

ESTRUTURAS DE MADEIRA SUBMETIDAS A CONDIÇÃO DE INCÊNDIO: comparativo normas NBR 7190 com Eurocode 5 1-2

Ben-Hur Jales e Silva Junior¹, Adriano dos Guimarães de Carvalho², Moacyr Salles Neto³, Thiago Dias de Araújo e Silva⁴, Ricardo Allen Filgueira Pontes⁵

¹ Bacharel em Engenharia Civil pelo IFTO – Campus Palmas. Bolsista PIBITI - IFTO. E-mail: <bhjales@gmail.com>

² Professor da Coordenação de Engenharia Civil do IFTO – Campus Palmas. E-mail: <agcarvalho@ifto.edu.br>.

³ Professor da Coordenação de Engenharia Civil do IFTO – Campus Palmas. E-mail: <moacyr@ifto.edu.br>.

⁴ Professor da Coordenação de Engenharia Civil do IFTO – Campus Palmas. E-mail: <thiago@ifto.edu.br>.

⁵ Professor da Coordenação de Engenharia Civil do IFTO – Campus Palmas. E-mail: <ricardo.pontes@ifto.edu.br>

Resumo: A madeira trata-se de um excelente material estrutural, sendo largamente utilizada em diversos países devido suas propriedades mecânicas e potencial sustentável. Apesar de tratar-se de um material combustível, a madeira quando exposta ao fogo, conserva sua capacidade resistente por um dado período de tempo. Assim é possível que sejam elaboradas metodologias que descrevam o comportamento da estrutura em condições de incêndio, de modo a permitir seu dimensionamento. No Brasil o dimensionamento de peças estruturais submetidas a condições de incêndio é definido especificamente, para estruturas de aço, concreto e mistas. Todavia, até o momento não há normativa específica no Brasil que leve em consideração o dimensionamento de estruturas de madeira quando em situação de incêndio. Com a ausência de metodologias deste tema, relativas à madeira nas normatizações nacionais, se faz necessária a verificação das disparidades entre estas e as normatizações internacionais. Deste modo o presente trabalho visa análise teórica, comparando as metodologias de dimensionamento da norma nacional NBR 7190/1997 e europeia EN 1995 1-1/2004 complementadas pela EN 1995 1-2/2004, e apontando os pontos divergentes. Neste sentido, seria possível se verificar a possibilidade da aplicação dos procedimentos de cálculo relativos ao incêndio do Eurocode 5 no Brasil, tendo em foco a segurança da estrutura.

Palavras-chave: Incêndio. Estruturas de madeira. Dimensionamento. Eurocode 5

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais mais antigos utilizados pelo homem na construção civil (AMBROZEWICZ, 2013). A sua fácil obtenção na natureza se popularizou nos primórdios da humanidade, e segue sendo como um dos principais materiais utilizados em diversos países. O potencial produtivo de madeira no Brasil é notável, de acordo com Shingue (2018) o país tem aproximadamente 463 milhões de hectares de florestas, cerca de 54,4% do território nacional, e apenas 1,5% deles são compostos por áreas plantadas, criadas artificialmente para a prática da silvicultura. Embora quando comparada ao total, a área produtiva, tratam-se de 7,8 milhões de Hectares entre o sul e o norte do Brasil, possuindo uma produtividade equiparada a alguns dos países mais produtivos do mundo, em torno de 40 a 41 m³/ha ano.

Segundo Correia (2009) a madeira é um material relativamente leve, possuindo uma elevada resistência sendo a relação de peso específico e resistência superiores à do aço, possibilitando às estruturas a redução de cargas de peso próprio. Apesar disso de acordo com Figueroa e De Moraes (2009) seu uso como material de construção apresenta limitações, graças a preconceitos existentes com a madeira quando sob a ação do fogo, popularmente acredita-se que este material não apresente

resistência nestas circunstâncias. Entretanto não existem materiais na construção civil de cunho estrutural que não sofram com a ação do fogo (GALDINO, 2012), ao ponto que suas características mecânicas de resistência não reduzam.

Em situações de incêndio a NBR 14432/2001 define que a estrutura deverá ser capaz de garantir a segura evacuação dos ocupantes, a segurança das operações de combate ao incêndio e a minimização dos danos a edificações do entorno.

Para estruturas de madeira o fogo se demonstra um desafio, entretanto seu desempenho quando comparado com outros materiais da construção civil, como aço nestas mesmas condições, apresenta um comportamento interessante, resistindo por mais tempo antes da ruína da estrutura.

É possível efetuar o dimensionamento da estrutura, visando a possibilidade de incêndio e seus efeitos sobre a estrutura, tendo peças com capacidade de resistência suficientes para resistir a ação do fogo por tempo suficiente para evitar o risco a vida. Deste modo a tolerância do material ao fogo, deve ser observada de modo a garantir que, mesmo com a redução de sua seção transversal, a peça ainda resista aos esforços solicitantes, por tempo suficiente para evacuação e segurança dos usuários da edificação.

A norma em vigência para o dimensionamento de estruturas de madeira é a NBR 7190/1997, tendo por objetivo a fixação das condições gerais de dimensionamento de estruturas de madeira, entretanto a mesma não define parâmetros para o dimensionamento em condição de incêndio, nem traz em seus itens qualquer tópico relacionado ao assunto de incêndio ou fogo na estrutura.

A normatização nacional relativa a estruturas sob condições de incêndio é a NBR 14432/2001 que dita a exigência de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. Porém esta não é responsável por definir as condições para o dimensionamento de estruturas de madeira em condição de incêndio.

Em contrapartida a norma europeia responsável pelo dimensionamento de estruturas de madeira Eurocode 5 traz em uma de suas partes, EN 1995 1-2/2004 as especificações para condições de incêndio complementando o dimensionamento por duas abordagens, simplificada e avançada, sendo efetuadas análises separadas dos elementos, de partes da estrutura e da estrutura completa.

Deste modo observa-se a ausência de material normativo nacional específico relativo à segurança do dimensionamento de estruturas de madeira quando submetido a condição de incêndio, deixando assim uma disparidade entre as normas nacionais e internacionais que toma como referência.

O presente estudo tem por objetivo a comparação das normativas nacionais e europeias referentes ao dimensionamento de estruturas de madeira quando submetidas a condição de incêndio.

Serão observadas as diferenças entre a norma nacional relativa ao dimensionamento de estruturas de madeira nacional NBR 7190/1997 e europeia EN 1995 1-1/2004.

2 METODOLOGIA

Tendo como base os objetivos apresentados neste trabalho, a metodologia a ser desenvolvida consistirá em um estudo teórico normativo para a fundamentação e embasamento de cálculo de estruturas de madeira, considerando a norma nacional e europeia, seguida da análise da complementação normativa referente ao dimensionamento de estruturas de madeira sob condição de incêndio europeia.

Na fase de estudos iniciais e levantamento teórico, definiu-se o problema a ser discutido seguido da pesquisa do material para fundamentação do trabalho. O levantamento normativo para o dimensionamento de estruturas de madeira, nacional por meio NBR 7190/1997 e europeia por meio da EN 1995 1-1/2004, seguido do estudo normativo relativo ao dimensionamento de estruturas de madeira submetida a incêndio, verificando a presença de normativas nacionais referentes ao tema comparadas a norma europeia EN 1995 1-2/2004.

Para o estudo, a norma nacional a ser observada é a NBR 7190/1997, referente ao dimensionamento de estruturas de madeira, que até o momento não apresenta metodologias de dimensionamento para situações de incêndio, deste modo será realizado o estudo relativo as metodologias de dimensionamento para estruturas em madeira sem observações para requisitos de resistência ao fogo.

Os dimensionamentos de estrutura de madeira na Europa seguem as orientações do Eurocode 5. A parte específica que trata deste assunto é a EN 1995 1-1/2004. Outras partes da norma devem ser observadas para a determinação de diversos parâmetros de cálculo, como por exemplo a obtenção das classes de resistência de madeira foi analisada a EN 338/2009, a EN 1995 1-2/2004 referente ao projeto de estruturas de madeira em condição de incêndio.

Para o estudo de cargas no dimensionamento, utiliza-se a NBR 6120/1980 e a EN 1991/2002, para o Brasil e para a Europa, respectivamente. Para o estudo de determinação de Tempo de Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), deve-se ser seguido a NBR 14432/2001, no Brasil.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo Mitto e Dias (2003) diferentes metodologias de cálculo ao serem analisadas e comparadas devem não apenas verificar os resultados do dimensionamento, mas também a eficiência

de aplicabilidade do processo. A comparação normativa realizada foi estabelecida no dimensionamento de estruturas de madeira sem levar em consideração os efeitos da ação do fogo aos elementos no item 7.1 (EN 1995 1-2), e o dimensionamento de estruturas de madeira levando em consideração os efeitos da ação do fogo 7.2 (EN 1995 1-2). Considerou-se para fins de análise estrutural, elementos sólidos maciços de madeira.

3.1 Comparação de Dimensionamento Padrão

Quando analisadas a norma nacional NBR 7190/1997 e a norma europeia EN 1995 1-1, ambas relativas ao dimensionamento de estruturas de madeira para edificações, foram observadas similaridades entre elas como a sua estruturação fundamental, porém diversas divergências podem ser pontuadas, e seus efeitos podem apenas ser mensurados através do efetivo dimensionamento comparando-se as estruturas dimensionadas.

Por existirem divergências normativas referentes a definição das cargas entre as normas NBR 6120/1980 e a EN 1991/2002, a comparação entre os dimensionamentos pode considerar fatores que divergem entre as normas, como as combinações, os próprios coeficientes de segurança, as cargas permanentes, o comportamento e obtenção das cargas relativas as ações de vento.

As divergências observadas entre os regulamentos de dimensionamento nacionais e Europeias, ainda sem o foco de incêndio foram em sua maioria relativas à uniformização de informações, como o fornecimento mais preciso de elementos necessários ao dimensionamento na norma Europeia.

No caso dos coeficientes de modificação da madeira observou-se a separação em coeficientes parciais de modificação $k_{mod,1}$, $k_{mod,2}$ e $k_{mod,3}$. Na NBR 7190 estes são separados de modo a levar em consideração a influência da umidade, da duração de carga e a qualidade homogênea da madeira como visto no item 5.9.1 (ABNT NBR 7190/1997). No Eurocode o coeficiente de modificação trata-se de um elemento único que leva em consideração os efeitos da umidade e da duração de carga, variando de acordo com os tipos de madeira, como apresentado no item 5.10.1 da norma Europeia. A apresentação das informações, ocorre de forma mais simplificada no Eurocode por apresentar uma tabela única que contempla as informações necessárias para a obtenção do k_{mod} .

Observou-se que no caso do coeficiente de modificação, a NBR 7190 apresenta de uma forma mais esmiuçada, as influências referentes a umidade, duração da carga e qualidade da madeira.

Os coeficientes de ponderação γ_w apresentam grandes divergências. No caso da normativa nacional estes são obtidos através da variação da tipologia de resistência seja por compressão, tração ou cisalhamento e do estado limite, item 5.9.3 (ABNT NBR 7190/1997). Para a normativa europeia a

obtenção deste é tida pela variação da tipologia da madeira e situação de combinação, como vistos na tabela 9 no item 5.10.2 da referida norma. Neste caso, o coeficiente de ponderação do Eurocode aparenta ser mais interessante, do ponto de vista estrutural, para o dimensionamento, uma vez que os dados do coeficiente apresentam menor variação, e estão atrelados ao tipo de madeira.

A obtenção das classes de resistência, no caso da normativa nacional, a própria NBR 7190/1997 fornece valores padronizados, observados na Tabela 6 no item 5.9.6 deste estudo. As resistências apresentadas pela norma referem-se apenas as de compressão paralelas as fibras e a resistência ao esforço cortante, sendo necessário para o dimensionamento, a utilização das relações entre os índices de resistência fornecidas pela norma, descritas no quadro 2 no item 5.9.7 da norma brasileira.

No Eurocode os valores referentes aos índices de resistência não são fornecidos na EN 1995 1-1. Este determina que a obtenção destes valores deve ser realizada na EN 338/2009, como vistos na tabela 10 do item 5.10.4 (EN 338/2009). Os valores são apresentados de forma completa, divididos em classes de resistência pelas espécies de madeira dos demais índices de resistência.

Constatou-se que a classificação das resistências apresentadas pelo Eurocode também aparenta ser mais interessante, do ponto de vista estrutural, por apresentar um número maior de classes e dados mais completos, evitando o uso de relações numéricas entre os dados de resistência.

Nas verificações de estado limite último, no caso das análises de Flexotração e Flexocompressão, segundo Mitto e Dias (2003), existem divergências significativas, onde observam-se as razões entre as solicitações de tensão geradas pelo momento aplicado na peça e a tensão de resistência. No caso do Eurocode os índices de resistência para a relação de flexão $\frac{\sigma_{M_{y,d}}}{f_{m_{y,d}}}$ e $\frac{\sigma_{M_{z,d}}}{f_{m_{z,d}}}$, são as de compressão e tração, relativas a borda da peça. No caso da NBR 7190 na relação de flexão $\frac{\sigma_{M_{x,d}}}{f_{t0,d}}$ e

$\frac{\sigma_{M_{y,d}}}{f_{t0,d}}$, o índice de resistência adotado, trata apenas da tração no caso da Flexotração, e no caso da

Flexocompressão nas relações de flexão $\frac{\sigma_{M_{x,d}}}{f_{c0,d}}$ e $\frac{\sigma_{M_{y,d}}}{f_{c0,d}}$, o índice de resistência adotado trata apenas da compressão.

Observou-se que a Flexotração e Flexocompressão calculada pelo Eurocode também aparenta ser mais interessante, do ponto de vista estrutural, uma vez que a parcela da equação relativa à flexão não leva em consideração um índice único de resistência, mas sim aos índices correspondentes as solicitações.

3.2 Comparação de Dimensionamento para Incêndio

O Eurocode 5 traz no EN 1995 1-2/2004 o procedimento de dimensionamento de estruturas de madeira para a situação de incêndio. A norma age como um complemento da EN 1995 1-1, adequando o dimensionamento padrão para a situação de incêndio. Para o estudo foram priorizadas as metodologias de dimensionamento para situação de incêndio para peças sólidas de madeira.

A norma modifica os coeficientes e parâmetros de resistência de projeto, ponderando as propriedades de resistência de cálculo da madeira agindo em favor da segurança. As propriedades do material segundo a norma podem ser alteradas por meio de métodos simplificados, que levam em consideração a variação de temperatura no material com o emprego de curvas de incêndio padronizadas, ou métodos avançados, que consideram a alteração da temperatura dos elementos durante um incêndio através de parâmetros pré-estabelecidos.

A metodologia simplificada utiliza como base a curva de incêndio padrão ISO 834. O dimensionamento simplificado pode ser efetuado por dois métodos, o método de redução da seção transversal e o método de redução das propriedades do material, como pode ser observado no item 5.11.3 (EN 1995 1-2) do presente estudo.

O método de redução da seção transversal visto no item 5.11.3.1 (EN 1995 1-2), caracteriza-se por prever a seção resistente da peça analisada, após um período de tempo t_i sob a ação do incêndio, de modo que as verificações devem ser efetuadas para a seção transversal resistente efetiva.

Para o método de redução das propriedades visto no item 5.11.3.2 (EN 1995 1-2), adota-se a seção residual da peça após um período de tempo t_i , sob a ação do incêndio, alterando-se também o coeficiente de modificação relativo ao incêndio, $K_{mod,fi}$, para cada propriedade de resistência analisada.

No caso da normatização brasileira, não existem metodologias ou verificações especiais relativas ao dimensionamento para estruturas submetidas a condições de incêndio. A norma apenas sugere o dimensionamento padrão conforme descrito na NBR 7190/1997, desconsiderando situações onde as estruturas poderiam estar submetidas a situação de incêndio.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo a garantir a segurança das estruturas ao incêndio, aliada ao correto dimensionamento, respaldado por normativas completas que preconizem a segurança para as situações mais adversas que possam trazer risco a vida (como o caso do incêndio), é de extrema importância que sejam criados critérios específicos para o dimensionamento de estruturas de madeira.

Quanto ao estudo comparativo entre a normas observou-se diferenças nos critérios de dimensionamento exigidos por cada uma delas, como no caso das normas referentes a ações, combinações e pela padronização de cálculo observados na NBR 7190/1997 (no que tange, por exemplo, a fixação da umidade da madeira em 12%), correções para a resistência de peças com umidade diferentes. Este fator de correção de umidade não é adotado no Eurocode.

O sistema do Eurocode apresenta de forma organizada e simplificada, seu conjunto de especificidades e detalhes quanto à metodologia de dimensionamento, oferecendo uma melhor classificação e organização. Possui nomenclaturas claras com o objetivo de uniformizar a informação.

Internamente as normas Europeias estudadas possuem linguagem objetiva e sequencial. No caso da EN 1995 1-2 tem-se apresentados diagramas indicando a correta utilização da própria norma, auxiliando o usuário no decorrer do dimensionamento. A organização, sistematização e elaboração das informações por parte das normativas europeias, pode estar atrelado ao fato do uso mais intensivo de sistemas estruturais que utilizem a madeira, como material estrutural na Europa historicamente.

Constatou-se que a NBR 7190/1997 não passou por atualizações desde sua criação, em contrapartida as normas do Eurocode foram revisadas de forma mais sistemática nos últimos anos, sendo a EN 1995 1-1 atualizada em 2004, e a EN 1995 1-2 em 2009, permitindo se adaptar melhor aos processos científicos desenvolvidos nos últimos anos.

Observou-se a completa ausência de normatização específica no Brasil vigente, relativa ao dimensionamento de estruturas de madeira para situações de incêndio, apesar da existência de normas relativas ao dimensionamento de estruturas de aço e concreto. Constatou-se também a omissão de parâmetros e observações referentes a ação do fogo na estrutura, na norma nacional de dimensionamento de estruturas de madeira.

Para comparação efetiva de resultados entre a normativa nacional e a europeia, sugere-se a realização da análise de uma estrutura de madeira padrão, dimensionadas pela NBR 7190/1997 e europeia Eurocode 5.

No dimensionamento pela normativa europeia seria considerada a metodologia para estruturas submetidas a condições de incêndio. Sendo modeladas e tendo seus comportamentos de resistência comparados de modo a verificar a eficiência e similaridade entre os resultados encontrados.

Acrescenta-se ainda a possibilidade de dimensionamento do comportamento térmico da estrutura, bem como a verificação de cumprimento do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) da estrutura, quando submetida a incêndio, a partir do SAFIR. Este programa modela o comportamento das estruturas do edifício submetidas ao fogo. A análise pode ser realizada a partir de um esqueleto 3D, como vigas e colunas, conectadas aos elementos planares, como lajes e paredes,

fornecendo informações importantes sobre o comportamento da estrutura em situação de incêndio.

REFERÊNCIAS

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais da construção**: Normas, Especificações, Aplicação e Ensaio de Laboratório. 1. ed. São Paulo: Pini, 2013. 460 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120 – **Forças devido ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

_____. NBR 7190 – **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 14432 – **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2001.

CORREIA, A. S. **Análise e Dimensionamento de Estruturas de Madeira**. FEUP. Porto, p. 163. 2009.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 5: Design of Timber Structures - Part 1-1: General - Design of timber structures**. Novembro, 2004.

_____. **Eurocode 5: Design of Timber Structures - Part 1-2: General - Structural fire design**. Novembro, 2004.

_____. **EN 338 - Structural Timber Strength Class**. Outubro, 2009.

FIGUEROA, M. J. M.; DE MORAES, D. Comportamento da madeira a elevadas temperaturas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, Dezembro 2009.

GALDINO, D. S. **Análise de Propriedades da Madeira de Estrutura de Telhado Após a Ocorrência de Um Incêndio**. UEP. ITAPEVA, p. 73. 2012.

MITTO, J. L.; DIAS, A.A. **Avaliação dos critérios de dimensionamento para peças comprimidas e flexocomprimidas de madeira**. Revista Minerva, v. 3, p. 131-140, 2006.

SHINGUE, E. K. **Difusão da Construção em Madeira no Brasil: Agentes, Ações e Produtos**. USP. São Carlos, p. 250. 2018.