

**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP
PPGEC**

PEF 6007 2023 3

ESTRUTURAS DE MADEIRA

**Reyolando M. L. R. F. Brasil
Engenheiro Civil
Mestre, Doutor e Livre Docente
Dep. de Eng. e Estruturas e Geotécnica – PEF
Prof. Titular de Estruturas
Universidade Federal do ABC – UFABC**

**São Paulo
2023**

Bibliografia Básica

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6120:2019 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento, Rio de Janeiro.
2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6123:1988 – Forças Devidas ao Vento em Edificações, Rio de Janeiro.
3. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas, Rio de Janeiro.
4. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7190-1:2022 – Projeto de Estruturas de Madeira Parte 1 – Critérios de Dimensionamento, Rio de Janeiro
5. MOLITERNO, A., BRASIL, R.M.L.R.F. *Caderno de Projetos de Telhados em Estruturas de Madeira, 4ª Ed*, Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 2010.
6. PFEIL, W., PFEIL, M.S. *Estruturas de Madeira, 6ª Edição*, LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora AS, Rio de Janeiro, 2012.

Parte EXTRA 2

Estruturas de Madeira em Situação de Incêndio





Estruturas de madeira em situação de incêndio

1. Generalidades

Esta Seção se aplica, onde a segurança estrutural da madeira em situação de incêndio seja necessária, em edifícios destinados à habitação, a uso comercial, industrial e a edifícios públicos.

Para o estudo da madeira exposta ao fogo, as propriedades térmicas e as propriedades relacionadas à resistência e à rigidez são as que mais influenciam seu desempenho. A maioria dessas propriedades está relacionada a fatores intrínsecos à madeira, como a densidade, teor de umidade, orientação da grã, composição química, permeabilidade, condutividade térmica e a fatores extrínsecos como a temperatura e duração da exposição ao fogo e à ventilação no ambiente.

O núcleo da seção se mantém fria a apenas uma pequena distância da zona queimada, conservando grande parte das propriedades físicas e mecânicas da madeira. Essas características colaboram favoravelmente para a capacidade resistente, mesmo após ter sido exposta a elevadas temperaturas.

Entende-se por dimensionamento em situação de incêndio, a verificação dos elementos estruturais e suas conexões, com ou sem revestimento contra fogo, no que se refere à capacidade resistente em temperatura elevada, a fim de evitar o colapso da estrutura em condições que prejudiquem a fuga dos usuários da edificação e, quando necessário, a aproximação e o ingresso de pessoas

e equipamentos para as ações de combate ao fogo.

Esta Norma apresenta um método simplificado (ou método da seção reduzida) para a verificação da capacidade resistente das estruturas de madeira em situação de incêndio, considerando a redução da seção transversal devido à carbonização da madeira, ressaltando que, ao contrário do que o nome sugere, ou seja “simplificado”, o mesmo vai em direção de um resultado com aumento da seção envolvida (espessura/número de camadas), portanto, mais conservador e a favor da segurança que os demais métodos. Alternativamente, podem ser utilizados métodos avançados de análise térmica com base no EN 1995 1-2, desde que adaptados aos requisitos de segurança estrutural desta Norma, ou resultados de ensaios de resistência ao fogo realizados em laboratório, de acordo com os requisitos apresentados pela ABNT NBR 5628. Para elementos de MLC e MLCC, a delaminação de camadas deve ser considerada caso não exista a comprovação de resistência ao fogo da colagem entre lamelas de madeira. É de responsabilidade do fabricante do adesivo apresentar a informação sobre a resistência ao fogo de seu produto de acordo com ANSI A405, ASTM D7247, ASTM D3535, CSA O170, CSA O112.

2. Método simplificado de dimensionamento

2.1 Modelo de incêndio

Deve ser considerado o modelo do incêndio-padrão, que é a elevação padronizada de temperatura em função do tempo, definida na ABNT NBR 5628 e dada pela expressão: $\theta_g = \theta_0 + 345 \log(8t + 1)$.

onde

θ_0 é a temperatura em graus celsius (°C);

t é o tempo em minutos (min).

2.2 Segurança estrutural

A segurança da estrutura em relação a possíveis estados-limite de incêndio é assegurada pelo atendimento às condições analíticas de segurança expressas por:

$$R_{fi,d} \geq S_{fi,d}$$

onde

$R_{fi,d}$ é o esforço resistente de cálculo em situação de incêndio, abaixo. $S_{fi,d}$ é obtido a partir das combinações últimas excepcionais de ações definidas na ABNT NBR 8681, ou pode ser calculado admitindo-as iguais a 60 % das solicitações de cálculo em situação normal (20 °C), ou seja, pode-se fazer: $S_{fi,d} = 0,60 S_d$.

Não há necessidade de verificação de estados-limite de serviço em incêndio.

2.3 Resistências de cálculo

A resistência e o módulo de elasticidade das madeiras em situação de incêndio devem ser determinados conforme as seguintes equações

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{0,2}}{\gamma_{w,fi}}$$

$$E_{ef,fi} = k_{mod,fi} \frac{E_{0,2}}{\gamma_{w,fi}}$$

em que $k_{mod,fi} = \gamma_{w,fi} = 1$, $f_{0,2} = k_{fi} f_k$ e $E_{0,2} = k_{fi} E_{0,05}$,

com

Tabela 22 – Valores de k_{fi}

Material	k_{fi}
Madeira serrada	1,25
Madeira lamelada colada	1,15
Madeira lamelada colada cruzada	1,15
Painéis à base de madeira	1,15
LVL	1,10

2.4 Esforços resistentes de cálculo

Os valores dos esforços resistentes de cálculo em situação de incêndio, $R_{fi,d}$, devem ser calculados conforme a seguinte equação:

$$R_{fi,d} = k_{mod,fi} \frac{R_{0,2}}{\gamma_{w,fi}}$$

onde $R_{0,2}$ deve ser calculado pelos critérios estabelecidos na Norma referentes ao dimensionamento em temperatura normal, desde que a área resistente seja adequadamente reduzida como se segue e as propriedades

mecânicas substituídas por aqueles referentes ao quantil de 20 % (20 ° percentil), calculadas conforme se segue.

2.5 Seção transversal residual da madeira

A avaliação de resistência ao fogo de estruturas de madeira é baseada no conceito da diminuição de seção transversal devido à perda das propriedades mecânicas pela ação térmica. A seção transversal residual (ver Figura 28) deve ser determinada desprezando-se a espessura efetiva, e_{ef} , calculada conforme a equação a seguir:

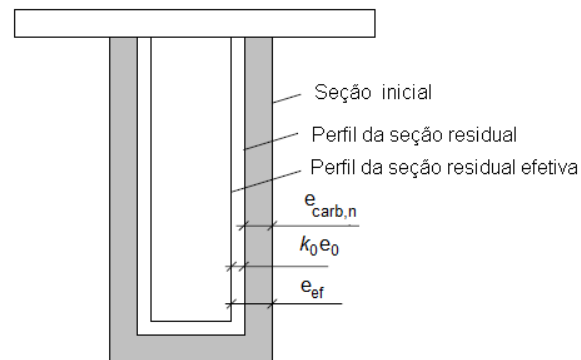
$$e_{ef} = e_{carb,n} + k_0 e_0$$

onde $e_0 = 7 \text{ mm}$, $e_{carb,n}$ é a espessura carbonizada nominal, considerando arredondamento, e

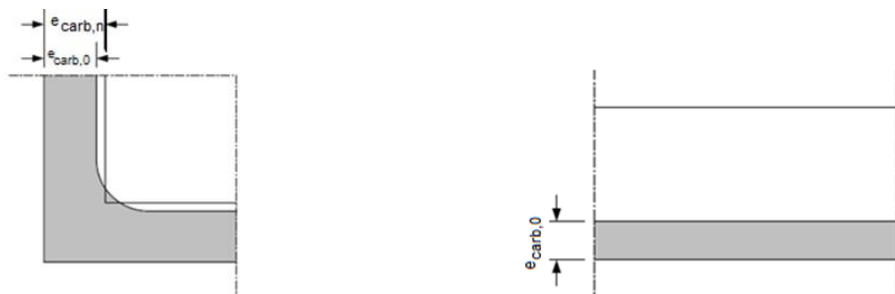
Tabela 23 – Determinação de K_0 para superfícies sem proteção, com t em minutos

Minutos	K_0
$t < 20$	$t/20$
$t \geq 20$	1,0

Figura 28 – Seção residual da madeira em situação de incêndio



com $e_{carb,n} = \beta_n t$ (Fig. 29-a), ou $e_{carb,0} = \beta_0 t$ (para elementos planos, conforme Fig. 29-b),



a) Espessura de carbonização básica ($e_{carb,0}$) e nominal ($e_{carb,n}$) b) Carbonização unidimensional

Figura 29 – Tipos de carbonização

Tabela 24 – Taxas de carbonização para superfícies sem revestimento β_0 e β_n

Material	Tipo	β_0	β_n
Coníferas	MLC, MLCC ou madeira serrada	0,65	0,70
Folhosas ^a	Baixa densidade	0,65	0,70
	Média e alta densidades	0,50	0,55
LVL	$\rho_{parente} \geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
Painéis ^b	Painéis de madeira Compensado e outros	0,9*	–
		1,0*	
		0,9*	

- a Aplica-se tanto para madeira serrada como para MLC.
- b Valores de β válidos para $\rho = 450 \text{ kg/m}^2$ e $h_p \geq 20 \text{ mm}$. Para outras densidades e espessuras, o valor de β_0 deve ser substituído por β_k , com ρ_k em kg/m^3 e h_p em mm

Para elementos com revestimento superficial contra fogo, a seção residual deve ser determinada conforme EN 1995-1-2. Elementos não estruturais de madeira podem ser empregados como revestimento de sacrifício nas estruturas. A espessura desse revestimento deve ser igual a $e_{carb,0}$. Um arranjo da fixação desses revestimentos é representado na Figura 30

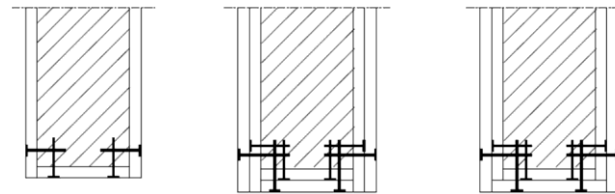


Figura 30 – Arranjo da fixação dos revestimentos de sacrifício

2.6 Seção transversal residual de painéis de MLCC

A metodologia para o cálculo da seção transversal residual apresentada em 11.2.5 deve ser utilizada para o dimensionamento de painéis de MLCC produzidos com adesivos estruturais resistentes ao fogo. Adesivos resistentes ao fogo são aqueles capazes de manter unidas as lamelas do MLCC durante período determinado de acordo com ensaios normatizados relativos ao tema. É responsabilidade do fabricante do adesivo apresentar esta informação no boletim técnico do adesivo.