticidade	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
Módulo de Elasticidade (5º percentil)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
Módulo E	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Módulo de distorção	G	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
<i>Massa volúmica em Kg/m³</i>													
Característica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Média	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Fonte: EN338 (2003)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Valores de cálculo – Madeira Nova (Folhosas - Hardwood)

		D30	D35	D40	D50	D60	D70
<i>Propriedades resistentes em N/mm^2 (MPa)</i>							
Flexão	$f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
Tracção	$f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
Tracção	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
Compressão	$f_{c,90,k}$	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Corte	$f_{v,k}$	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
<i>Propriedades de rigidez em KN/mm^2 (GPa)</i>							
Módulo de Elasticidade	$E_{0,mean}$	10	10	11	14	17	20
Módulo de Elasticidade (5º percentil)	$E_{0,05}$	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Módulo E	$E_{90, mean}$	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Módulo de distorção	G	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
<i>Massa volúmica em Kg/m^3</i>							
Característica	ρ_k	530	560	590	650	700	900
Média	ρ_{mean}	640	670	700	780	840	1080

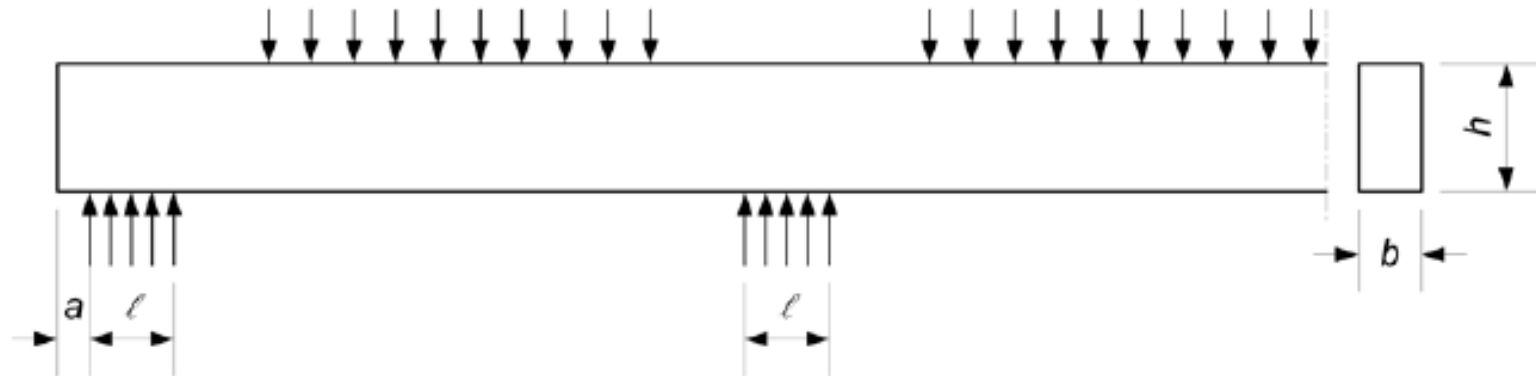
Fonte: EN338 (2003)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Compressão perpendicular às fibras – Viga sobre apoios



- When the distance from the edge of a support to the end of a beam $a, \leq h/3$:

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{\ell}{250}\right) \left(1 + \frac{h}{12\ell}\right)$$

- At internal supports:

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{\ell}{250}\right) \left(1 + \frac{h}{6\ell}\right)$$

where:

ℓ is the contact length in mm;

h is member depth in mm.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Instabilidade Lateral de Vigas

Carregamento	Forma do diagrama	m
		1,00
		0,57
		0,43
		0,74
		0,88
		0,96
		0,69
		0,59
		0,39

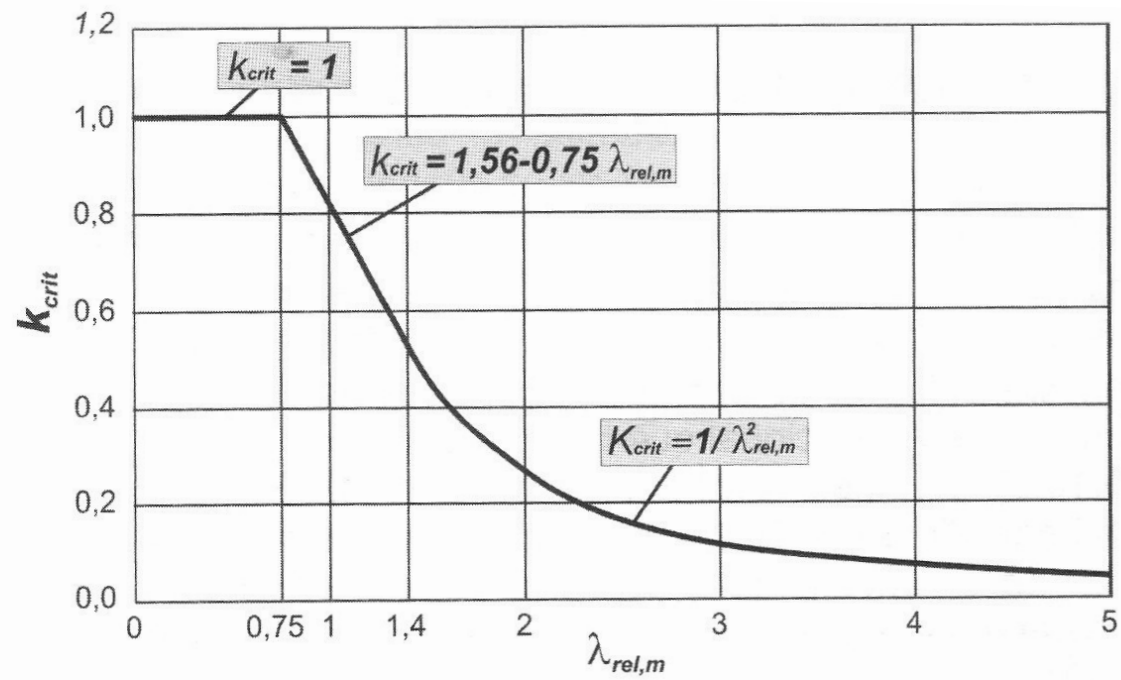
Factor de correcção



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Estabilidade





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

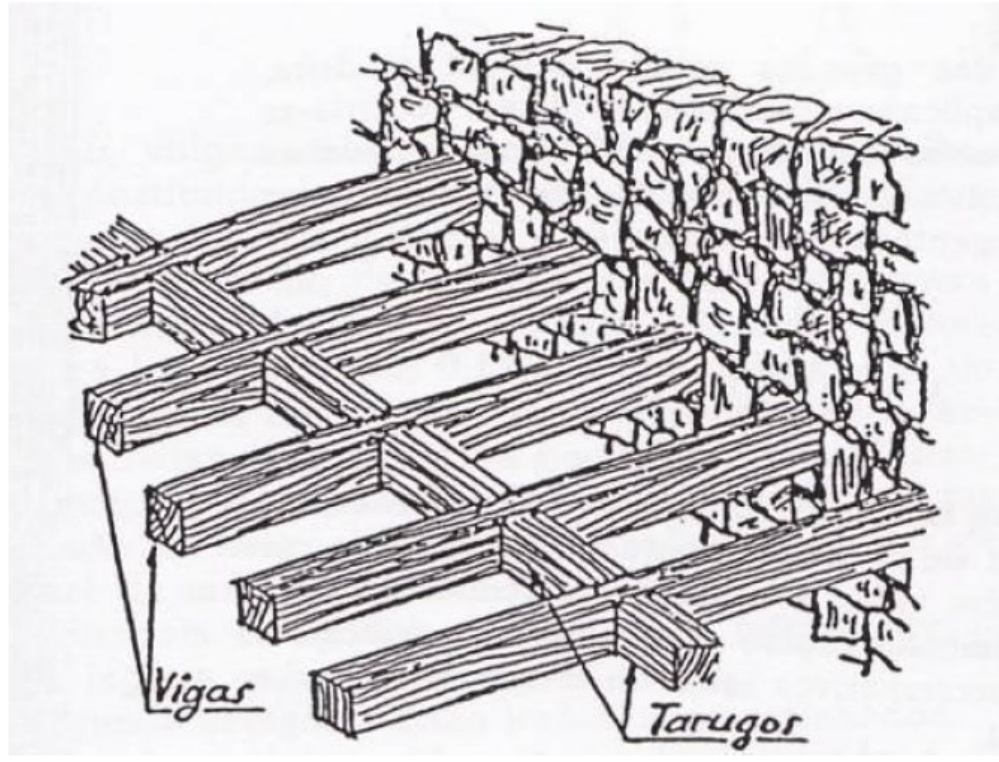
Pavimentos

Esquema Estructural – Exemplos



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

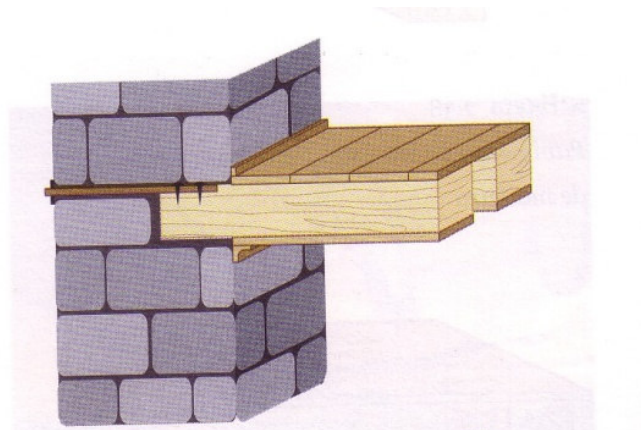
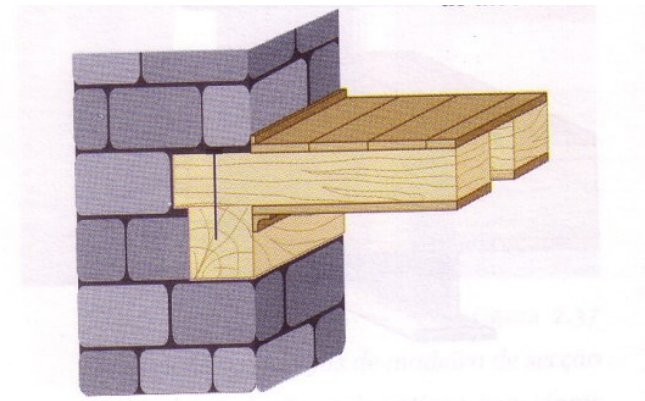
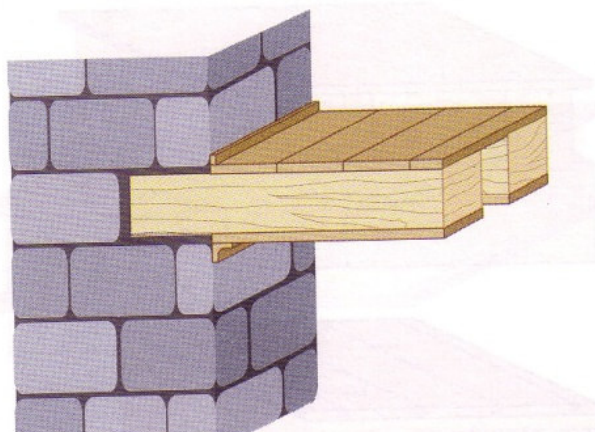


Esquema Estructural – Exemplos



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil



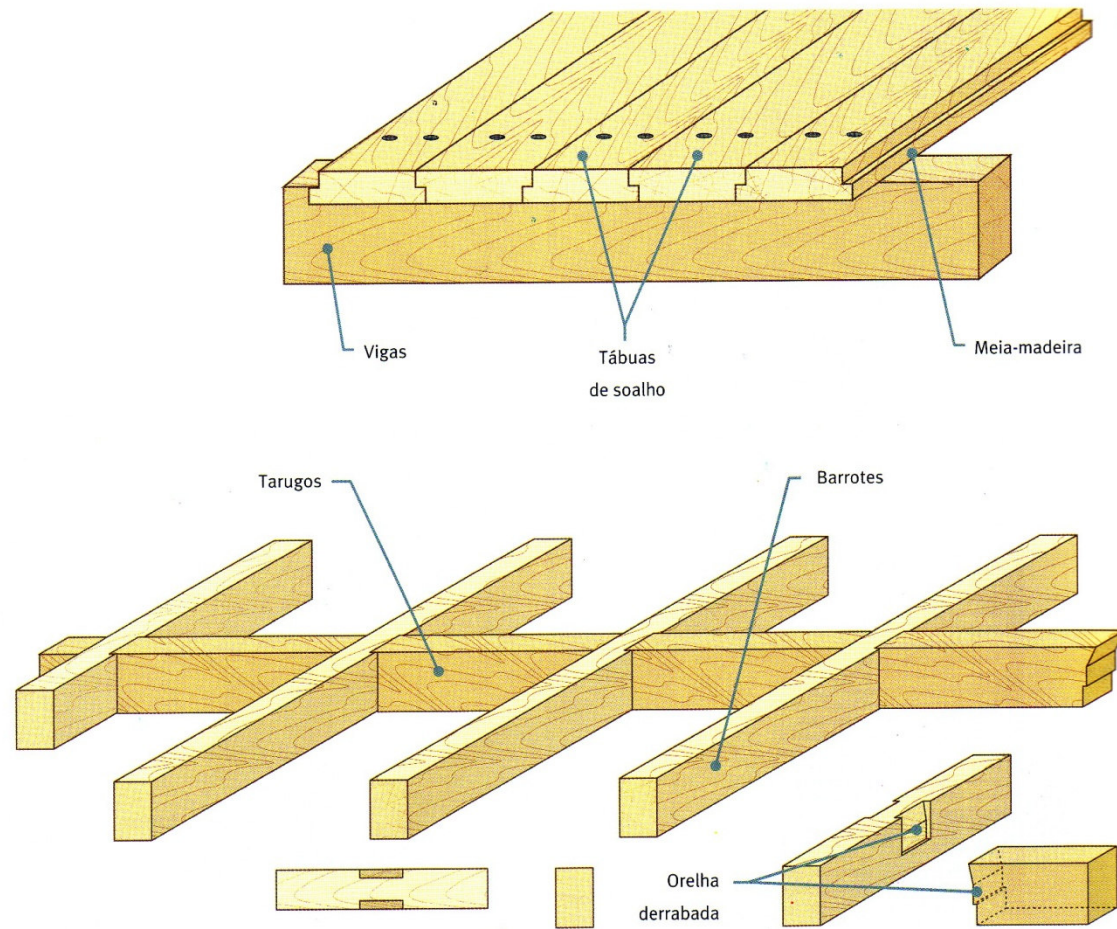
Adaptado de Appleton, J.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Esquema Estrutural – Exemplos



Adaptado de Appleton, J.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Esquema Estrutural – Exemplos

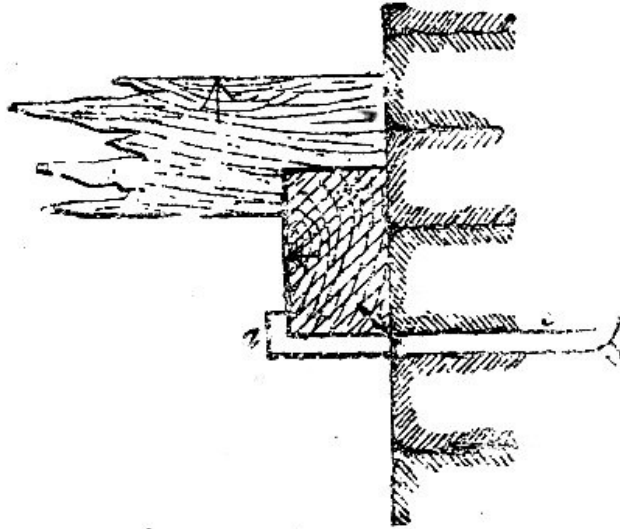


Fig. 174 — Frechal sobre consola de ferro

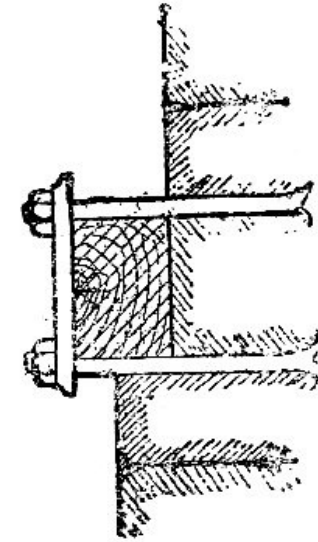


Fig. 175 — Frechal ferrolhado sobre dente da parede

Adaptado de Segurado, J.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Esquema Estrutural – Exemplos

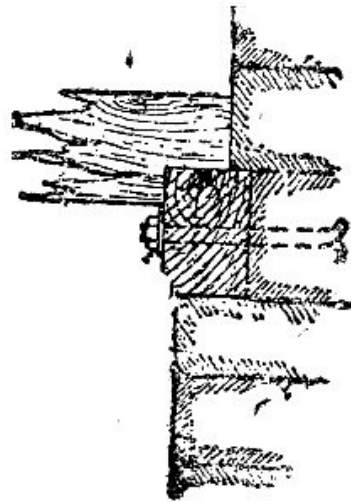


Fig. 176 — Frechal sobre dente da parede

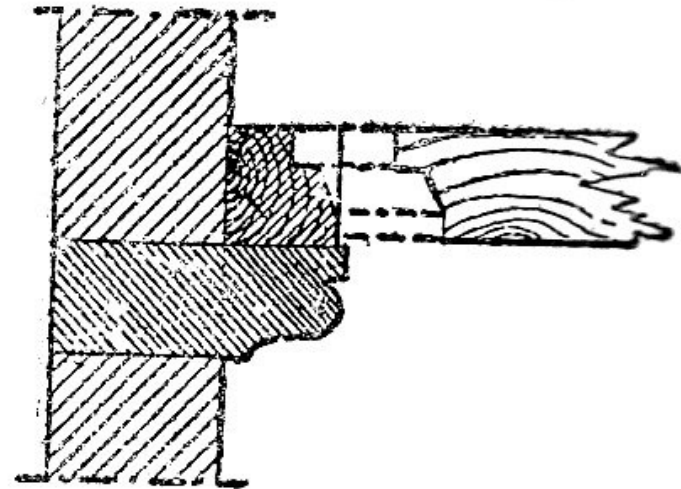


Fig. 177 — Cachorro para apoio de frechal

Esquema Estrutural – Exemplos



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

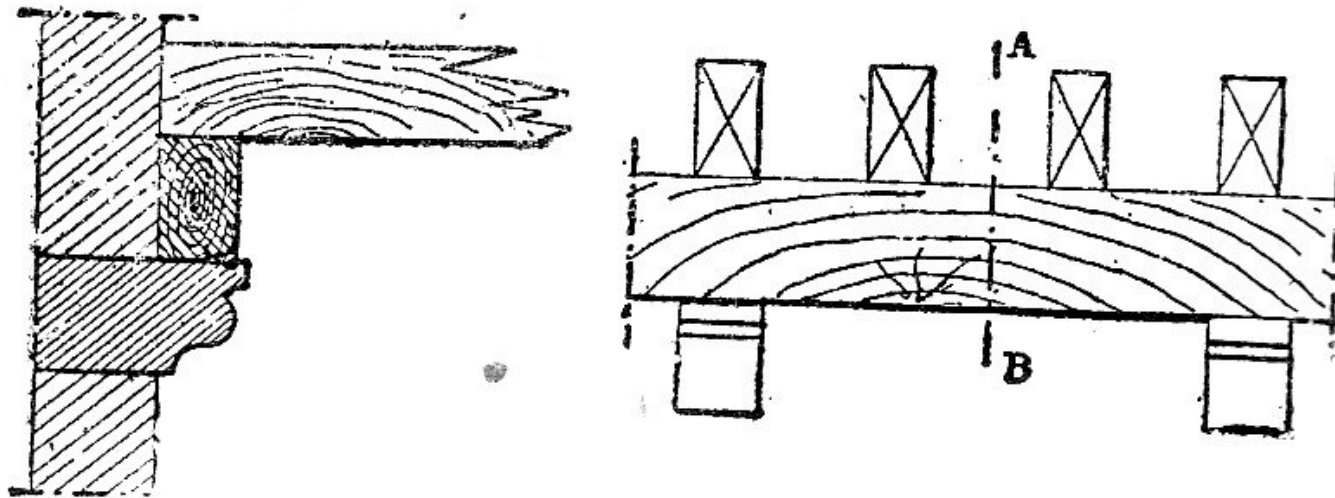


Fig. 178 — Cachorros para apoio de frechal

Adaptado de Segurado, J.

Esquema Estrutural – Exemplos



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

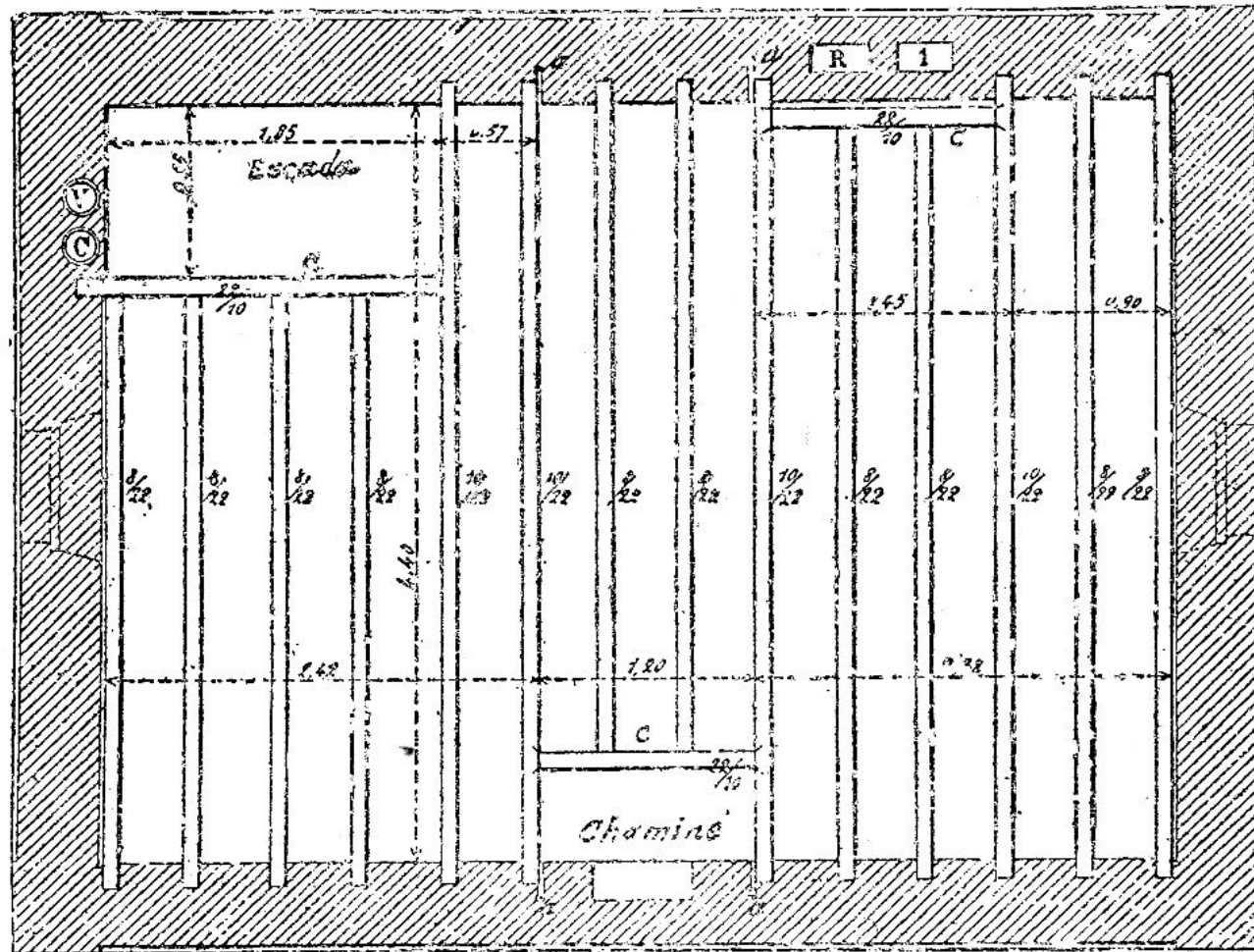


Fig. 179 — Vigamento de uma casa

Adaptado de Segurado, J.

Esquema Estrutural – Exemplos



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

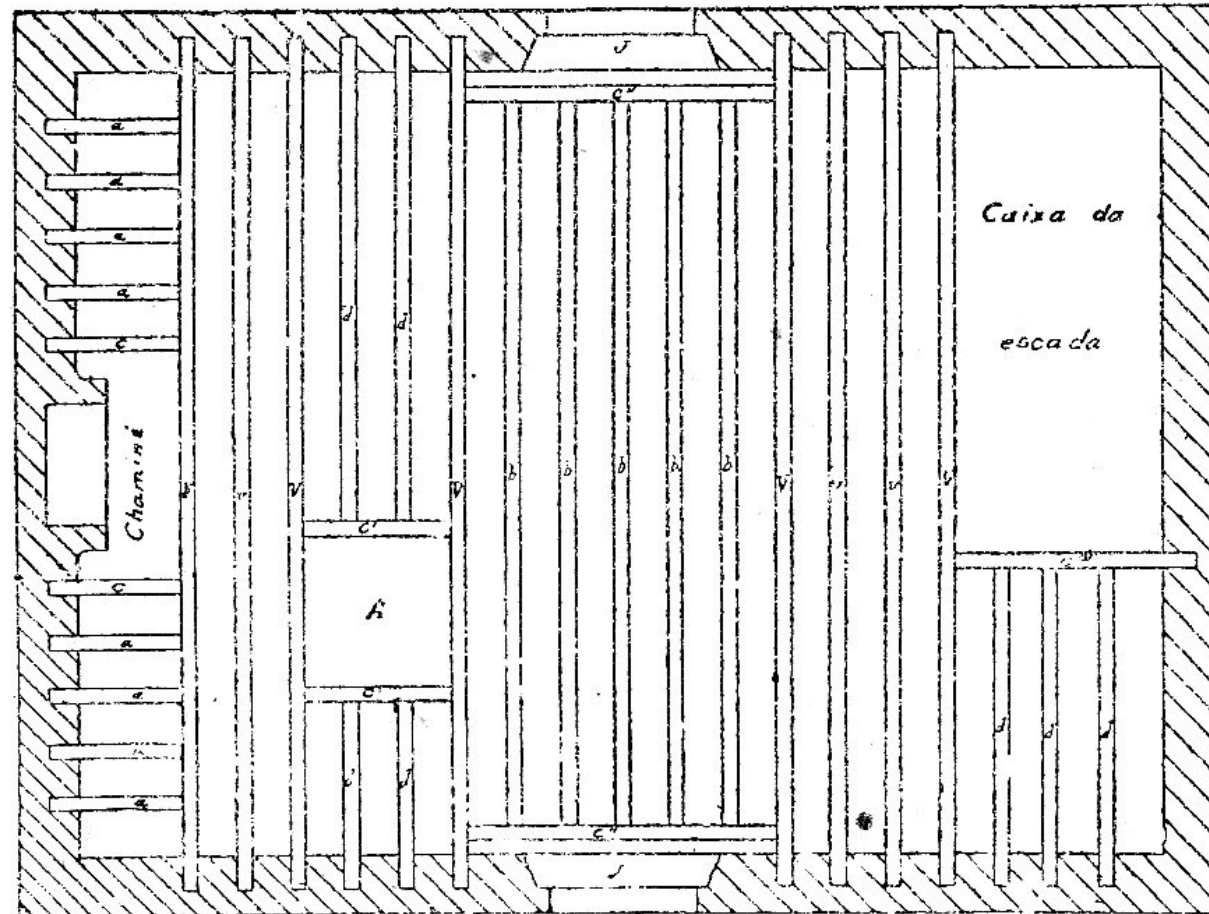


Fig. 184 — Vigamento com cadeias

Adaptado de Segurado, J.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Coberturas

Esquema Geral da Cobertura



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

1- ESTANTEIRA PRINCIPAL

ELEMENTOS DE SUPORTE DO COLCHÃO DA COBERTURA

ASA

1- PEÇA

2- LIAÇÃO

3- ESCORA

4- PENCHAL

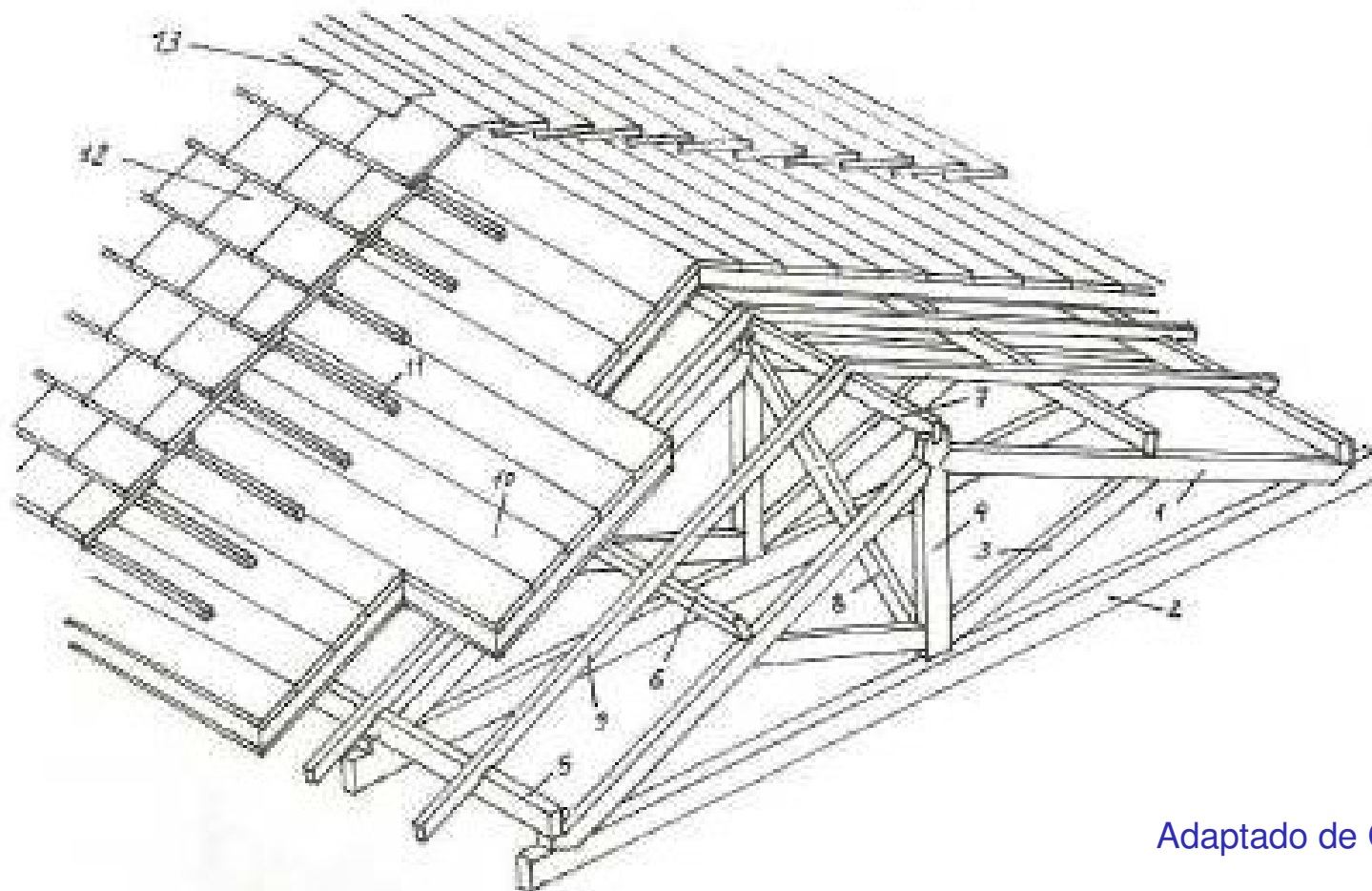
TRAVAMENTO

5- FRECHAL

6- MADRE

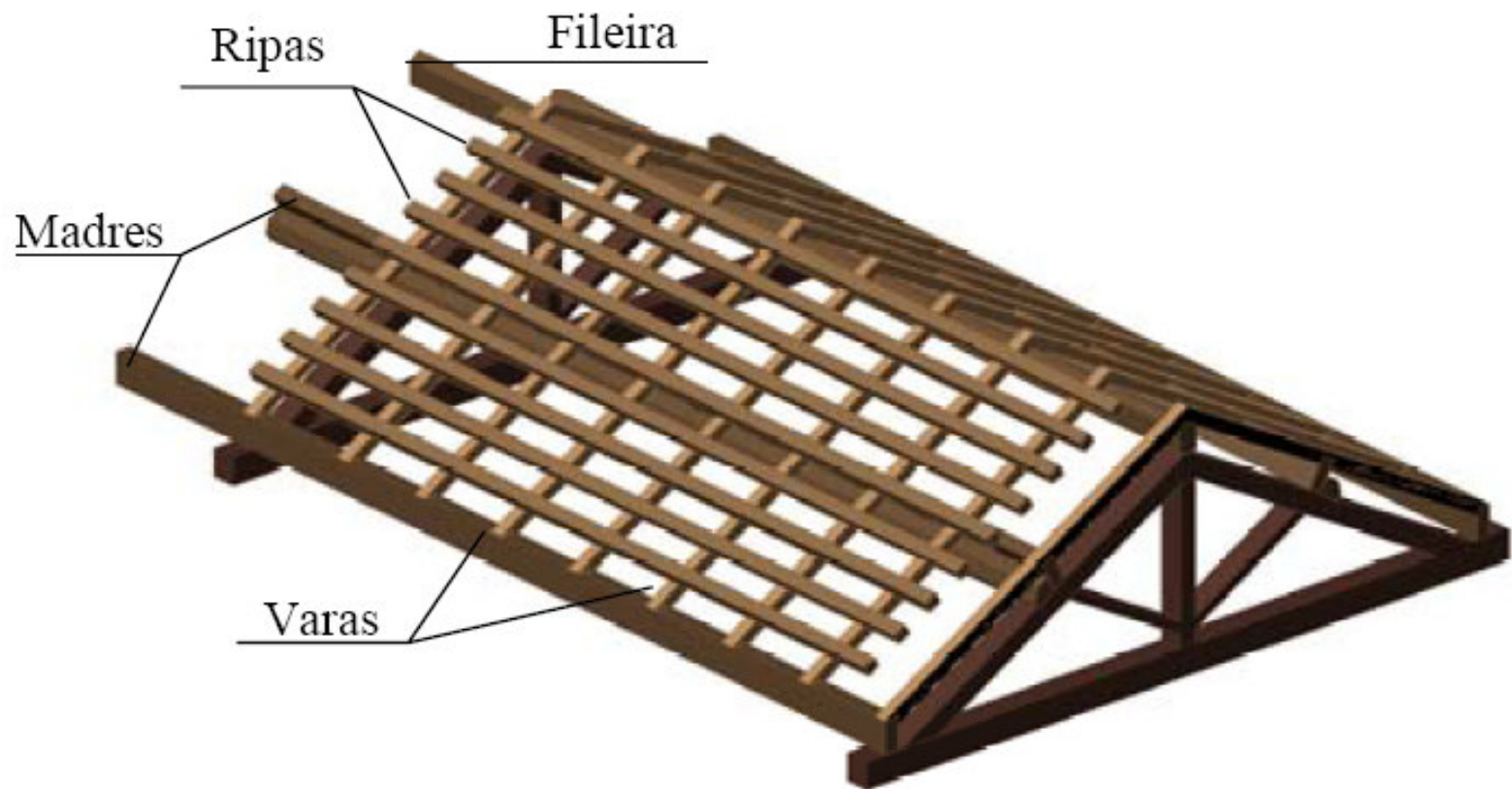
7- PREGA DO PAV DE FICHA

8- DIAGONAL



Adaptado de Costa, P.

Esquema Geral da Cobertura



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

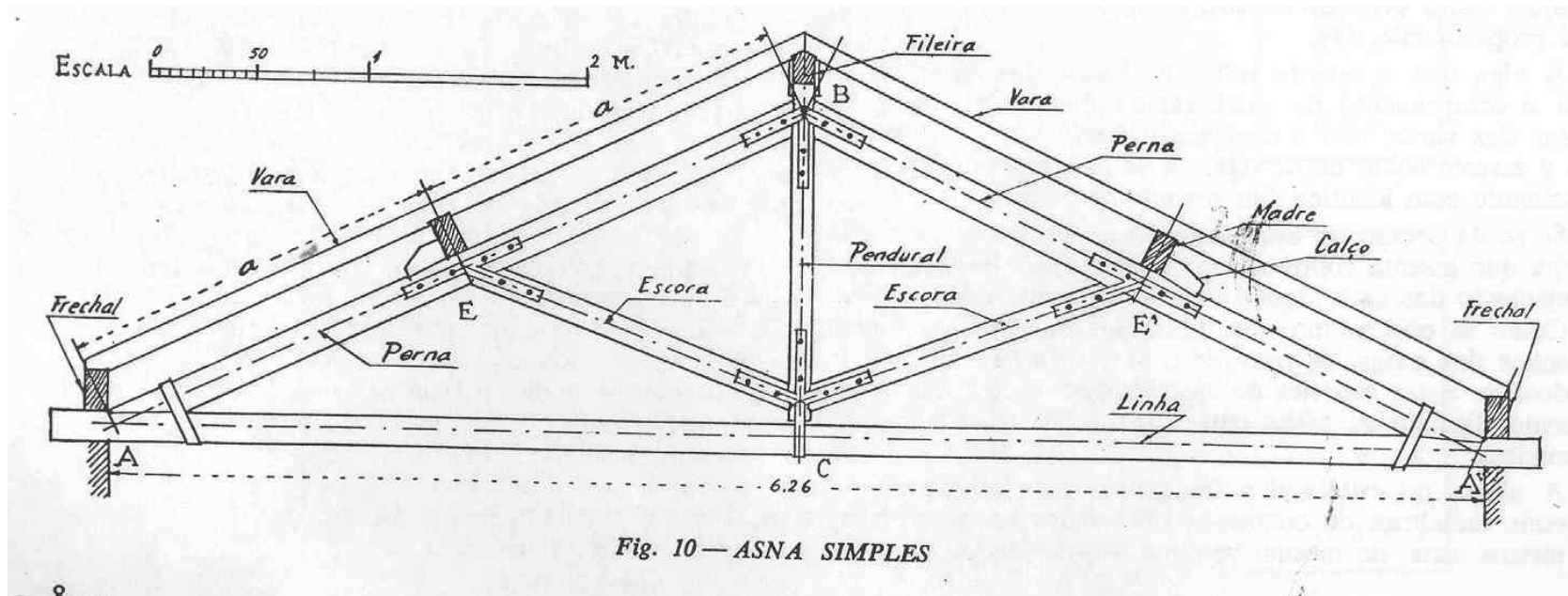
DECivil



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Asna Simples



Vãos até 6 a 8 metros

Adaptado de Costa, P.

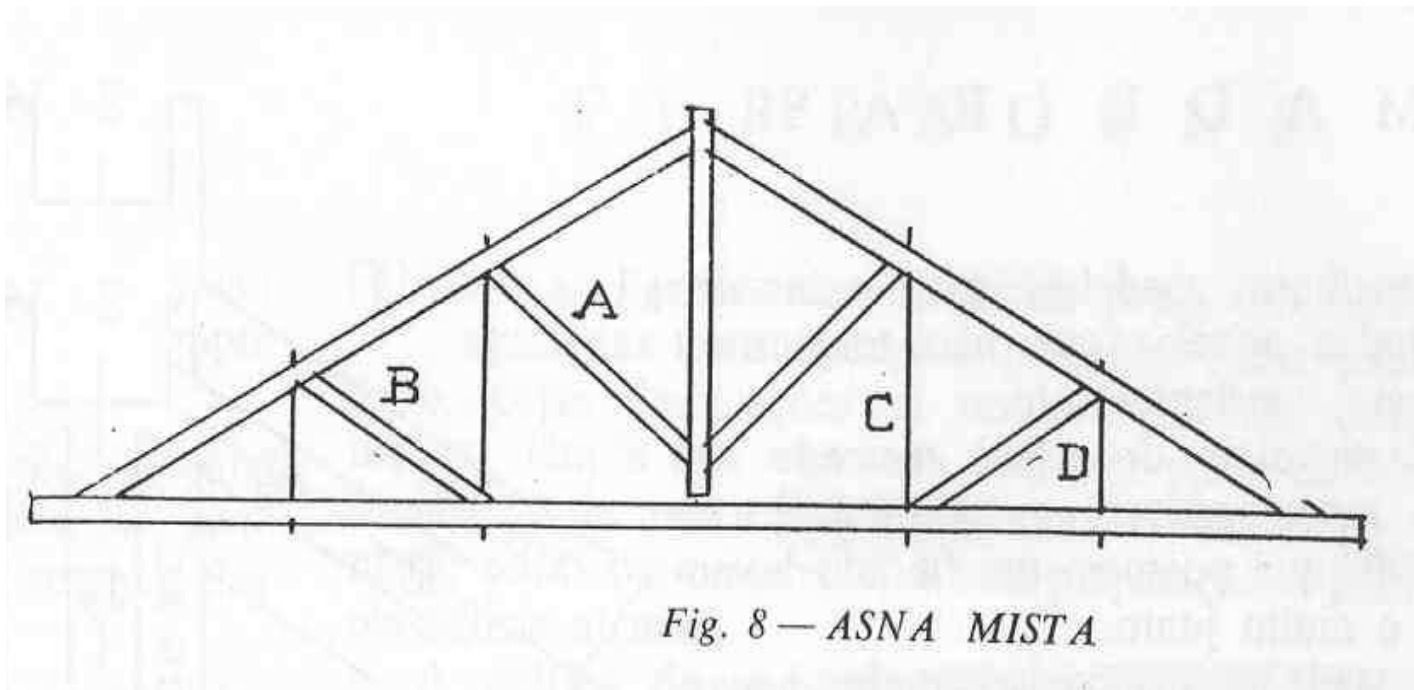
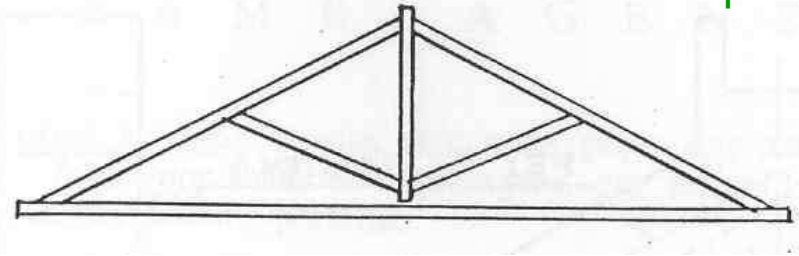


INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Asna Mista

Asna Simples



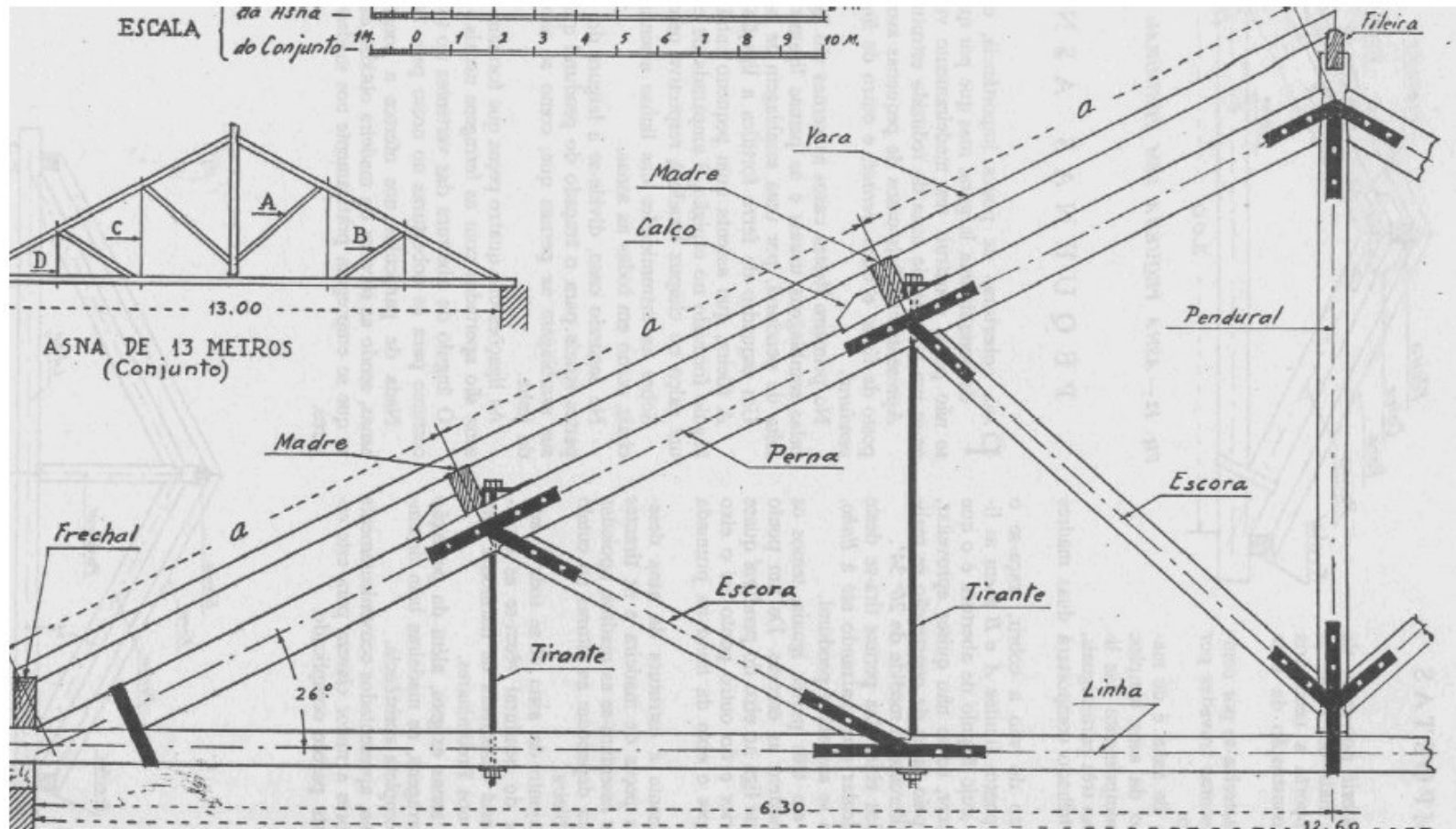
Permite vãos superiores a 9m

Asna Mista



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil



Pormenor de Asna Mista

Adaptado de Costa, P.

Asna de Pequena Dimensão



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

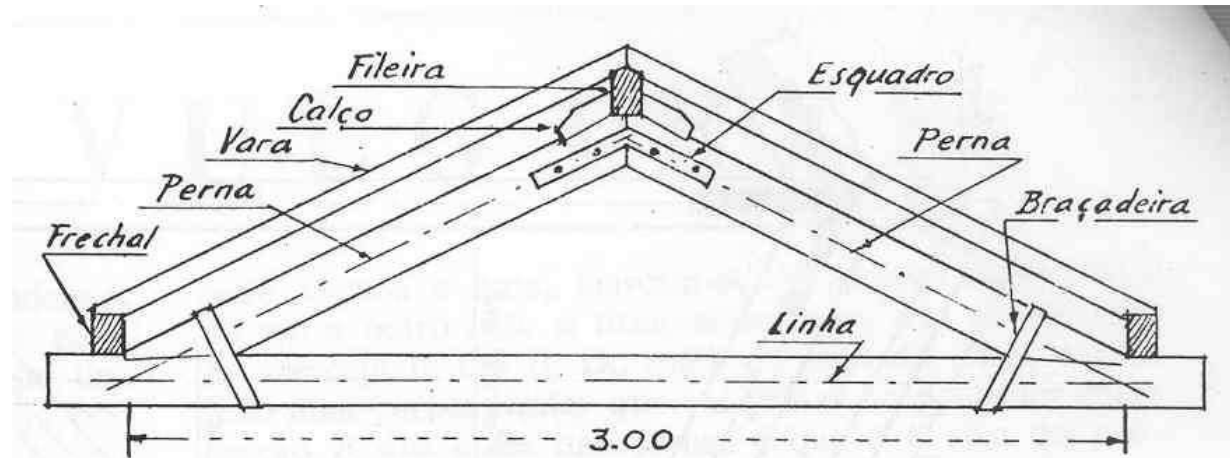


Fig. 12 — ASNA PEQUENA SEM PENDURAL

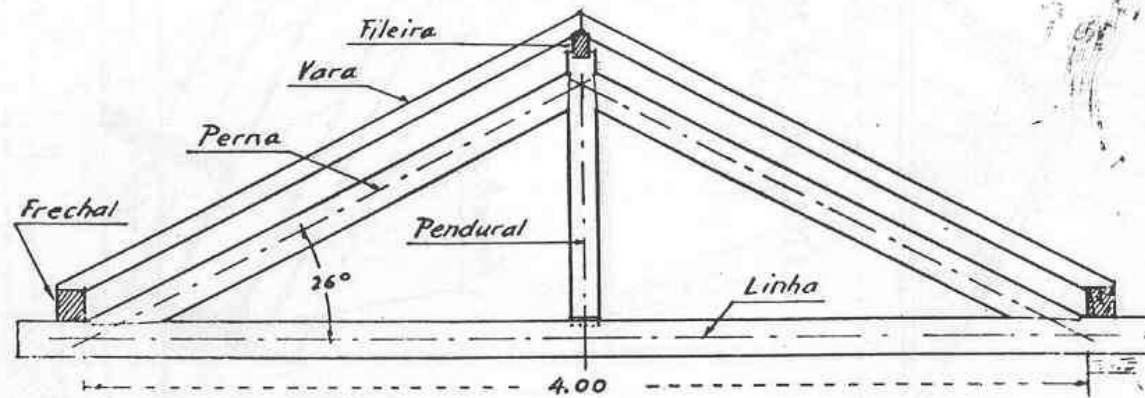


Fig. 13 — ASNA PEQUENA COM PENDURAL

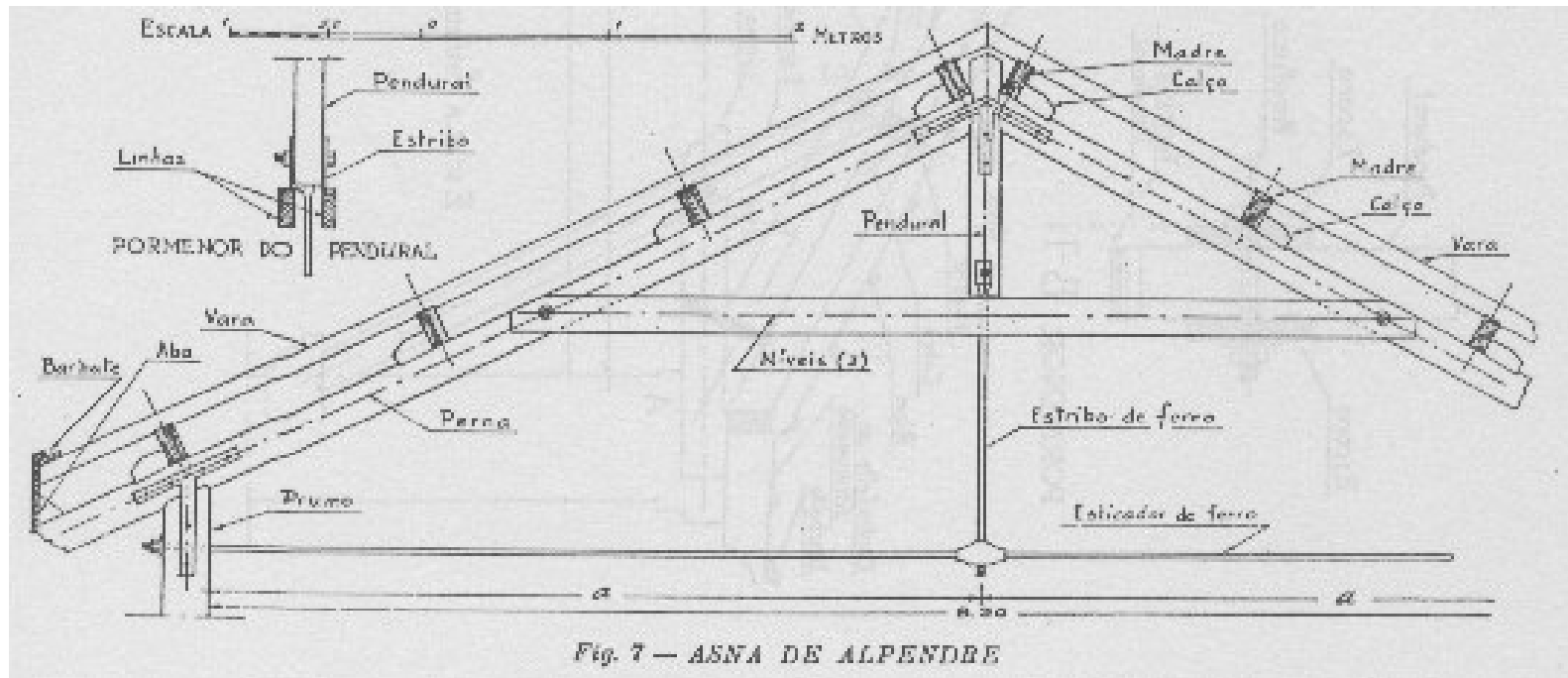
Adaptado de Costa, P.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Asna de Alpendre



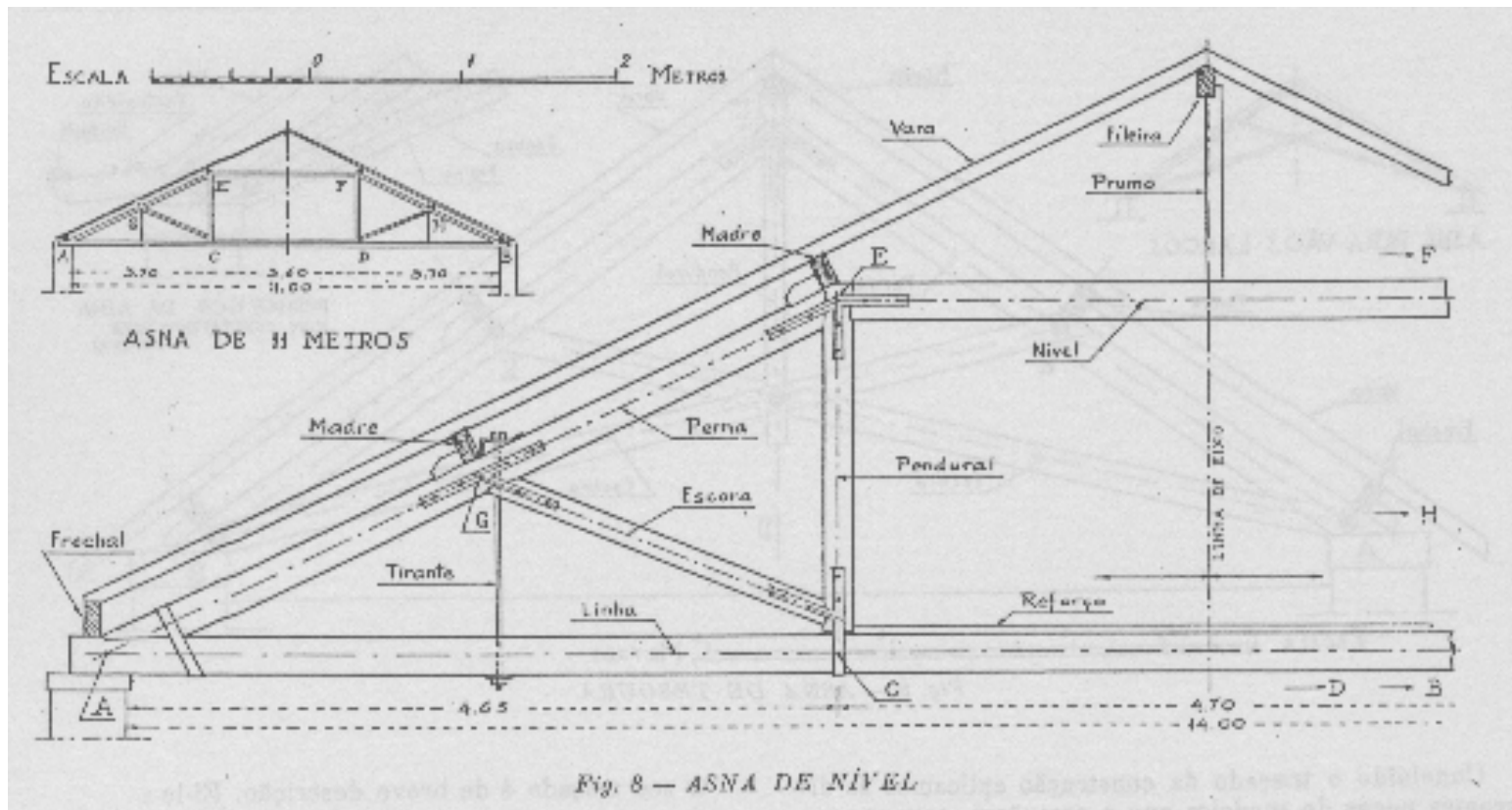
Adaptado de Costa, P.

Asna de Nível



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil



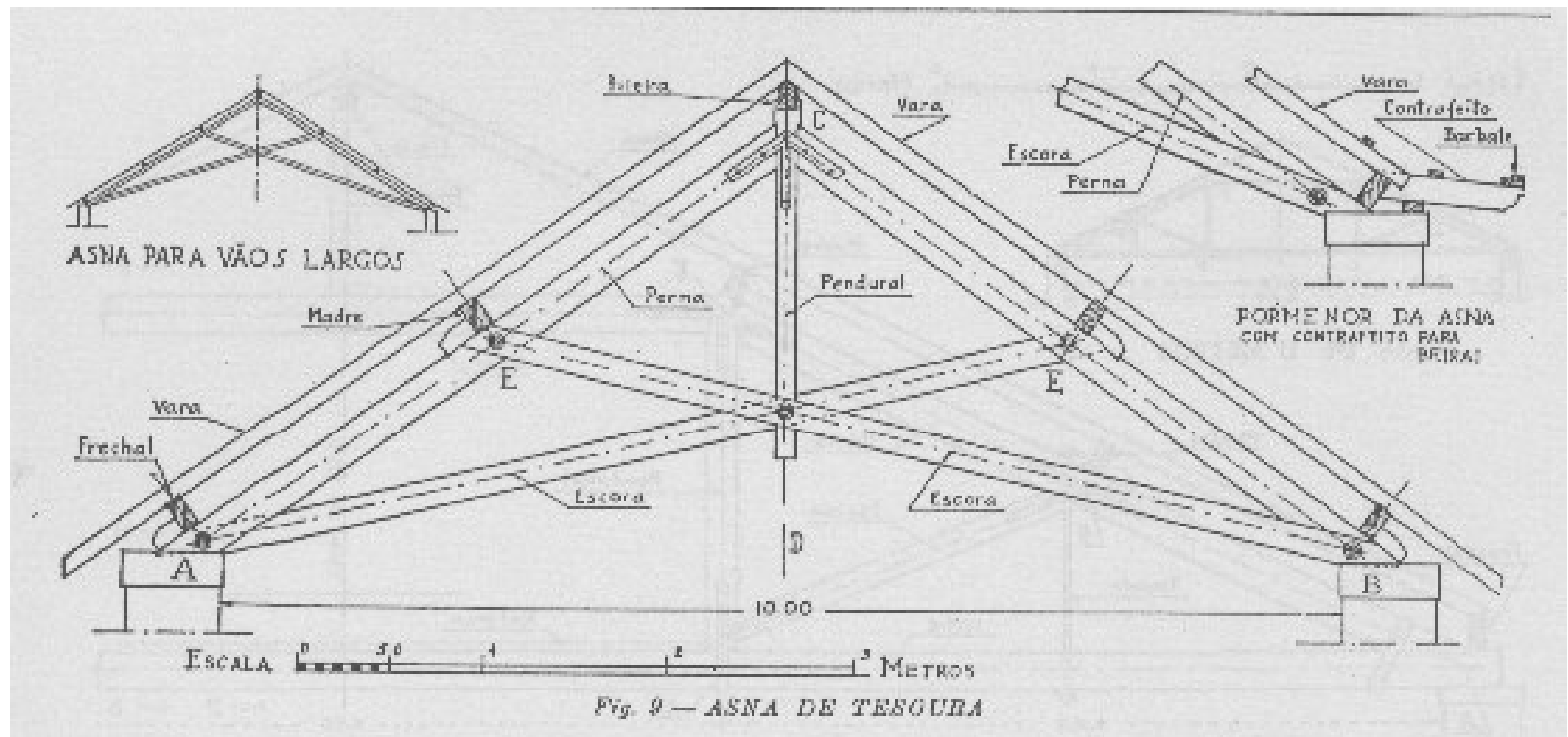
Adaptado de Costa, P.

Asna de Tesoura



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil



Adaptado de Costa, P.

Tabelas de Dimensionamento Expedito

Adaptado de Costa, P.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

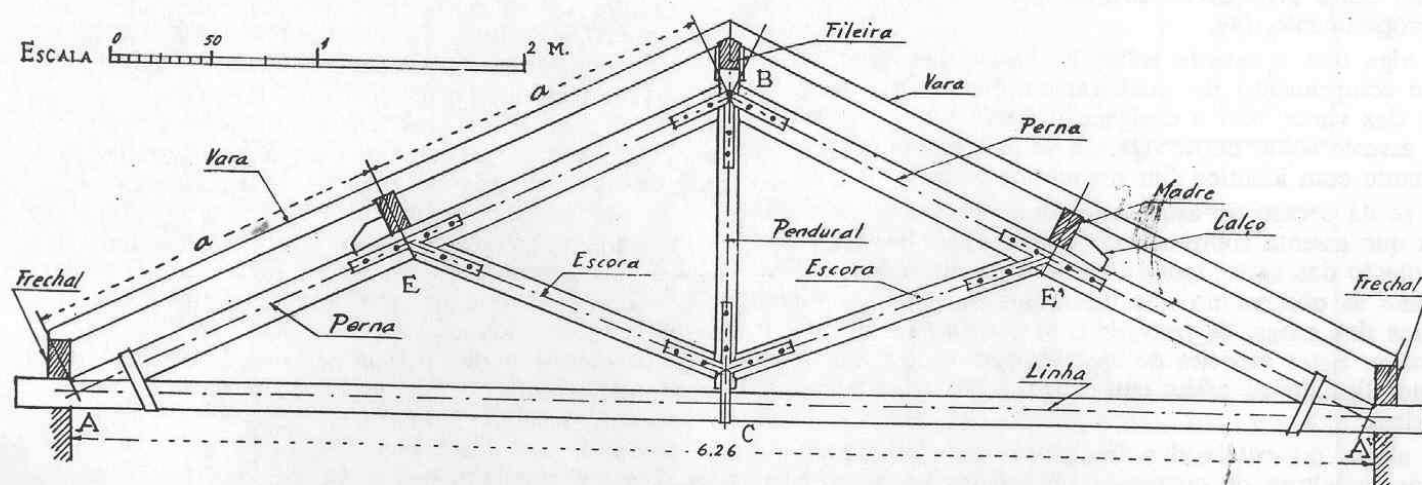


Fig. 10 — ASNA SIMPLES

Vãos	Linhas	Pernas	Escoras	Pendurais	Madres	Varas
5.00	12 × 10	12 × 10	10 × 10	10 × 10	16 × 10	6 × 4
6.00	14 × 10	16 × 10	12 × 10	10 × 10	18 × 10	6 × 4
7.00	14 × 12	16 × 12	12 × 12	12 × 12	18 × 10	8 × 6
8.00	16 × 12	20 × 12	12 × 12	12 × 12	20 × 10	8 × 6

Tabela II — ASNAS MISTAS

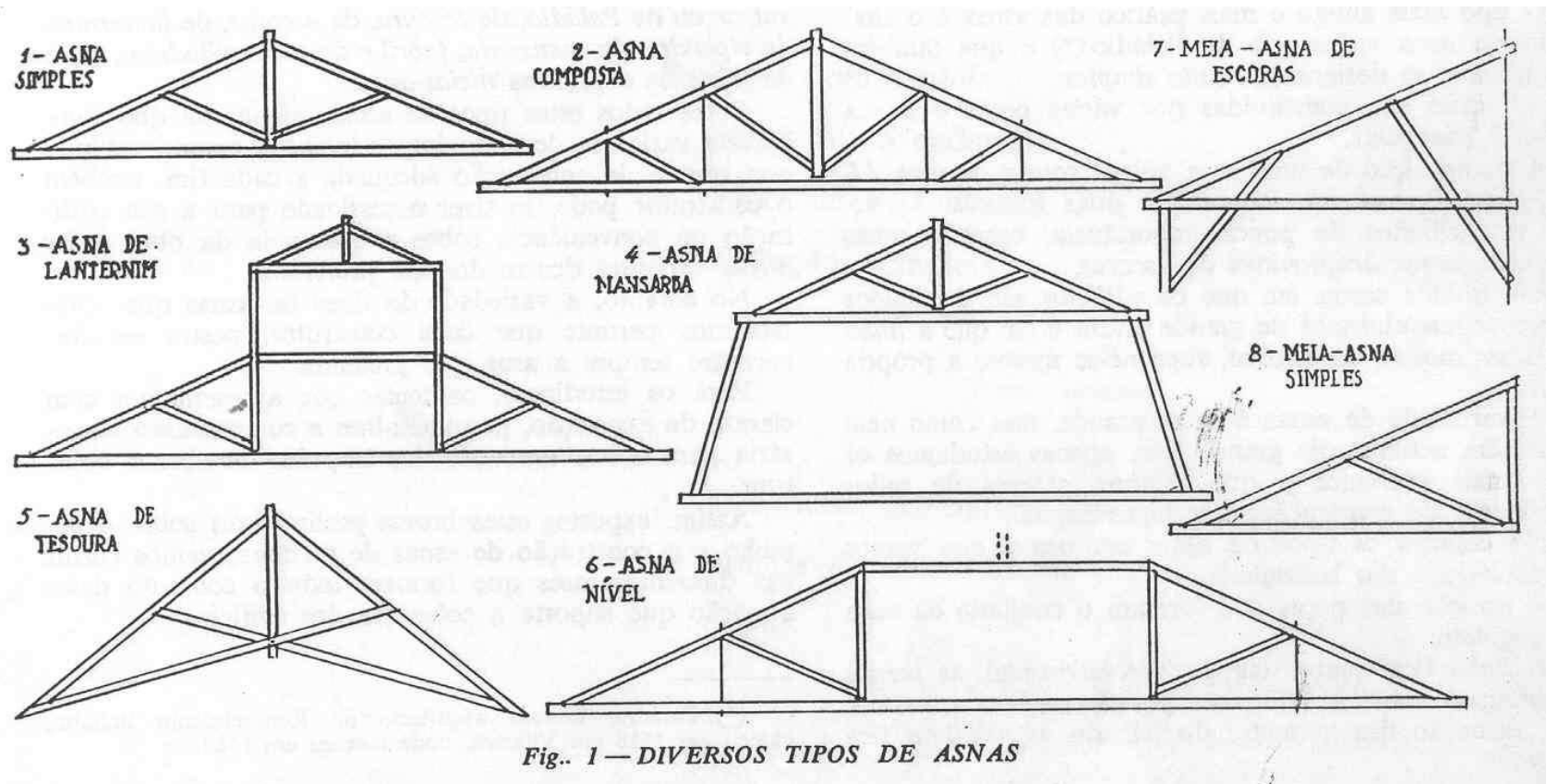
Vãos	Linhas	Pernas	Escoras		Pendurais	Tirantes		Madres	Varas
			A	B		C	D		
9.00	14 × 12	16 × 12	12 × 12	12 × 12	12 × 12	12 ∅	9 ∅	18 × 10	8 × 6
10.00	16 × 14	16 × 14	14 × 14	14 × 14	14 × 14	12 ∅	9 ∅	18 × 10	8 × 6
11.00	16 × 14	18 × 14	14 × 14	14 × 14	14 × 14	15 ∅	12 ∅	20 × 10	8 × 6
12.00	16 × 14	22 × 14	14 × 14	14 × 14	14 × 14	15 ∅	12 ∅	20 × 10	8 × 6



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Tipos de Asnas



Adaptado de Costa, P.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

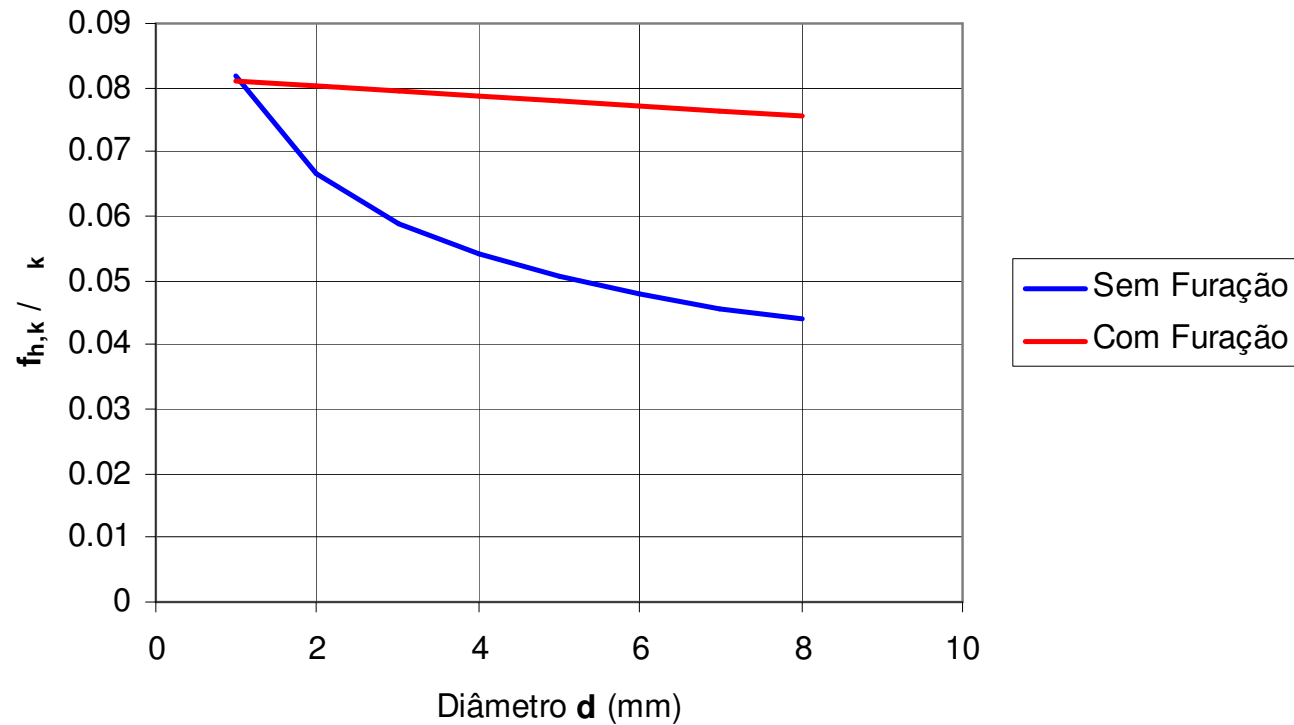
Ligações



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Tensão de contacto (por densidade da madeira)

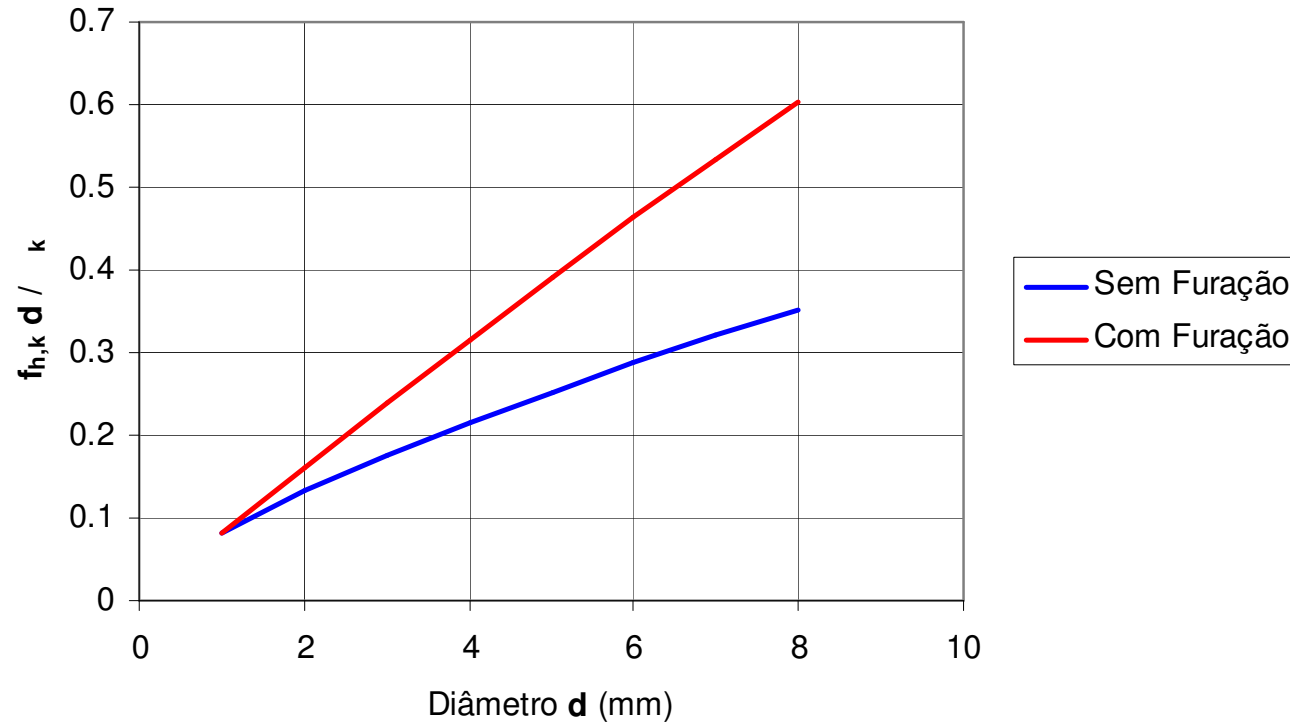




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Tensão x diâmetro (por densidade da madeira)

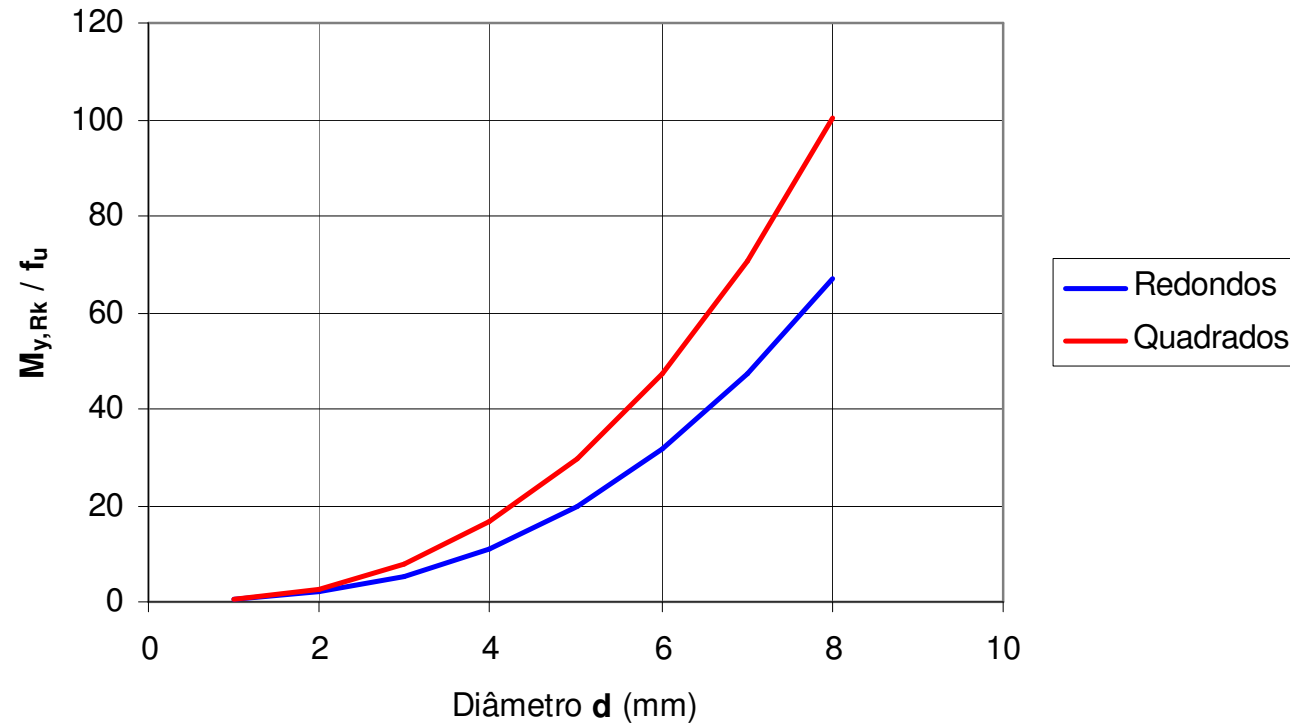




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Momento Plástico (por tensão última do prego)



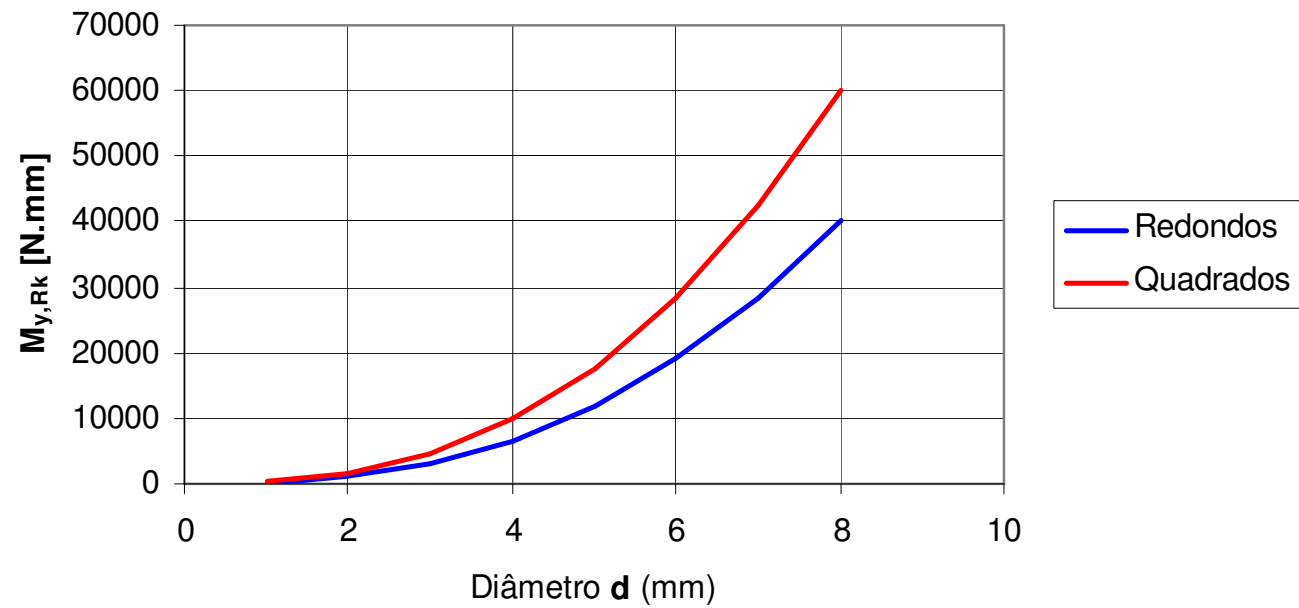


INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Momento Plástico (tensão última = 600 N/mm²)

$$f_u = 600 \text{ N/mm}^2$$

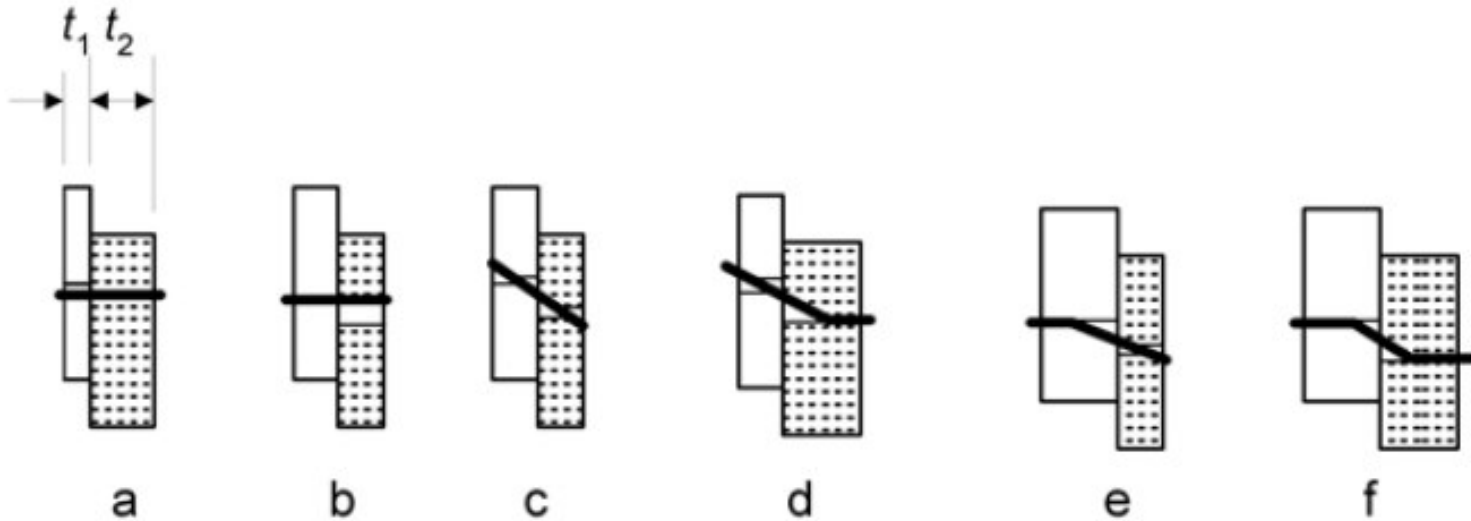




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Modelos de rotura em ligações pregadas

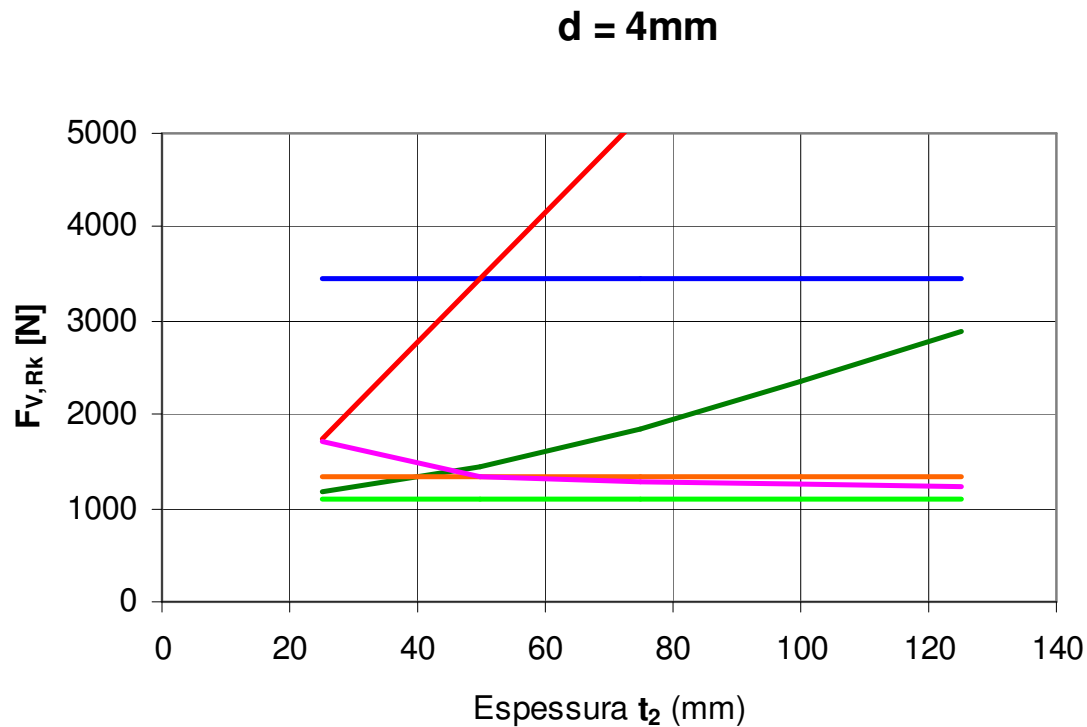




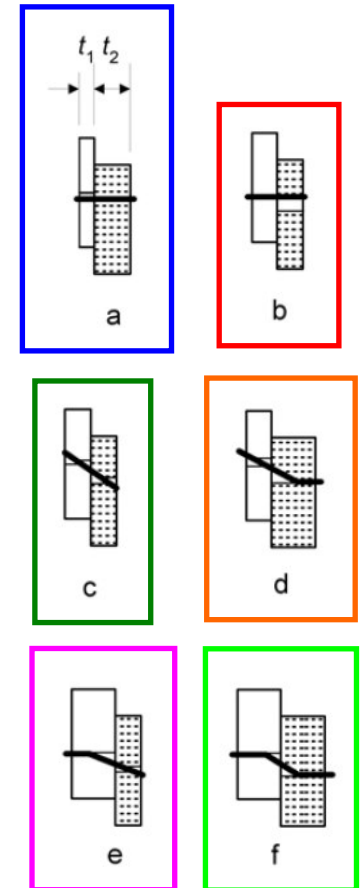
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Modelos de rotura em ligações pregadas



- 8.6 (a)
- 8.6 (b)
- 8.6 (c)
- 8.6 (d)
- 8.6 (e)
- 8.6 (f)



$$t_1 = 50\text{mm}$$

$$\rho_k = 320 \text{ kg/m}^3$$

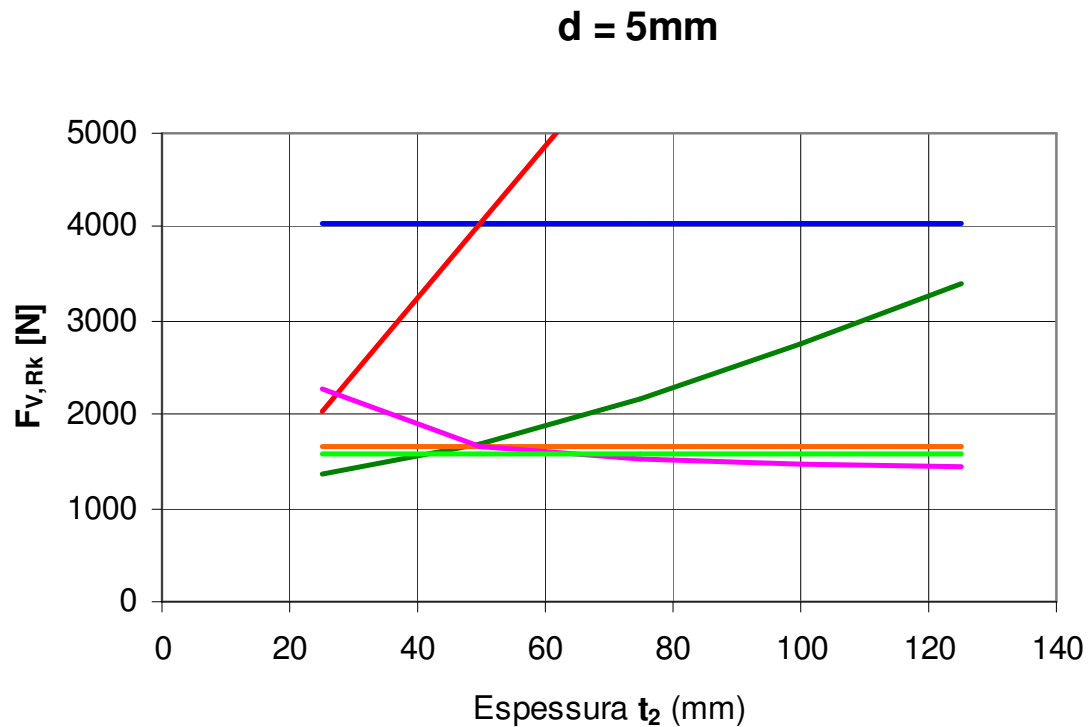
$$f_u = 600 \text{ n/mm}^2$$



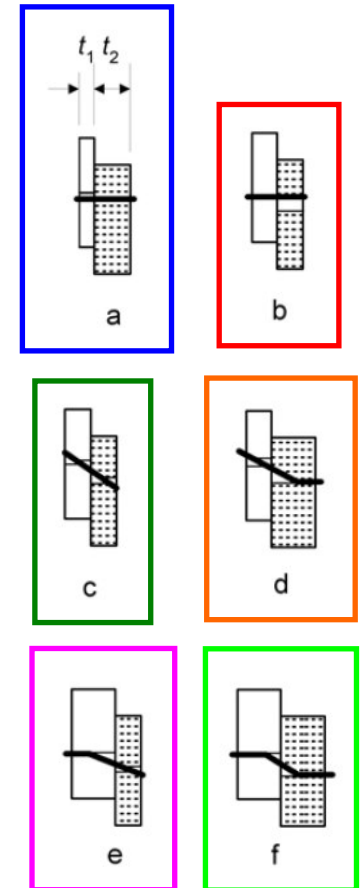
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Modelos de rotura em ligações pregadas



- 8.6 (a)
- 8.6 (b)
- 8.6 (c)
- 8.6 (d)
- 8.6 (e)
- 8.6 (f)



$$t_1 = 50\text{mm}$$

$$\rho_k = 320 \text{ kg/m}^3$$

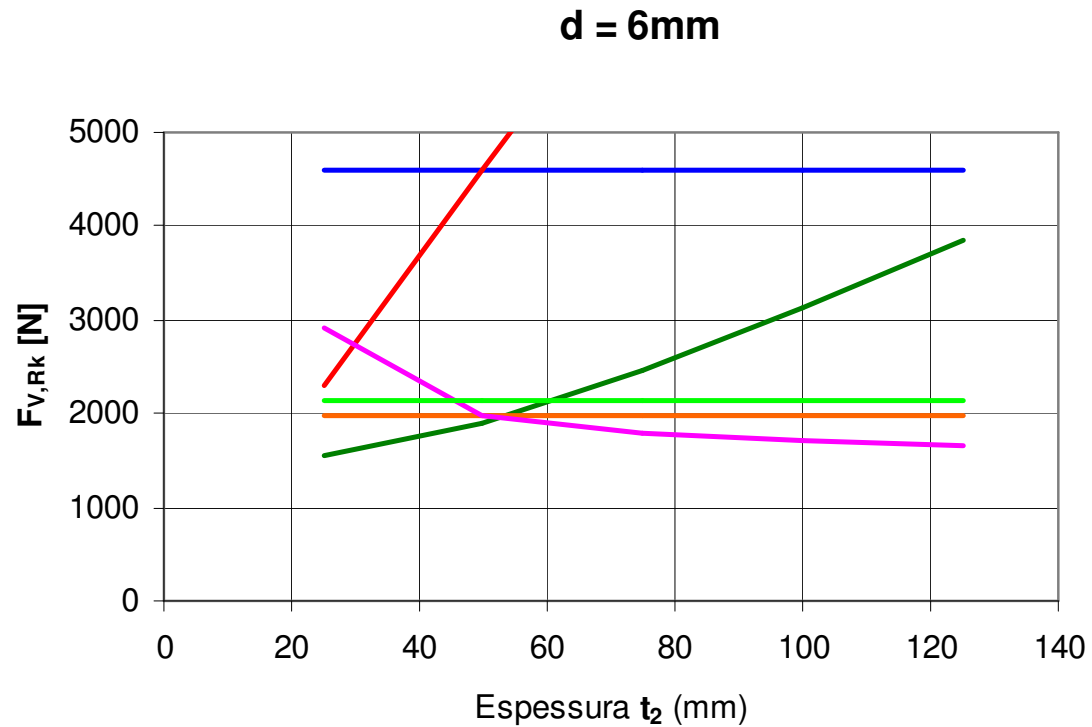
$$f_u = 600 \text{ n/mm}^2$$



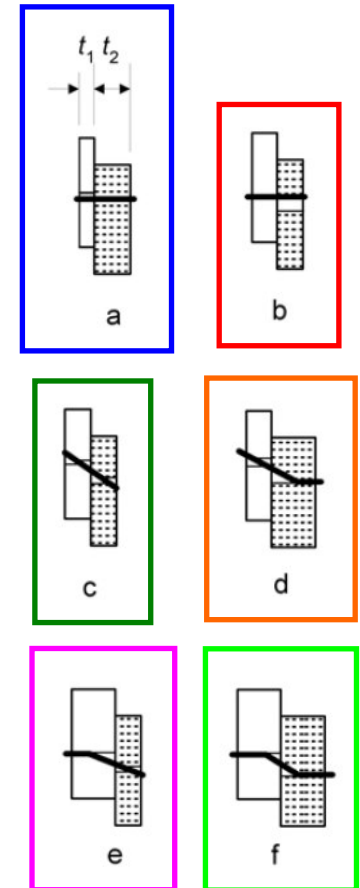
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Modelos de rotura em ligações pregadas



- 8.6 (a)
- 8.6 (b)
- 8.6 (c)
- 8.6 (d)
- 8.6 (e)
- 8.6 (f)



$$t_1 = 50\text{mm}$$

$$\rho_k = 320 \text{ kg/m}^3$$

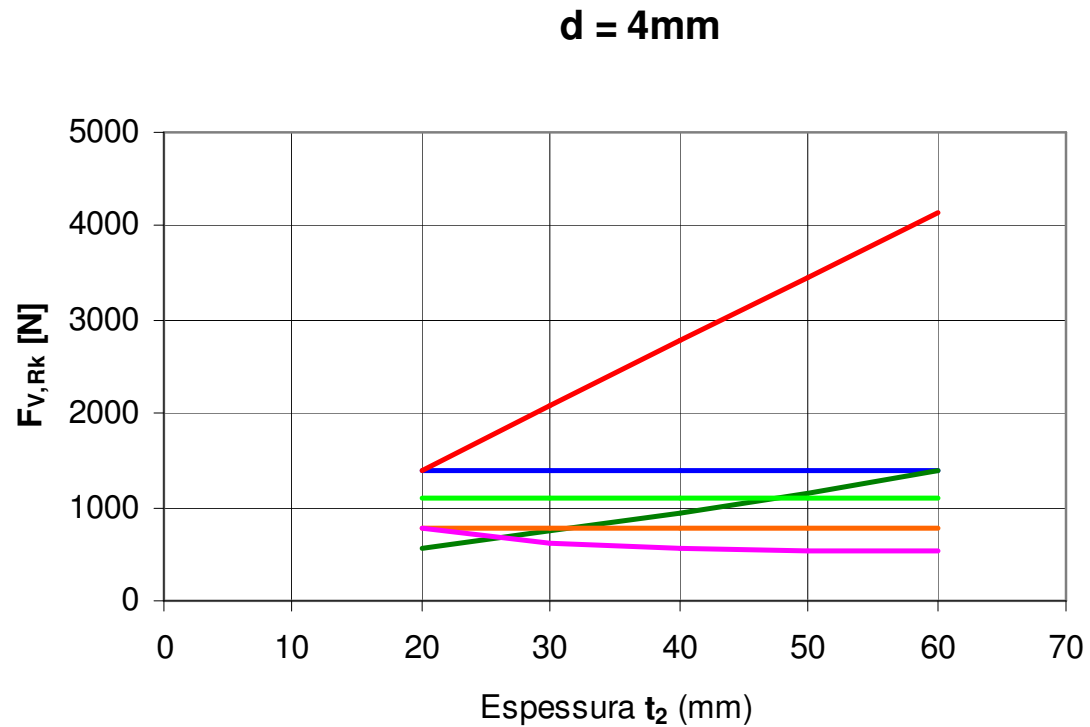
$$f_u = 600 \text{ n/mm}^2$$



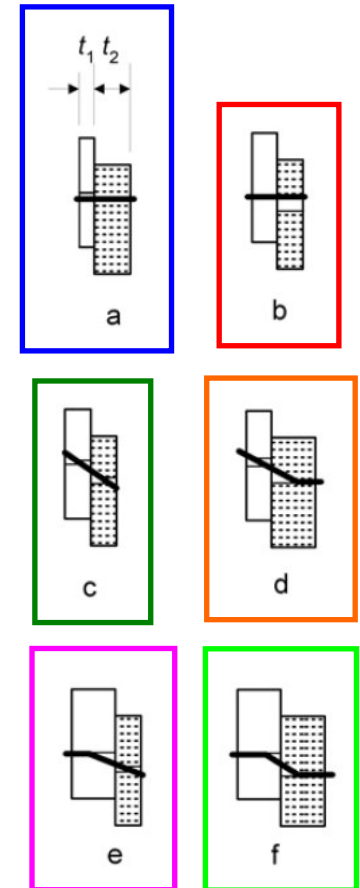
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Modelos de rotura em ligações pregadas



- 8.6 (a)
- 8.6 (b)
- 8.6 (c)
- 8.6 (d)
- 8.6 (e)
- 8.6 (f)



$$t_1 = 20\text{mm}$$

$$\rho_k = 320 \text{ kg/m}^3$$

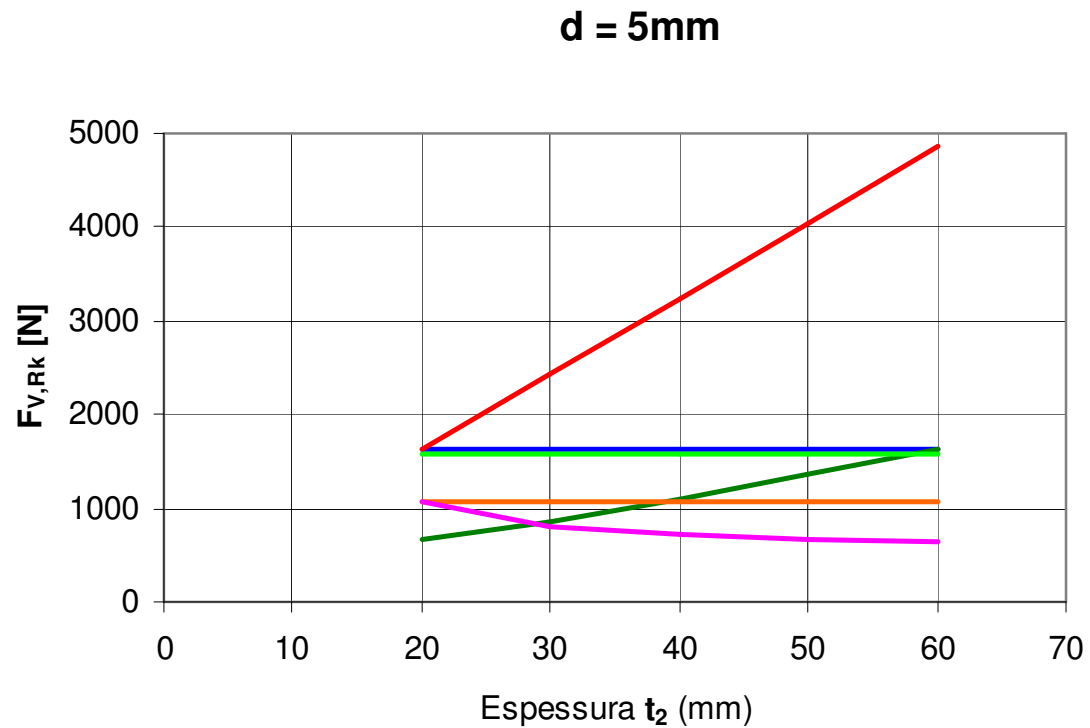
$$f_u = 600 \text{ n/mm}^2$$



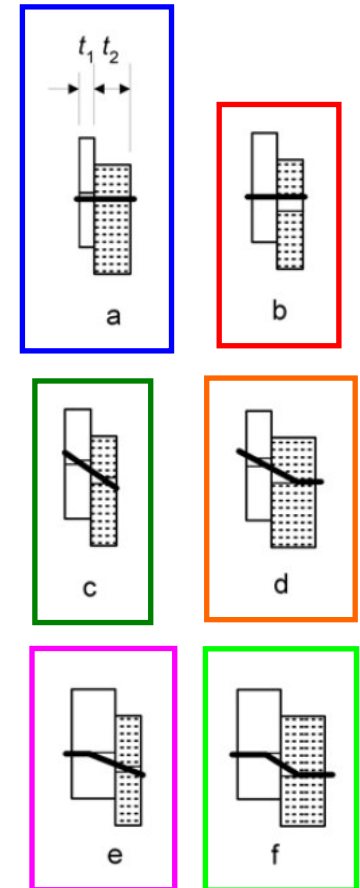
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Modelos de rotura em ligações pregadas



- 8.6 (a)
- 8.6 (b)
- 8.6 (c)
- 8.6 (d)
- 8.6 (e)
- 8.6 (f)



$$t_1 = 20\text{mm}$$

$$\rho_k = 320 \text{ kg/m}^3$$

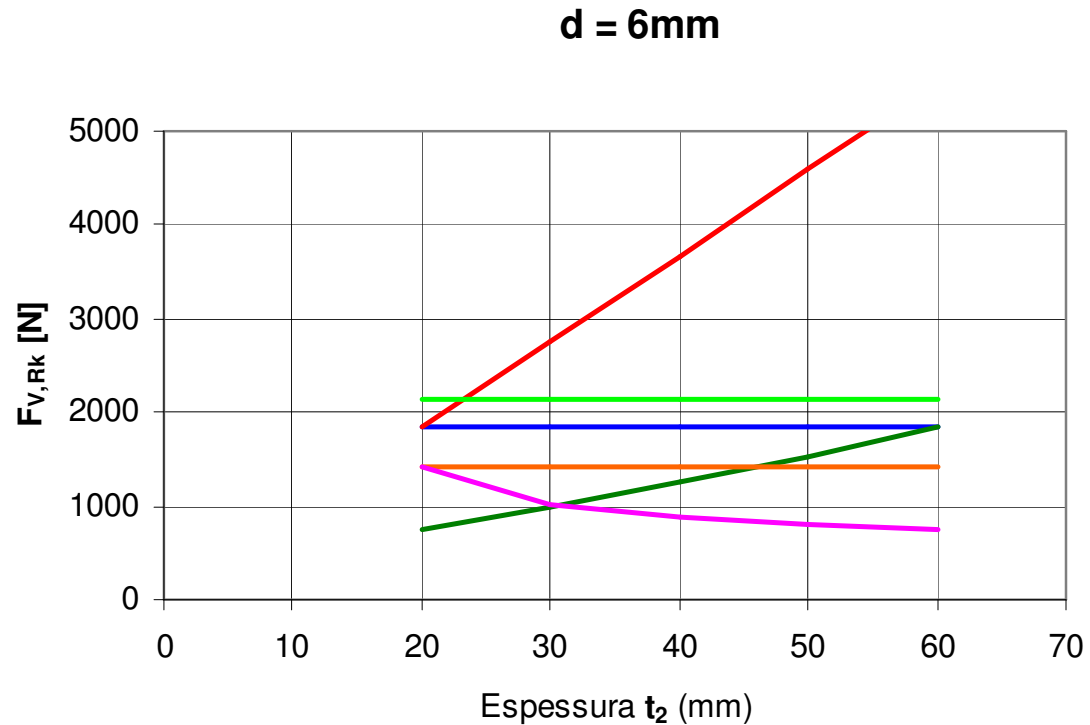
$$f_u = 600 \text{ n/mm}^2$$



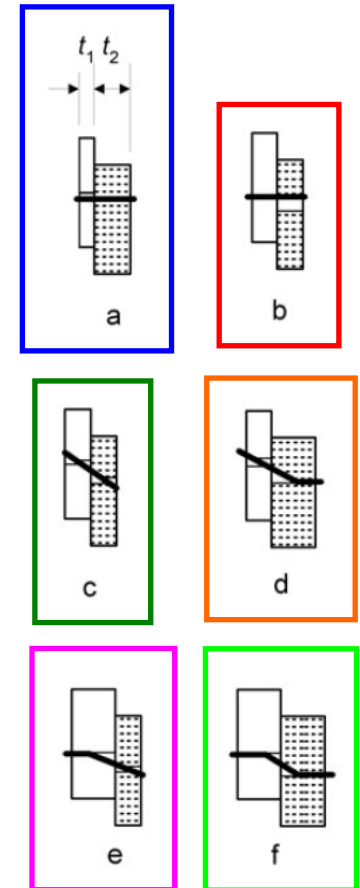
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Modelos de rotura em ligações pregadas



- 8.6 (a)
- 8.6 (b)
- 8.6 (c)
- 8.6 (d)
- 8.6 (e)
- 8.6 (f)



$$t_1 = 20\text{mm}$$

$$\rho_k = 320 \text{ kg/m}^3$$

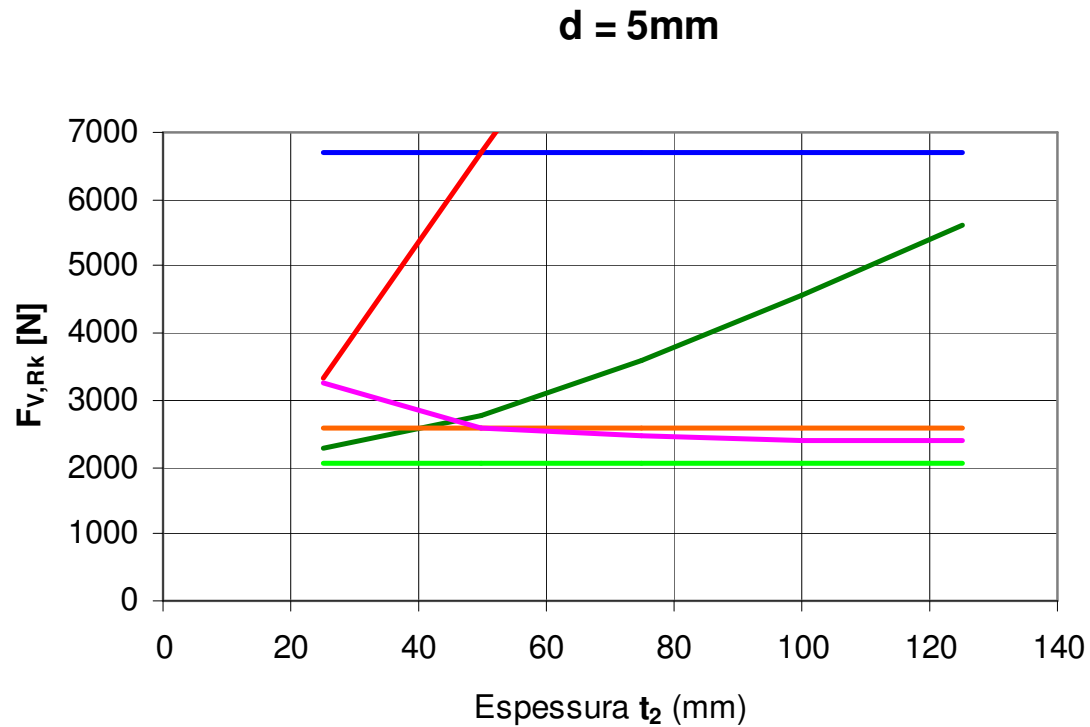
$$f_u = 600 \text{ n/mm}^2$$



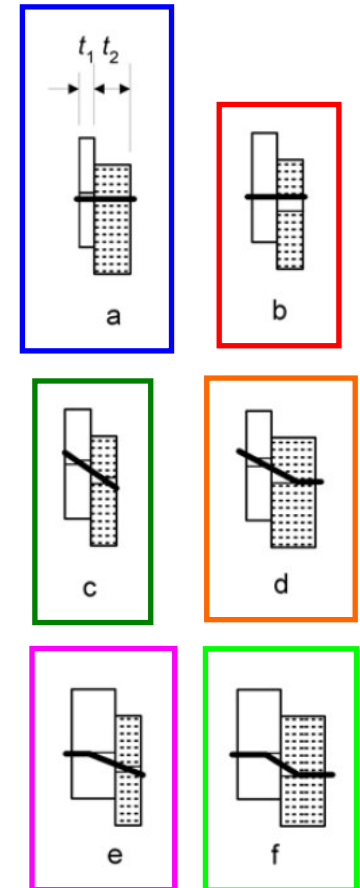
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

DECivil

Modelos de rotura em ligações pregadas



- 8.6 (a)
- 8.6 (b)
- 8.6 (c)
- 8.6 (d)
- 8.6 (e)
- 8.6 (f)



$$t_1 = 50\text{mm}$$

$$\rho_k = 530 \text{ kg/m}^3$$

$$f_u = 600 \text{ n/mm}^2$$