VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
A inovação e o desafio do projeto na sociedade: A qualidade como alvo
Londrina, 17 a 19 de Novembro de 2021

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AO FOGO DO *CROSS LAMINATED TIMBER* (CLT) PARA APLICAÇÃO NO BRASIL[1]

CROSS LAMINATED TIMBER (CLT) FIRE PERFORMANCE EVALUATION METHODS FOR APPLICATION IN BRAZIL

FELIX, Patrícia Meira de A. Costa (1), ONO, Rosaria (2), OLIVEIRA, Fabiana Lopes (3)

(1) FAUUSP, patricia.macf@alumini.usp.com.br

(2) FAUUSP, rosaria@usp.br

(3) FAUUSP, floliveira@usp.br

RESUMO

No Brasil, o Cross Laminated Timber - CLT, ou Madeira Laminada Colada Cruzada - MLCC é um sistema construtivo inovador, por definição, pois não possui normas técnicas brasileiras com parâmetros definidos para sua avaliação e aplicação em projeto. O objetivo deste artigo é apresentar, com base numa revisão bibliográfica, os métodos europeus de avaliação de desempenho de segurança ao fogo de sistemas construtivos em CLT. Um enfoque será dado à proteção passiva, abarcando a reação ao fogo e a resistência ao fogo dos componentes estruturais e não estruturais do CLT. Conclui-se, com o estudo desses métodos avaliativos para o CLT, que há necessidade de complementação do arcabouço normativo brasileiro e espera-se que esta pesquisa possa auxiliar na definição de diretrizes de projeto e produção para o sistema fabricado no Brasil, a fim de garantir a qualidade, o desempenho e a segurança ao fogo dos edifícios que pretendem adotá-los.

Palavras-chave: *Cross Laminated Timber. Métodos de Avaliação, Segurança ao Fogo.*

ABSTRACT

In Brazil, Cross Laminated Timber (CLT) is an innovative building system, by definition, as there are no specific Brazilian technical standards with defined parameters for its application. The purpose of this article is to present, based on a literature review, a study of the European performance evaluation methods on CLT, focused on fire safety - reaction to fire and fire resistance of structural and non-structural components. As conclusion, the lack of Brazilian standards is clearly detected. The study of those documents may provide information to discuss parameters for national technical guides and standards and also provide information that may help on the assurance of a better quality, performance, and fire safety for buildings in Brazil.

Keywords: *Cross Laminated Timber, Performance, Evaluation, Fire safety.*

[1] FELIX, Patricia M. A. C; ONO, Rosaria; OLIVEIRA, Fabiana L. Métodos de avaliação de desempenho ao fogo do Cross-Laminated Timber (CLT) para aplicação no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO, 7., 2021, Londrina. **Anais**... Londrina: PPU/UEL/UEM, 2021. p. 1-10. DOI https://doi.org/10.29327/sbqp2021.437998

1 INTRODUÇÃO

Novas tecnologias na construção civil vêm contribuindo para a introdução de sistemas construtivos industrializados inovadores. Um exemplo de sistema construtivo inovador no Brasil é o *Cross Laminated Timber - CLT, ou Madeira Laminada Colada Cruzada - MLCC*. Os painéis de CLT são constituídos, usualmente, a partir de três camadas de lamelas de madeira unidas com adesivos, dispostas em direções ortogonais e sempre em número ímpar. No Brasil, já se têm exemplos de construções que adotam este sistema.

Como sistema inovador, o CLT encontra no país alguns desafios para sua aplicação, como a falta de conhecimento técnico do seu desempenho, que é um dos principais fatores limitantes para seu uso de forma mais expressiva. O processo de avaliação do CLT fabricado no Brasil precisa se adequar para atender aos requisitos e critérios estabelecidos nas regulamentações e normas técnicas nacionais, sendo, assim, passível de avaliação técnica, a fim de obter a comprovação do seu desempenho ao fogo.

No Brasil, o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) por meio do Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SiNAT), define os procedimentos para a avaliação de sistemas construtivos inovadores e novos produtos para a construção habitacional no país, quando não existem normas técnicas específicas aplicáveis ao produto (BRASIL, 2017b). A harmonização de procedimentos é necessária para assegurar que todos os aspectos relevantes ao comportamento em uso de um produto de construção inovador sejam considerados no processo de avaliação e, consequentemente, o sistema seja reconhecido pelos órgãos técnicos e consiga obter financiamento de instituições públicas e privadas para sua construção. Até o presente momento o CLT não possui diretriz SINAT aprovada.

Outro ponto a considerar é que o sistema construtivo de CLT, no país, tem sido empregado, principalmente, por edifícios residenciais unifamiliares. No estado de São Paulo, edificações residenciais unifamiliares com área inferior a 750 m^2, como casas térreas ou assobradas (isoladas e não isoladas) e em condomínios horizontais (Grupo A-1) são isentas de medidas de segurança contra incêndio por parte da legislação estadual específica, mesmo no atualizado Decreto Estadual nº 63.911/2018 (SÃO PAULO, 2018).

Além disso, no Brasil, os sistemas construtivos existentes em madeira normalmente carecem de tecnologia e maiores especificações para sua segurança ao fogo. Por exemplo, a atual norma que trata de projeto de estrutura em madeiras, **ABNT NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) não aborda esse requisito, embora o seu texto esteja em revisão atualmente.

Por outro lado, a norma brasileira **ABNT NBR 15575** (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), que trata dos requisitos e critérios de desempenho para edificações habitacionais em geral, desde unidades unifamiliares isoladas até edifícios multifamiliares de múltiplos pavimentos, aplica-se às situações não cobertas pela legislação estadual de segurança contra incêndio citada. No entanto, como já apontado, tratando-se o CLT de um sistema inovador, apresenta particularidades que não estão seguramente especificadas pela referida norma, necessitando-se do desenvolvimento de normas técnicas e diretrizes próprias que norteiem a avaliação desse sistema construtivo.

2 OBJETIVO E MÉTODO

Este artigo tem como objetivo *apresentar um estudo dos métodos de avaliação europeus,* para avaliação de desempenho ao fogo do sistema construtivo em CLT, que tem como base uma pesquisa de mestrado (FELIX, 2020) cuja finalidade era propor parâmetros aos projetos de arquitetura para a segurança contra incêndio para edificações habitacionais unifamiliares no âmbito nacional.

O trabalho foi desenvolvido com base no levantamento e na análise de materiais publicados em livros, artigos, trabalhos acadêmicos, *handbooks* e normas estrangeiras específicas para o CLT, com foco na segurança ao fogo.

3 DESEMPENHO AO FOGO DO CLT

A segurança contra incêndio deve fazer parte das decisões do projeto arquitetônico, desde o início do processo projetual e, portanto, devem ser contempladas medidas preventivas e de proteção. As medidas preventivas são soluções que devem ser adotadas para minimizar fatores prováveis de início do incêndio, como a interação de fontes de calor com materiais combustíveis, o controle das fontes de ignição e o correto dimensionamento das instalações elétricas. Já as medidas de proteção são compostas de recursos que devem ser adotados para limitar o crescimento do fogo e promover o seu controle no ambiente de origem, limitar a propagação para outros ambientes e edificações vizinhas, assegurar a evacuação segura dos usuários e evitar que a edificação entre em colapso estrutural, em caso de incêndio.

Dentre as medidas de proteção, aquelas de caráter passivo, ou seja, que estão vinculadas ao sistema construtivo em si, devem ser consideradas no projeto da edificação, pois dependem do conhecimento das características de reação e de resistência ao fogo dos materiais incorporados aos componentes construtivos envolvidos.

Desde o início deste século, são realizados ensaios em vários países da Europa, nos Estados Unidos e no Canadá para caracterizar o comportamento ao fogo dos painéis e do sistema construtivo em CLT como um todo.

Na Europa, o uso do sistema construtivo em CLT tem se tornado cada vez mais consolidado, pois a emissão de pareceres técnicos favoráveis avalizados por documentos como do *European Technical Assessments (ETA),* obtidos pelo proponente (fabricante) do sistema, tem contribuído para a maior segurança e confiança para o uso do sistema. As diretrizes que estabelecem a avaliação técnica e de desempenho são desenvolvidas pela *European Assessment Document (EAD)*.

Ensaios de comportamento ao fogo têm demonstrado que mesmo após o fim do incêndio, a carbonização continua nas estruturas de madeira, diminuindo a sua seção transversal, e essa só cessa se o suprimento de oxigênio for insuficiente para a combustão. Um estudo realizado por Hevia (2014) observou o aumento da temperatura durante a fase de decaimento do incêndio quando há um desprendimento de partes das lamelas carbonizadas das lamelas internas do CLT, expondo a madeira intacta à ação do fogo e levando a um segundo *flashover (inflamação generalizada)*. Mesmo se a carbonização cessar, as temperaturas podem aumentar no centro do elemento e/ou componente de madeira - o que pode levar à perda de resistência da estrutura (SAITO et al. 2007; MEDINA HEVIA, 2014; KINJO ET AL. 2014 apud ABU E BUCHANAN, 2017*)*. Isso ocorre quando:

a) há falha da linha de aderência entre as lamelas dos componentes de CLT, causada pela temperatura elevada, que pode promover a delaminação e exposição súbita de madeira intacta ou carbonizada;
b) placas de proteção (geralmente de gesso) caem e deixam a superfície da madeira exposta, e/ou;
c) a superfície exposta tem área demasiadamente grande (BRANDON; ÖSTMAN, 2016).

Desta forma, além do dimensionamento adequado das estruturas em CLT, é necessário o conhecimento do desempenho de suas partes e do seu conjunto, por meio de ensaios de avaliação de desempenho ao fogo.

3.1 Reação ao fogo

A reação ao fogo dos materiais, ou seja, o comportamento ao fogo dos materiais, no sentido de contribuir, ou não, para a ignição, o desenvolvimento e a intensidade do incêndio, pode ser avaliada de acordo com ensaios padronizados, segundo as seguintes características: combustibilidade, inflamabilidade, poder calorífico, propagação superficial da chama, densidade ótica específica de fumaça, e toxicidade da fumaça.

A **EAD 130005-00-0304** intitulada "*Solid Wood Slab Element to be Used as a Structural Element in Buildings*" (European Assessment Document, 2015) estabelece as diretrizes para avaliação técnica dos painéis de CLT. De acordo com este documento, na avaliação da reação ao fogo, os componentes e elementos de CLT devem ser classificados como "D-s2, d0", onde:

- D: *Flashover* somente após 2 minutos com fonte de ignição de 100kW (critérios de análise: ignição, propagação da chama, taxa de liberação de calor de acordo com **ISO 11925-2:2010** (INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION, 2010) e **BS EN 13823:2010** (BRITISH STANDARD INSTITUTION, 2014), com exceção de pisos);
- s2: classe intermediária da taxa máxima de desenvolvimento de volume total de fumaça produzido, dentro de 600s;
- d0: não há gotejamento de partículas flamejantes na combustão.

O painel de CLT "bruto" para pisos (sem qualquer revestimento), por sua vez, é classificado como "Dfl-s1" (material combustível com contribuição média ao fogo e sem ou fraca taxa de desenvolvimento de fumaça), de acordo com a **BS EN 13501-1: 2018** (BRITISH STANDARD INSTITUTION, 2018).

A norma britânica **BS EN 16351:2015** - *Timber structures — Cross laminated timber — Requirements* (BRITISH STANDARD INSTITUTION, 2015) determina que para a reação ao fogo, as lamelas do painel de CLT devem ser avaliadas de acordo com a **BS EN 14081-1: 2016 + A1:2019** e a reação ao fogo do painel de acordo com **BS EN 13986:2004 + A1:2015**. A madeira laminada cruzada deve ser ensaiada e classificada de acordo com a **BS EN 13501-1: 2018** (BRITISH STANDARD INSTITUTION, 2018) e as normas correspondentes às classes de reação ao fogo.

3.2 Resistência ao fogo

A resistência ao fogo de um elemento de construção é a capacidade do mesmo resistir aos efeitos do incêndio, sem comprometer a função para a qual foi projetada, entendida em uma ou mais formas, como se segue:

- A resistência ao colapso, isto é, a capacidade do elemento manter a carga durante situação de incêndio - resistência mecânica;
- A resistência à penetração do fogo, ou seja, uma capacidade de manter a integridade do elemento (estanqueidade às chamas, ao calor e gases);
- A resistência à transferência de calor excessivo, ou seja, uma capacidade de proporcionar um isolamento a altas temperaturas (isolamento térmico).

As propriedades térmicas e mecânicas são as que mais influenciam no desempenho da madeira em situação de incêndio. A madeira, por ser um polímero natural, quando exposta à ação do fogo, sofre despolimerização e carbonização, alterando suas propriedades mecânicas conforme o nível de temperatura e tempo de exposição ao calor ao qual foi submetida (VALLE et al., 2012).

O comportamento de carbonização do CLT é diferente da carbonização de painéis de madeira homogêneos, devido à sua composição com camadas coladas e às juntas entre as lamelas que podem levar ao aumento da carbonização. Para os painéis de CLT, o cálculo do projeto estrutural de incêndio é indicado pelo método da seção transversal residual após a carbonização.

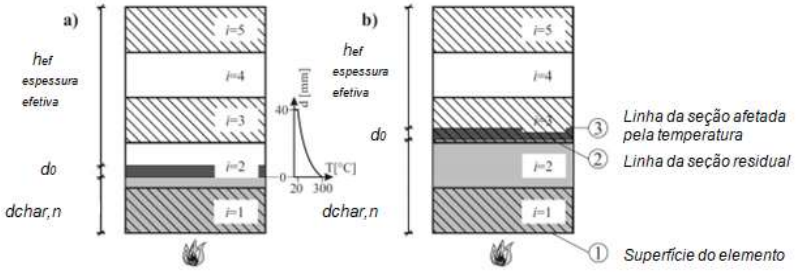
Para a avaliação da resistência ao fogo de estruturas em CLT, a **EAD 130005-00-0304** determina que o painel deve ser testado e classificado conforme a **BS EN 13501-2:2016** e, alternativamente, a resistência pode ser calculada com base na **EN 1995-1-2:2004 Eurocode 5: *Design of timber structures - Part. 1-1: General - Common rules and rules for buildings*** (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION, 2004). As taxas de carbonização devem ser indicadas com base em ensaios, além da direção e sentido das lamelas em relação à carga aplicada devem ser cuidadosamente observados.

A taxa de carbonização é a razão ou a velocidade na qual a madeira é convertida em carvão e indica a redução da seção transversal dos elementos estruturais (FIGUEROA; MOARES, 2009). A seção transversal residual deve ser capaz de suportar cargas, fornecendo um nível de resistência ao fogo que depende da carga aplicada.

A norma europeia **EN 1995-1:2004** (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION, 2004) considera que essa redução está na ordem de 20% em relação à madeira intacta. É expressa por um fator de redução que depende do perímetro e da área da seção transversal da peça exposta ao fogo.

Para os painéis de CLT, o cálculo do projeto estrutural para situação de incêndio também é o método da seção transversal residual. A Figura 01 mostra o conceito do método de seção transversal eficaz para uma peça de CLT com 5 camadas (KLIPPEL; SCHMID, 2017).

Figura 01 - Método da seção transversal para o CLT(a): a camada d0 está na camada cruzada e, portanto, na camada sem carga; (b): d0 está na camada com carga



Fonte: Klippel, M, Just, A (eds) *Guidance on Fire design of CLT including best practice*, COST Action FP1404, Zürich, Switzerland, 2018.

A seção transversal do CLT é reduzida pela profundidade efetiva da carbonização e deve ser calculada conforme a seguinte equação:

$d_{ef} = d_{char} + d_0$
(1)

Onde:

d_{ef}: profundidade efetiva de carbonização (mm);

d_{char}: profundidade de carbonização (mm);

d_0: camada sem resistência (mm).

A norma **EN 1995-1:2004** indica que se o painel tiver função estrutural e não houver risco de queda da camada carbonizada, a seção transversal do painel de CLT deve ser considerada como uma única camada; se houver risco de queda da camada carbonizada devido à falha na linha de aderência, cada lamela na seção transversal do CLT deve ser considerada como uma camada e com suas respectivas taxas de carbonização.

Ensaios de resistência ao fogo (KLIPPEL et al.,2014; ÖSTMAN et al.,2010; SCHMID e KÖNIG 2010; SCHMID et al.,2010; GAGNON e PIRVU, 2011 apud ABU; BUCHANAN, 2017) sugerem que a taxa normal de carbonização relativa à madeira maciça deve ser usada na primeira lamela, mas o dobro da taxa de carbonização deve ser usado para as camadas sucessivas devido ao seu pré-aquecimento. Esse método de projeto é recomendado, mas se alguma das lamelas internas tem espessura maior que 25 mm, uma aproximação razoável é que a taxa de carbonização caia de volta após os primeiros 25 mm ter carbonizado.

Para uma resistência ao fogo de 30 minutos, não haverá influência da perda de camadas carbonizadas quando a espessura da primeira lamela tem uma profundidade mínima de 25 mm, pois somente esta face do painel será carbonizada. Para uma classificação de resistência ao fogo superior a 60 minutos, uma clara diferença na seção transversal residual é esperada.

Para painéis de madeira com algum tipo de revestimento que visa à proteção ao fogo deve-se considerar o tempo de proteção $t_{pro,i}$ (min.) adicionado pelo revestimento aplicado. Este tempo é calculado levando em consideração os coeficientes de proteção. O coeficiente de proteção dado no **EN 1995-1-2: 2004** (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION, 2004) é K_2 e é determinado pelas características físicas do material de revestimento, como espessura e densidade. Por exemplo, o coeficiente de proteção de um elemento de madeira protegido por uma única camada de placas de gesso acartonado tipo F, é K_2 = 1-0,018 h_p, onde h_p é a sua espessura, em milímetros. O cálculo para o tempo máximo de proteção ($t_{prot,\,max}$) inclui o tempo de queda (t_f) e o coeficiente de proteção (k_2) do sistema de revestimento ou do revestimento classificado para fogo. Conforme a seguinte equação:

$t_{pro\ max,i} = t_{pro,0,i} / K_2$
(2)

Onde:

$t_{pro\ max\ i}$ tempo de proteção máxima da camada protetora i;

$t_{pro,0,\,i}$ tempo de proteção básica da camada protetora i;

K_2 coeficiente de proteção

A norma britânica **BS EN 16351**(BRITISH STANDARD INSTITUTION, 2015) determina que para a resistência ao fogo do painel, também devem ser consideradas a geometria (por exemplo, tamanhos das lamelas transversais) e a taxa de carbonização (das camadas), avaliada com base nas espécies utilizadas, pela densidade característica, classe de resistência da camada de madeira ou classe técnica.

3.3 Síntese dos critérios europeus e as exigências no Brasil

Em resumo, os painéis de CLT na Europa devem atender aos seguintes critérios de reação e resistência ao fogo conforme mostram os quadros 01 e 02:

Quadro 1 – Reação ao fogo

Componentes e Elementos de CLT	**Critério**	**Métodos de ensaio e classificação**
Com exceção de piso	D-s2, d0	ISO 11925-2:2010, BS EN 13823:2010, BS EN 13986:2004 + A1:2015 e BS EN 13501-1: 2018
Para pisos	Dfl-s1	BS EN 13501-1: 2018

Fonte: da Autora (2021)

Quadro 2 – Resistência ao fogo

Componentes e Elementos de CLT	**Critério**	**Métodos de ensaio e classificação**
Com proteção ao fogo	60 min.	EN 1995-1-2:2004 e BS EN 13501-1:2018
Sem proteção ao fogo	30 min.	EN 1995-1-2:2004 e BS EN 13501-1:2018

Fonte: da Autora (2021)

Como já mencionado, não há uma diretriz SiNAT específica para o CLT fabricado no Brasil, entretanto a norma **ABNT NBR 15575** (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), juntamente com as normas estrangeiras já descritas podem contribuir para o desenvolvimento de diretrizes próprias que norteiem a avaliação desse sistema construtivo no país.

Na **ABNT NBR 15575** (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) os requisitos da segurança contra incêndio que estão vinculados ao sistema construtivo em si, referentes às características de reação e resistência dos materiais estão descritos no quadro 3 a seguir.

No que tange o requisito "dificultar a ocorrência de inflamação generalizada", o elemento de CLT fabricado no Brasil, até o momento, para vedação (exceto piso) com menor espessura, tem 57 mm. E para materiais compostos por diversas camadas de materiais combustíveis com espessura superior a 25 mm, não se aplica o método ABNT NBR 9442:1986, sendo aplicável o método de ensaio **EN 13823:2010**. Assim, neste caso, se o painel de CLT nacional apresentar o mesmo comportamento de acordo com classificação D-s2, d0 dos painéis fabricados no exterior (Quadro 2), corresponderá a classe IV A de acordo com a norma de desempenho, com base no método de ensaio **EN 13823:2010**.

Quadro 3 - Requisitos de segurança contra incêndio da norma brasileira

NBR 15575 - Requisito	**Métodos de ensaio**
Dificultar a inflamação generalizada	ABNT NBR 9442, EN13823:2010 e ABNT 8660
Dificultar a propagação de incêndio	ABNT NBR 14432
Garantir a segurança estrutural em situação de incêndio	ABNT NBR 14432 para estruturas de aço e concreto. Para outras estruturas, aplica-se o Eurocode correspondente, em sua última edição.

Fonte: da Autora (2021)

Como visto no quadro 03, o método de avaliação de resistência ao fogo deve ser feito pela análise do projeto estrutural em situação de incêndio ou ensaios de acordo com a norma em relação ao tipo de estrutura da edificação. Para sistemas construtivos de madeira a norma a seguir é a **EN 1995 1-2:2004** (Eurocode 5). Para o CLT, em particular, o método de cálculo indicado é o da seção transversal reduzida ou pelo método alternativo das propriedades mecânicas reduzidas.

Um quadro comparativo das normas europeias com a **ABNT NBR 15575** (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) segue no quadro 04, com destaque para os métodos de ensaio em comum.

Quadro 4 – Métodos de ensaios específicos para avaliação do desempenho ao fogo de componentes do sistema construtivo em CLT na Europa e no Brasil

	Reação ao Fogo		**Resistência ao fogo**	
	Classificação	**Métodos de ensaio**	**Classificação**	**Métodos de ensaio**
Europa	D-s2, d0 (exceto pisos) Dfl-s1 (pisos)	ISO 11925-2:2010, BS **EN 13823:2010**, BS EN 13986:2004 + A1:2015 e BS EN 13501-1: 2018	30 min. Sem proteção 60 min. Com proteção	**EN 1995-1-2:2004** BS EN 13501-1:2018
Brasil	Classe IVA paredes e piso (sem proteção)	**EN13823:2010** (exceto piso) ABNT 8660:2013(pisos)	30 min. Sem proteção e espessura da primeira lamela mín. 25mm	ABNT NBR 14432 **EN1995-1-2:2004**

Fonte: da Autora (2021)

Como é possível verificar, a avaliação de desempenho dos componentes do sistema construtivo em CLT na Europa contempla um conjunto de normas mais amplo e, por vezes, específico, comparado ao conjunto de normas brasileiras.

Adicionalmente, devido à composição específica do CLT, há algumas particularidades que devem ser avaliadas e que não são referidas por normas nacionais. A norma européia **BS EN 16351:2015** determina que para a resistência ao fogo, o painel deve seguir as seguintes especificações: espaçamentos entre lamelas (máximo 0,2 mm), camadas de lamelas (máximo 0,3 mm) e dimensões *dos finger joints* (máximo 45 mm), pois a ocorrência de cargas irregulares ou carbonização por meio da propagação do calor e gases entre as junções pode levar a diferentes desvios entre os elementos, resultando na falha da seção transversal residual e também deve se considerar a resistência das emendas entre camadas sem carga, garantindo assim um grau de proteção maior.

Também é importante ressaltar que os métodos de ensaios indicados pela **BS EN 16351:2015** e **ABNT NBR 7190:1997** para delaminação e cisalhamento em

temperatura ambiente em relação a aderência entre lamelas podem contribuir para a avaliação do comportamento do adesivo. Porém, a comprovação de sua resistência em temperatura ambiente não garante o mesmo comportamento em temperatura elevada. Assim, o uso de adesivos resistentes ao fogo é sempre recomendado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil a **ABNT NBR 15575:2013** tem contribuído para a introdução de novos produtos e sistemas construtivos no mercado nacional, como o CLT.

Para a segurança contra incêndio do sistema construtivo em CLT, em particular, o projeto deve considerar fatores como forças internas e deformações que podem ser induzidas por expansão térmica, e/ou áreas transversais que possam ser reduzidas por carbonização para garantir a resistência dos painéis. O uso da taxa de carbonização nominal (β_n) também contribui para o aumento da segurança ao fogo, pois considera o espaçamento entre camadas, juntas, conexões etc. no cálculo do projeto de incêndio.

A resistência ao fogo também pode ser conseguida aumentando-se a espessura do elemento CLT da lamela mais externa (mínimo 25 mm), o número de camadas do painel e do revestimento de proteção correspondente, o uso de adesivos resistentes a temperaturas elevadas e cuidados durante a fabricação do painel como o espaçamento das frestas entre lamelas, *finger joint* e etc. a fim de garantir um maior grau de proteção para todo o sistema.

O sistema construtivo em CLT fabricado no Brasil não possui normas técnicas suficientes ou diretrizes nacionais específicas para sua avaliação até o momento e, assim, comprovar seu desempenho e garantir a segurança ao fogo de seus elementos e do sistema como um todo, se torna uma grande dificuldade. Já em países com tradição em sistemas construtivos de madeira e na Europa onde nasceu o produto, existem normas técnicas e diretrizes para avaliação do desempenho do sistema construtivo em CLT que têm garantido a segurança e confiança para o uso do sistema. Espera-se que este estudo contribua para a definição de diretrizes brasileiras e o desenvolvimento de normas técnicas específicas que possam melhor subsidiar aprovações e dar orientações de projeto e de execução, no que tange a segurança ao fogo do sistema construtivo.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa de mestrado sobre o tema.

REFERÊNCIAS

ABU, A.K; BUCHANAN, A. H. **Structural design for fire safety**. Second edition. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Inc., 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9442**: Materiais de construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

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

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

_____. **NBR 8660**: Ensaio de reação ao fogo em pisos — Determinação do comportamento com relação à queima utilizando uma fonte radiante de calor. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____.**NBR 15575** – Edificações habitacionais – Desempenho. ABNT: Rio de Janeiro, 2013.

_____.**NBR 16626**: Classificação da reação ao fogo de produtos de construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____.**NBR 9442**: Classificação da reação ao fogo de produtos de construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BRANDON, D.; ÖSTMAN, B. **Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings. Phase 2: Task 1 - Literature Review**. SP Technical Institute of Sweden. Borås set, 2016. BRASIL.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS EN 13823:2010+A1:2014**: Reaction to fire tests for building products - Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item. London: UK, 2010.

_____.**BS EN 16351**: Timber structures. Cross laminated timber. Requirements. London: UK, 2015.

_____.***BS EN 13986:2004 + A1:2015:*** *Wood-based panels for use in construction. Characteristics, evaluation of conformity and marking. London: UK, 2015.*

_____.***BS EN 14081-1:2016 + A12019:*** *Timber structures. Strength graded structural timber with rectangular cross section. General requirements. London: UK, 2016.*

_____.**BS EN 13501-1**: Fire classification of construction products and building elements Classification using data from reaction to fire tests. London: UK, 2018.

EUROPEAN ASSESSMENT DOCUMENTS - **EAD 130005-00-0304** Solid Wood Slab Element to be Used as a Structural Element in Buildings.mar.2015.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION. **EN 1995-1-1: Eurocode 5**: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. CEN. 2004.

FELIX, Patrícia Meira de Alcântara Costa. **Parâmetros de projeto para segurança contra o incêndio do sistema construtivo em *Cross Laminated Timber* (CLT)**. 2020.199p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020

FIGUEROA, M. J. M.; MOARES, P. D. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente construído**. Florianópolis, nov. 2009.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **ISO 11925-2**: Reaction to fire tests — Ignitability of products subjected to direct impingement of flame — Part 2: Single-flame source test. Geneva, 2010.

KLIPPEL, M.; SCHMID, J. Design of Cross-Laminated Timber in Fire. *Structural Engineering International*, Volume 27, Issue 2, pp.224-230, 2017.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) - **Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SiNAT)**. Brasília, DF. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em: abr. 2017.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto Estadual Nº 63.911 de 10/12/2018.** *Institui o Regulamento de Segurança Contra Incêndios das edificações e áreas de risco no Estado de São Paulo e dá providências correlatas,*

VALLE et al. **Estruturas de madeiras**. Apostila versão 2. Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2015.