



FELIPE SALOMÃO MACIEL RODRIGUES

**ANÁLISE DE EMENDAS EM PEÇAS DE MADEIRA PARA
ESTRUTURA DE MONTANTES EMPREGADOS EM *WOOD FRAME***

LAVRAS – MG

2019

FELIPE SALOMÃO MACIEL RODRIGUES

**ANÁLISE DE EMENDAS EM PEÇAS DE MADEIRA PARA
ESTRUTURA DE MONTANTES EMPREGADOS EM *WOOD FRAME***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

Orientador

Prof^ª. Dra. Luciana Barbosa de Abreu

Coorientadora

Prof. Dr. Natalino Calegário

Coorientador

LAVRAS – MG

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo (a) próprio(a) autor(a).

Rodrigues, Felipe Salomão Maciel.

Análise de emendas em peças de madeira para estrutura de montantes empregados em *wood frame* / Felipe Salomão Maciel Rodrigues. - 2019.

48 p. : il.

Orientador(a): José Reinaldo Moreira da Silva.

Coorientador(a): Luciana Bardosa de Abreu, Natalino
Calegário.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Sistema plataforma. 2. Sistemas construtivos em madeira. 3. Emenda em montantes. I. da Silva, José Reinaldo Moreira. II. de Abreu, Luciana Bardosa. III. Calegário, Natalino. IV. Título.

FELIPE SALOMÃO MACIEL RODRIGUES

**ANÁLISE DE EMENDAS EM PEÇAS DE MADEIRA PARA
ESTRUTURA DE MONTANTES EMPREGADOS EM *WOOD FRAME***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 12 de julho de 2019.

Dr.^a. Luciana Barbosa de Abreu UFLA

Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho UFRRJ

Dr. José Tarcísio Lima UFLA

Dr. André Luiz Zangiácomo UFLA

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

Orientador

LAVRAS – MG

2019

*À minha mãe Marli Maciel pelo apoio e carinho em todas as etapas e por ser
o meu maior exemplo de vida.
Ao meu irmão Marcos Daniel pelo exemplo de dignidade, perseverança e justiça.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao Grande Arquiteto do Universo, por estar sempre ao meu lado e iluminando meus passos.

À minha mãe Marli e ao meu pai José, por todo amor, ensinamento e dedicação, que me fizeram chegar até aqui. Ao meu irmão, Daniel, pelo amor, pelas orações e por todo apoio. Ao meu amado sobrinho Samuel por revigorar minha vontade de seguir a diante. Aos fiéis companheiros Chuchu, Mel e Pretinha.

À minha querida namorada Leslie Rose por todo o incentivo e orações.

À memória da minha avó Francisca Maciel por todo amor a mim dedicado.

À memória do meu tio Manuel Menezes, responsável por despertar em mim o interesse pelo conhecimento.

Ao querido tio Paulo Maciel.

À toda equipe e amigos da CTM, que tornaram o caminho mais leve.

Ao professor e orientador, José Reinaldo Moreira da Silva, pela orientação, por todo ensinamento, paciência e dedicação.

À Universidade Federal de Lavras, pela infraestrutura e oportunidade de cursar o mestrado. À entidade de fomento CAPES e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira e a todos que ajudaram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

Resumo

No Brasil, a construção civil é uma atividade econômica relevante e contribui na geração de milhares de empregos diretos e indiretos. Contudo, ainda utiliza técnicas construtivas pouco eficientes por fazer uso de materiais onerosos, não renováveis, poluentes e de difícil reaproveitamento ou reciclagem. Construções em madeira, especificamente em *Wood Frame*, podem configurar solução viável econômica e ecologicamente adequada. Isto se deve ao fato de utilizar material renovável e produzir menos resíduo que o sistema convencional de concreto armado com vedações em alvenaria. O sistema *Wood Frame* exige a utilização de montantes verticais compostos por peças de madeira sem emendas. O objetivo foi analisar o desempenho de peças de madeira de pequenas dimensões com emendas de topo na confecção de montantes verticais, para uso em estruturas de *Wood Frame*. A utilização de emendas pretende tornar a produção de *Wood Frame* mais econômica e melhor adequada ecologicamente por fazer uso de material de menor valor agregado. Foram confeccionados, em escala reduzida, protótipos de montantes verticais isolados, com três tipos de emendas de topo (macho fêmea, em “V” e com talas laterais) e também sem emendas (testemunha). A compressão axial foi realizada em máquina universal de ensaios mecânicos, conforme NBR 7190 (ABNT,1997). As emendas com talas laterais apresentaram resultados superiores às demais emendas e assim foram confeccionados os painéis estruturais *Wood Frame* com montantes verticais sem emendas (testemunha) e com talas laterais (emendas). Em ambos os casos utilizou-se painéis de fechamento, todos em escala reduzida, que foram submetidos aos ensaios de compressão axial. Os valores médios da força máxima para os painéis estruturais *Wood Frame* sem emendas e com talas laterais foram de 16,02 kN e 13,74kN, respectivamente, mostrando-se estatisticamente iguais, a 5% de significância. Concluiu-se que é possível construir montantes verticais com emendas de topo com talas laterais sem comprometer a estabilidade estrutural e permitindo a utilização de peças de menores dimensões.

Palavras-chave: Sistema plataforma; Emenda em montantes; Sistemas construtivos em madeira; Ossatura.

ABSTRACT

In Brazil, civil construction is a relevant economic activity and contributes to the generation of thousands of direct and indirect jobs. However, it still uses inefficient construction techniques for making use of costly, non-renewable, polluting and difficult to reuse or recycle materials. Wood constructions, specifically in Wood Frame, can be a cost effective and environmentally friendly solution. This is because it uses renewable material and produces less waste than the conventional reinforced concrete system with masonry fences. The Wood Frame system requires the use of vertical mullions composed of seamless wood pieces. The objective was to analyze the performance of small wood pieces with top seams in the making of vertical mullions for use in wood frame structures. The use of splices aims to make Wood Frame production more economical and better ecologically suited by making use of lower value added material. Small vertical prototypes were made in small scale, with three types of top splices (female, “V” male and with side splints) and also without splices (control). Axial compression was performed in a universal mechanical testing machine, according to NBR 7190 (ABNT, 1997). The splices with lateral splints presented better results than the other splices and thus were made the Wood Frame structural panels with vertical mullions without splices (control) and with lateral splints (splices). In both cases, small-scale closure panels were used and submitted to axial compression tests. The mean maximum strength values for the seamless and side splice Wood Frame structural panels were 16.02 kN and 13.74 kN, respectively, and statistically equal at 5% significance. It was concluded that it is possible to construct vertical mullions with top splints with side splints without compromising structural stability and allowing the use of smaller pieces.

Keywords: Wood Frame; Amend in Amounts; Construction; Wood building systems; Bone.

SUMÁRIO

1	Introdução	9
2	Objetivo.....	10
3	Referencial teórico	10
3.1	A madeira na construção civil.....	10
3.2	Sistemas construtivos em madeira	11
3.2.1	Construções com madeira roliça	11
3.2.2	Construção sistema enxaimel.....	12
3.2.3	Construção sistema viga-pilar e sistema mata-junta	13
3.2.4	Sistema MLC - Madeira laminada colada.....	14
3.2.5	Sistema CLT - <i>Cross Laminated Timber</i>	15
3.2.6	Sistema <i>Wood Frame</i>	16
3.3	Emendas em estruturas.....	25
3.3.1	Rigidez das ligações	26
3.3.2	Fatores que afetam a resistência das emendas em madeira.....	27
3.3.3	Geometria das emendas de topo em madeira	28
3.3.4	Processo de usinagem.....	28
3.3.5	Tipos de emendas em madeira	28
3.3.6	Desempenho das emendas em madeira.....	29
3.3.7	Emendas de peças comprimidas axialmente	30
3.3.8	Flambagem por flexão.....	31
4	Material e métodos	32
4.1	Origem e especificação do material	32
4.2	Material	32
4.3	Ensaio de performance das emendas.....	33
4.4	Confecção dos montantes.....	34
4.5	Ensaio dos montantes à compressão axial	37
5	Resultados e discussão	38
5.1	Performance das emendas	38
5.2	Ensaio dos painéis estruturais <i>Wood Frame</i>	40
6	Conclusões	41
7	Recomendações.....	42
8	Referências bibliográficas	43

1 Introdução

Frente aos desafios apresentados para o uso racional do ambiente e para redução de custos na produção de habitações, as construções em madeira se apresentam como solução adequada. Pode-se destacar, em especial, o sistema *Wood Frame*, cuja melhor adequação se deve a dois fatores principais, o material e a técnica construtiva.

Nas diferentes construções habitacionais é observado o uso do concreto armado, do aço, da pedra e da madeira. Construções em madeira utilizam material renovável e que apresenta menores custos energéticos para sua produção. Além disto, elas são menos poluentes e em caso de demolições o material pode ser reaproveitado ou reciclado.

Dentre as diversas técnicas de construção em madeira, como a construção com toras - *LogHome*, sistemas viga-pilar, sistema enxaimel, entre outros, o sistema *Wood Frame* permite composições com outros materiais sem descaracterizá-la. Também permite o uso de peças de dimensões reduzidas. Este fato é devido à possibilidade de industrialização do processo produtivo, cabendo às equipes de campo apenas a montagem dos kits produzidos na indústria.

Todos os processos são passíveis de melhorias. No sistema *Wood Frame* uma questão ainda pouco explorada é o uso de montantes verticais com peças de madeiras emendadas. Atualmente, estes montantes são constituídos de peças de madeira sem defeitos, como indicado pela NBR 7190 (ABNT, 1997) e outras normas de diversos países. Elas determinam o uso de peças de madeira sem nós, sem rachaduras e que não tenham sofrido ataque de agentes xilófagos, pois, nestes casos, suas características mecânicas podem apresentar desempenho inferiores. No processo de emenda de peças de madeiras dos montantes é possível descartar as partes com defeito e utilizar o restante do material para confecção dos montantes. Contudo, o uso de peças com emendas não devem causar interferência negativa na no seu desempenho estrutural. Dessa forma, o processo poderá avançar na direção da eficiência ambiental e econômica, uma vez que a construção de montantes verticais será possível por meio de emendas de peças de madeiras de pequenas dimensões, obtendo montantes maiores e sem defeitos.

2 Objetivo

O objetivo foi analisar o desempenho estrutural do uso de peças de madeira de pequenas dimensões, com emendas de topo, na confecção de montantes verticais para estruturas de *Wood Frame*.

3 Referencial teórico

3.1 A madeira na construção civil

De acordo com Pfeil e Pfeil (1977), madeira é provavelmente o material de construção mais antigo já utilizado, devido a sua disponibilidade e relativa facilidade de manuseio. Apresenta bom isolamento térmico, ampla utilidade para diversos fins e ótima relação resistência / massa. Em contrapartida, por se tratar de um material natural está sujeito a defeitos de crescimento, além de ser suscetível à degradação biológica. Estas desvantagens podem ser superadas por meio de tratamentos químicos e detalhes construtivos adequados, resultando em estruturas duráveis e com bom aspecto estético.

De acordo com Calil Junior et al. (2003), a criação da NBR 7190 (1997) que regulamentasse o uso da madeira na construção foi fator de incentivo ao emprego deste material para fins estruturais. Este fato constituiu importante passo para a inclusão da madeira nos mesmos critérios de dimensionamento para as estruturas de concreto armado e metálicas. Segundo Souza (2012), materiais como o aço e o cimento são amplamente utilizados na construção civil e no Brasil o conjunto concreto armado figura como o sistema construtivo mais utilizado. Contudo, a madeira sempre esteve presente nas construções, principalmente como portas, janelas, pisos e coberturas. A madeira foi muito utilizada como material coadjuvante na construção, com exceção de telhados e coberturas. Ela é empregada na confecção de formas para concreto, andaimes e escoramentos. Como elemento principal, em estruturas e vedações, seu uso é ainda irrisório no país.

Há de se notar que, excetuando-se a Região Sul do Brasil, formou-se forte preconceito quanto a casas de madeira. Este fato foi provavelmente pela dúvida de sua longevidade, sua solidez e também sua resistência a organismos xilófagos. Um dos grandes desafios é vencer o preconceito, demonstrando que é possível adotar medidas para preservar as construções em madeira, frente ao intenso regime de chuva e à variação da temperatura em algumas regiões. A ciência e tecnologia da madeira têm muitas soluções que visam à preservação da madeira de forma a viabilizar o uso de painéis em construções de moradias (ABREU, 2015).

Dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2019) indicam a área de 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas de eucalipto, pinus e demais espécies (acácia, araucária, paricá e teca), para os seguintes segmentos: 35% celulose e papel, 13% siderurgia e carvão vegetal, 6% painéis de madeira e pisos laminados, 9% investidores financeiros, 30% produtores independentes, 4% produtos sólidos de madeira e 3% outros

3.2 Sistemas construtivos em madeira

3.2.1 Construções com madeira roliça

A utilização de peças roliças e *Log Home* (FIGURA 1) de madeira de reflorestamento como material para a construção civil apresenta inúmeras vantagens, por mais que ainda persista equivocada ideia de que a madeira tenha pequena vida útil (IWAKIRI, 2013).

Figura 1 - Construções habitacionais com toras de madeira, tipo *Log home*



Fonte - www.madeirasstatus.com.br 2019

A resistência da madeira roliça, a baixa massa, o baixo consumo energético para processamento, a sua disponibilidade e o seu fácil manuseio fazem com que ela se torne um material altamente competitivo, com custos reduzidos e de maneira sustentável. Sua baixa massa traz alívio às estruturas de fundações assim como sua relação massa versus resistência faz com que as estruturas sejam mais esbeltas. Ela é capaz de suportar sobrecargas de curta duração sem efeitos nocivos. Para a execução da estrutura com madeira roliça torna-se desnecessário o emprego de mão-de-obra altamente especializada e a execução de sua construção torna-se efetivamente rápida (CALIL, 2010).

3.2.2 Construção sistema enxaimel

No final da Idade Média, o sistema enxaimel de construções habitacionais (FIGURA 2) foi muito utilizado na Europa. Este sistema consiste em entramado de peças estruturais de madeira, preenchido com alguns tipos de materiais, como o saibro, os tijolos de barro ou as pedras (VELLOSO, 2010).

Figura 2 - Sistemas enxaimel de construções habitacionais



Fonte: Imhof (2009).

Em meados do Século XVI, o método enxaimel de peças longas, que utiliza pilares que vão do piso inferior até a cobertura, foi substituído pelo enxaimel de peças curtas, cujos pilares são interrompidos a cada pavimento, por vigas intermediárias que formam a estrutura horizontal de piso, servindo de plataforma para a montagem do pavimento seguinte. Este novo método possibilitou a construção de edificações com 5 ou até 6 pavimentos (CTBA, 1995). O método enxaimel é também conhecido por *fachwerk*, na Alemanha e por *colombage*, na França. O termo em inglês para designar este método construtivo é *half-timbered*. No Brasil, é encontrado em regiões de colonização alemã, principalmente no estado de Santa Catarina. Atualmente o sistema enxaimel não configura um sistema construtivo comercialmente utilizado, sendo solução apenas temática para construções com fins específicos (VELLOSO, 2010).

3.2.3 Construção sistema viga-pilar e sistema mata-junta

O sistema viga-pilar e o sistema mata-junta constituem sistemas ditos pré-fabricados. O sistema viga-pilar (FIGURA 3) conta com vedação em tábuas horizontais encaixadas em pilares de seção “H” (FIGURA 4). O sistema mata-junta (FIGURA 5) tem as tábuas dispostas lado a lado no sentido vertical, também sendo considerado como sistema nervurado ou entramado. Tábuas pregadas à estrutura principal de peças de pequena seção transversal funcionam não somente como fechamento mas, agem solidariamente compondo o sistema estrutural do conjunto (SILVA e INO, 2008).

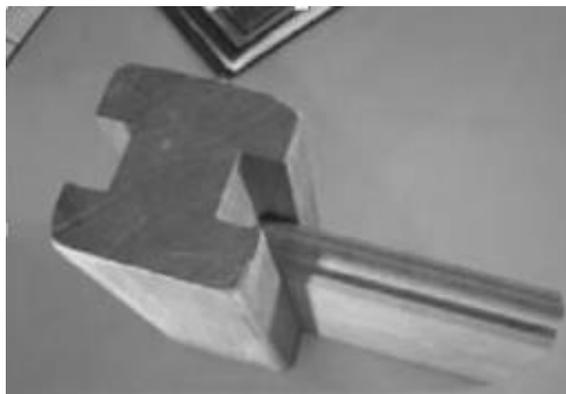
Os sistemas viga-pilar e mata-junta são utilizados como alternativa para produção da habitação no Brasil, principalmente na região sul do país.

Figura 3 - Sistema viga pilar para construções de habitações



Fonte: www.construindoedecorando.com.br (2019).

Figura 4 - Seção “H” para união entre pilares e fechamentos



Fonte: Terezo e Velloso (2006).

Figura 5 - Construção com aplicação do sistema mata-junta



Fonte: www.construindoedecorando.com.br (2019).

3.2.4 Sistema MLC - Madeira laminada colada

Elementos de madeira laminada colada (MLC) são formados por peças de madeira obtidas com lâminas de determinada seção, solidarizadas entre si sob pressão, com o emprego de adesivos. A MLC tem seus usos mais frequentes em estruturas de cobertura, elementos estruturais principais para pontes, torres de transmissão, edifícios, embarcações, banzos de escadas e corrimão, equipamentos decorativos planos ou em relevos, esquadrias e móveis. Isto se deve ao fato da MLC adaptar-se a uma significativa variedade de formas e apresentar alta resistência a solicitações mecânicas, em função de seu peso próprio relativamente baixo (ZANGIÁCOMO, 2003).

A técnica de laminar peças de madeira com pequenas dimensões para se obter elementos estruturais mais avantajados teve origem na Alemanha, no final do século XIX, quando Hetzer obteve a primeira patente deste processo de produção. No entanto, o Sistema Hetzer, como passou a ser conhecido, ganhou evidência apenas a partir de 1913, quando se expandiu o emprego da MLC na construção de estruturas de coberturas de fábricas e escolas, bem como na montagem de pontes (ZANGIÁCOMO, 2003). No Brasil, a primeira indústria de MLC, foi fundada em 1934, em Curitiba-PR, com tecnologia trazida por alemães. A Figura 6 é um exemplo de construção com MLC atual.

Figura 6 - Construção de *Shopping Center* com MLC, no Brasil



Fonte: www.baladain.com.br (2019).

3.2.5 Sistema CLT - *Cross Laminated Timber*

Painéis de *Cross Laminated Timber* - CLT são pré-fabricados e constituídos por madeira engenheirada. Podem ser empregados como lajes de piso ou de cobertura e vedações internas ou externas, com ou sem função estrutural. CLT, em português madeira lamelada colada cruzada, são compostos por camadas de madeira maciça coladas de maneira perpendicular entre si. Desenvolvidos, inicialmente, na década de 1990 no continente europeu, começaram a ser fabricados no Brasil há cerca de sete anos. Durante esse período, foram construídas no país mais de 30 edificações, dentre as quais a maioria consiste em residências unifamiliares (OLIVEIRA, 2018).

De acordo com Crespell e Gagnon (2010), a tecnologia CLT começou a ser desenvolvida inicialmente na Suíça, nas cidades de Zurique e Lausanne, durante o início da década de 1990. Porém, o CLT é resultado do projeto de pesquisa iniciado em 1990 na Áustria e proveniente de parceria entre a indústria e a universidade. Conforme apontam Brandner et al. (2016), já em 1994, Schickhofer publicou sua tese sobre estruturas compostas lameladas rígidas ou flexíveis, com foco no CLT. O autor citou também outros trabalhos publicados nesta mesma década. Paralelamente, as primeiras indústrias foram instaladas na Europa Central, em especial na Áustria, Suíça e Alemanha. Estas indústrias, a princípio em pequena escala e nos últimos dez anos em escala industrial.

O uso do CLT está consolidado na Europa e 63 % da produção, no continente europeu, concentra-se na Áustria (PASSARELLI, 2013). Esse fato foi corroborado por Ebner (2017), que fez o levantamento dos principais fabricantes de CLT do mundo, em 2016 e afirmou que os cinco maiores localizavam-se na Áustria, com volume estimado de 463.000 m³. Estima-se, ainda, que até o ano de 2020 a produção mundial atingirá volume superior a 1,2 milhões de

m³. Brandner et al. (2016) também apontaram a expectativa de significativo aumento no volume produzido de CLT na próxima década, particularmente em países como Canadá, Estados Unidos e Japão. Este fato foi com vistas ao crescente interesse e importância do CLT para arquitetos, engenheiros e outros agentes do setor da construção civil. Consequentemente, os autores recomendaram o estabelecimento de normativas internacionais, de modo a fortalecer o uso desta tecnologia. A Figura 7 é exemplo de construção atual com CLT no Canadá.

Figura 7 - Construção em CLT - Edifício *Brock Commons*



Fonte: www.vancouver.housing.ubc.ca (2019).

3.2.6 Sistema *Wood Frame*

3.2.6.1 Origem do sistema *Wood Frame*

A partir do século XIX, o sistema construtivo tipo enxaimel evoluiu devido a necessidade de maior racionalização na utilização da madeira. Este fato ocorreu diante da redução das superfícies arborizadas da América do Norte e da Europa e ao desenvolvimento industrial, este especialmente nos Estados Unidos. O desenvolvimento industrial contribuiu com a produção de serras mecânicas, que tornaram possível a redução da seção das peças e sua padronização e com a fabricação de pregos em usinas, os quais, até então, eram feitos manualmente e a preços elevados. Estes fatores possibilitaram maior leveza às ligações e rapidez na execução, além de tornar possível a pré-fabricação de elementos estruturais em madeira (CTBA, 1995). Também o preenchimento dos vãos da ossatura das paredes, que antes era feito com diferentes materiais, foi substituído por tábuas pregadas interna e externamente às paredes, completando a rigidez da estrutura. No princípio da década de 50 do século XX, as tábuas foram substituídas pelos então surgidos painéis derivados de madeira, também acompanhados de melhorias nas ligações e nas instalações (CTBA, 1995). O vão

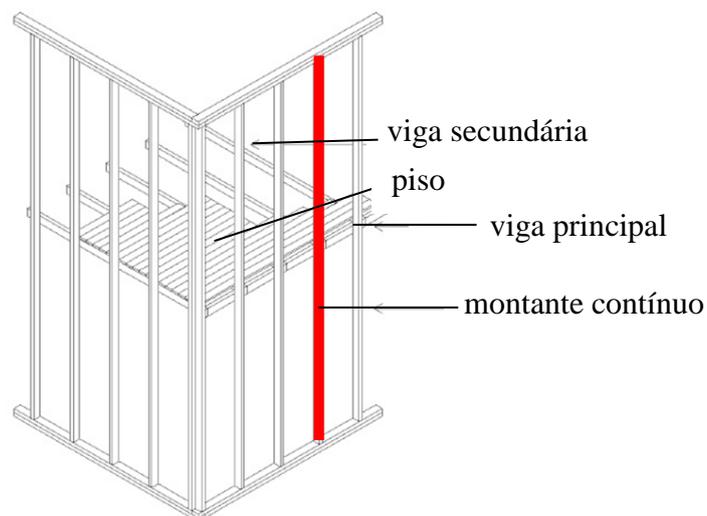
entre o fechamento interno e o externo, além de facilitar a execução das instalações elétricas e sanitárias, pode ser preenchido com material isolante térmico, quando necessário. Assim, do enxaimel de peças curtas surgiu o sistema *Wood Frame*. Segundo Szücs (1992), tanto os sistemas nervurados - sistema balão e plataforma - como os hierarquizados, ou viga-pilar, são derivados do enxaimel. São soluções diferentes, mas baseadas no mesmo princípio da separação entre estrutura e fechamento (KRAMBECK, 2006).

Segundo Götz (1987), nas construções nervuradas as partes portantes são compostas de peças de madeira de pequenas dimensões, em geral seção transversal de 5 x 10 cm, dispostas a cada 60 cm e com ligações pregadas. Os montantes das paredes recebem revestimento em um ou em ambos os lados, contribuindo na transmissão das cargas.

De acordo com Szücs (1992), os sistemas nervurados são caracterizados por um conjunto estrutural integrado, constituído de numerosos elementos de pequena seção, formando as paredes, os pisos e o telhado. Em comparação com os sistemas hierarquizados (viga-pilar), a construção é mais rápida, mas necessita de maior quantidade de material. As paredes, os pisos e os forros contribuem com o contraventamento (SZÜCS, 1992).

Götz (1987) citou como sistemas nervurados o sistema Balão e o *Wood Frame*. No Balão os montantes das paredes são contínuos de um pavimento a outro. Aos montantes são fixados elementos horizontais principais, sobre os quais se apoiam as vigas secundárias, como mostra a (FIGURA 8).

Figura 8 - Sistema balão (montantes contínuos)

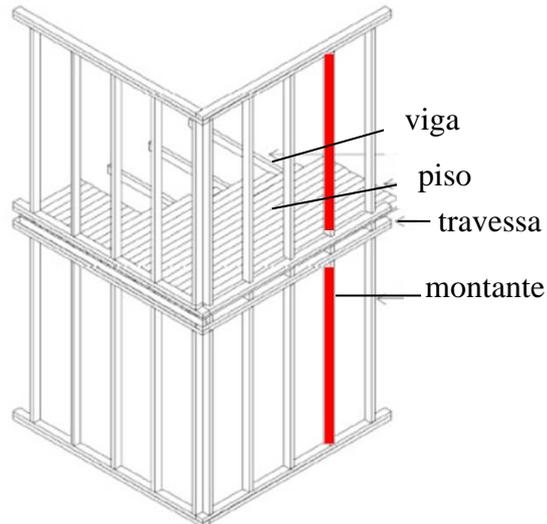


Fonte: Adaptado de Krambeck (2006).

No sistema *Wood Frame*, os montantes das paredes apresentam a altura de um pavimento. Sobre estes componentes é apoiada uma travessa de amarração e, assim, as paredes funcionam como vigas principais, que suportam as vigas secundárias. Estas recebem

o revestimento, sobre o qual é executado o próximo pavimento (GÖTZ, 1987), como mostra a (FIGURA 9).

Figura 9 - Sistema *Wood Frame* (montantes entre pavimentos)

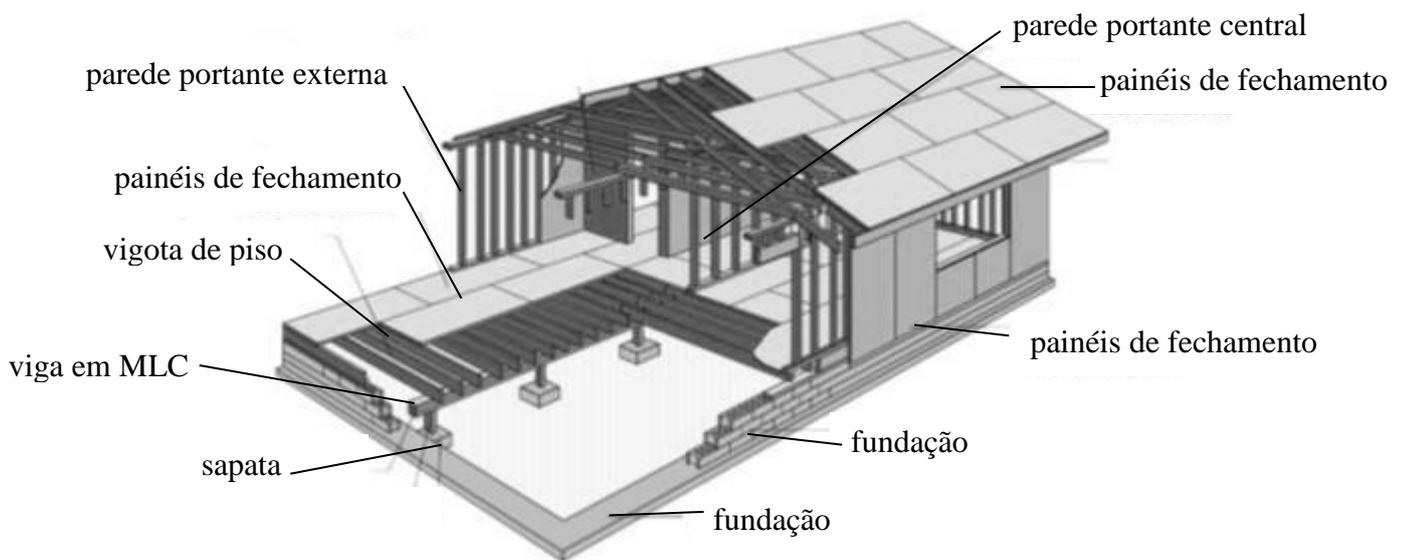


Fonte: Adaptado de Krambeck (2006).

3.2.6.2 Elementos de construção em *Wood Frame*

A Figura 10 apresenta o esquema construtivo de elementos estruturais e de vedação no sistema *Wood Frame*.

Figura 10 - Elementos de uma construção em *Wood Frame*



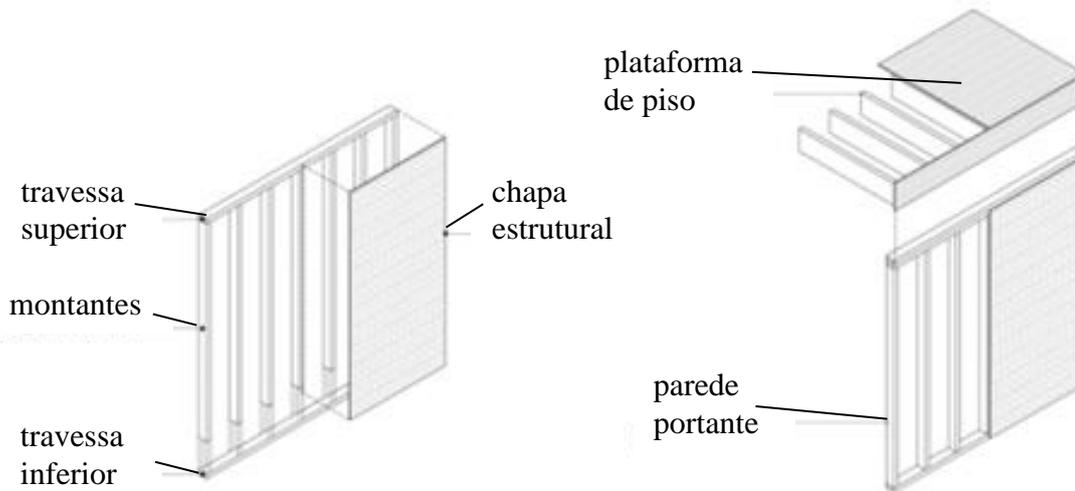
Fonte: Adaptado de APA (1997).

Sanchez (1995) relacionou algumas características do sistema *Wood Frame* que o diferencia dos sistemas construtivos tradicionais em madeira, sendo que os componentes construtivos podem ser padronizados e normalizados. Este fato favorece a pré-fabricação, a intercambialidade e a coordenação modular, que contribui para a racionalização do processo construtivo. O mesmo autor define as principais características deste sistema.

- Apresenta elevado grau de flexibilidade no projeto inicial e, ou modificações futuras quando necessárias;
- Agiliza o tempo de execução da obra, em função do grau de industrialização que pode ser alcançado;
- Racionaliza a mão-de-obra nas etapas de montagem em que cada subsistema pode ser executado por equipes especializadas em momentos distintos da obra;
- Simplifica a construção, considerando que as ligações entre componentes e entre elementos são simples. Assim não são exigidas juntas e, ou encaixes especiais, o que facilita a montagem;
- Facilita a execução de isolamento térmico e ou acústico da edificação. Este fato é devido a que cavidades entre a ossatura favorecem a passagem de instalações elétricas e hidráulicas e com posterior preenchimento com materiais isolantes.

3.2.6.3 Funcionamento estrutural do sistema *Wood Frame*

As paredes portantes e plataformas de piso são painéis estruturados que atuam como paredes diafragmas e diafragmas de piso, respectivamente (FIGURA 11). Os montantes que compõem os painéis estruturais *Wood Frame* de parede suportam as solicitações verticais dos pisos e da cobertura. Eles são responsáveis pela rigidez transversal dos painéis estruturados. Os quadros são fixados aos montantes, por meio de pregos criteriosamente espaçados e fazem o fechamento. Eles também evitam a flambagem dos elementos estruturais (SANTOS, 2005).

Figura 11 - Funcionamento estrutural *Wood Frame*

Fonte: Adaptado de Krambeck (2006).

O sistema *Wood Frame* revela grande estabilidade e rigidez, resistindo de forma eficaz a ação de solicitações horizontais, como, por exemplo, a ação do vento. Segundo Santos (2005), a pressão resultante da ação do vento age na superfície do painel de fechamento e é distribuída para os montantes correspondentes nos painéis estruturados. Assim, as reações horizontais necessárias para equilibrar os montantes configuram-se em cargas aplicadas nos diafragmas horizontais de piso. As reações que devem equilibrar o piso provêm dos diafragmas verticais – os painéis estruturados de parede ou *shearwalls* – que transmitem as cargas às fundações. Os painéis de parede estão também sujeitos à ação de forças verticais. Estas forças compreendem as cargas permanentes, como o próprio peso dos elementos e as sobrecargas de utilização (IWAKIRI, 2013).

As cargas verticais incidentes na cobertura e ou nas lajes são descarregadas nos painéis de parede, por meio das vigotas e dos caibros que se apoiam perpendicularmente sobre as travessas superiores dos painéis. No caso de paredes paralelas à disposição das vigotas ou dos caibros, elas podem receber o carregamento relativo ao peso próprio da parede que esteja situada logo acima, na existência de pavimentos superiores (IWAKIRI, 2013). O manual norte-americano *Wood Frame Construction Manual* (AF&PA; AWC, 2001) restringe a altura de paredes portantes a 300 cm e de paredes não-portantes a 600 cm. Os montantes que configuram a ossatura dos painéis de parede devem ser adequadamente dimensionados e espaçados de modo a conferir rigidez transversal aos elementos gerados (SANTOS, 2005). Segundo CMHC (1998), geralmente são empregados montantes com seções de 2” x 4”, 2” x 5” e 2” x 6”, com espaçamentos que variam de 300 a 600 mm entre eixos, dependendo da carga e das restrições impostas pelo tipo e pela espessura do painel de fechamento adotado.

Na Tabela 1 encontra-se a relação entre as seções dos montantes e do seu espaçamento com as cargas impostas na edificação (*International Residential Code - IRC, 2003*). Cabe ressaltar que as peças em milímetros tem equivalência comercial em polegadas e não conversão entre unidades métricas.

Tabela 1 – Cargas suportadas, espaçamentos e seções dos montantes para dimensionamento de paredes portantes

Número de pavimentos	Características dos montantes		
	Espaçamento	Seção transversal	Altura
Apenas a cobertura	600 mm	38 x 89 mm	3000 mm
	24"	2" x 4"	10'
Cobertura e um pavimento	400 mm	38 x 89 mm	3000 mm
	16"	2" x 4"	
		64 x 89 mm	
		3" x 4"	
	600 mm	38 x 120 mm	
	24"	2" x 5"	
	38 x 140 mm		
		2" x 6"	
Cobertura e dois pavimentos	400 mm	64 x 89 mm	3000 mm
	16"	3" x 4"	10'
		38 x 140 mm	
		2" x 6"	

Fonte: Adaptado de International Residential Code (2003).

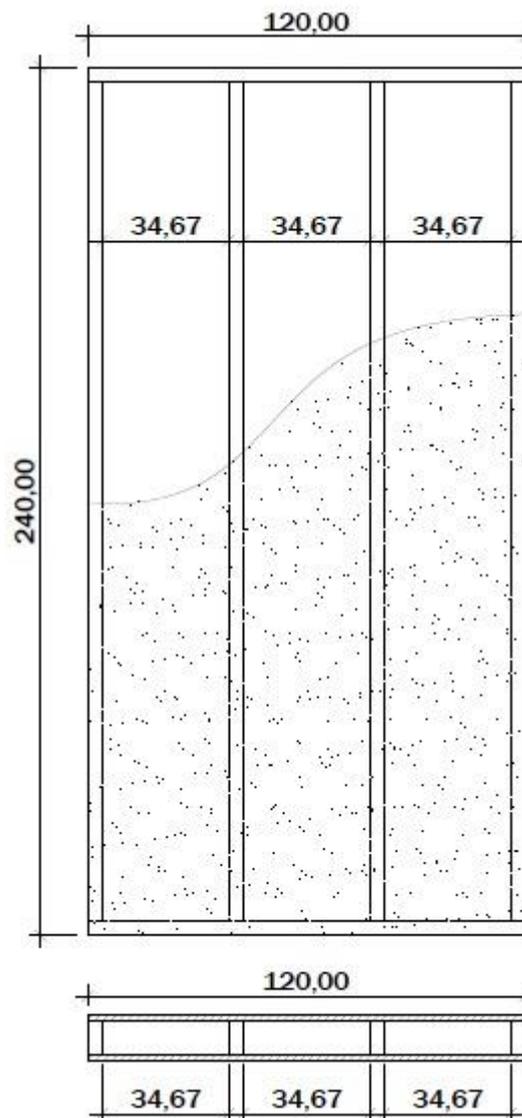
Quando há coincidência de modulação entre vigotas de piso, caibros e montantes, as travessas superior e inferior ficam sujeitas a compressão normal às fibras, nos pontos de apoio. Porém, quando os componentes de piso e cobertura não se alinham com os montantes das paredes, as travessas superiores ficam submetidas também a esforço de flexão simples (DIAS, 2005). Nos painéis com aberturas que recebem carregamento vertical proveniente de estrutura de entrepiso ou de cobertura, as vergas das janelas e das portas devem ser dimensionadas como vigas bi apoiadas submetidas a flexão simples. Quanto maior o vão de abertura da porta ou da janela, mais robusta deverá ser a verga. Para resistir à ação de forças horizontais, as paredes estruturais, que recebem as solicitações no próprio plano (laterais) devem ser capazes de oferecer resistência e rigidez, conferindo estabilidade lateral a

edificação (IWAKIRI, 2013). As cargas são transmitidas das paredes para as fundações e das fundações para o solo.

3.2.6.4 Parede do sistema *Wood Frame*

A estrutura do *Wood Frame* (FIGURA 12) é composta basicamente por painéis confeccionados a partir de madeira maciça e painéis de fechamento. Estes painéis possuem a função de contraventamento e também de base para os revestimentos externo e interno. Além disso, a estrutura deve receber materiais de isolamento térmico e acústico entre os vãos dos componentes da estrutura (IWAKIRI, 2013).

Figura 12 - Painéis estruturais *Wood Frame* com montantes verticais e travessas



Fonte: Do autor (2019).

A espessura mínima do painel de fechamento é determinada em função do espaçamento adotado entre montantes. Além do espaçamento máximo admitido entre montantes, deve-se considerar também, no caso de paredes externas, o material de revestimento aplicado sobre as chapas para determinar sua espessura mínima (IWAKIRI, 2013), conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Espaçamento montantes

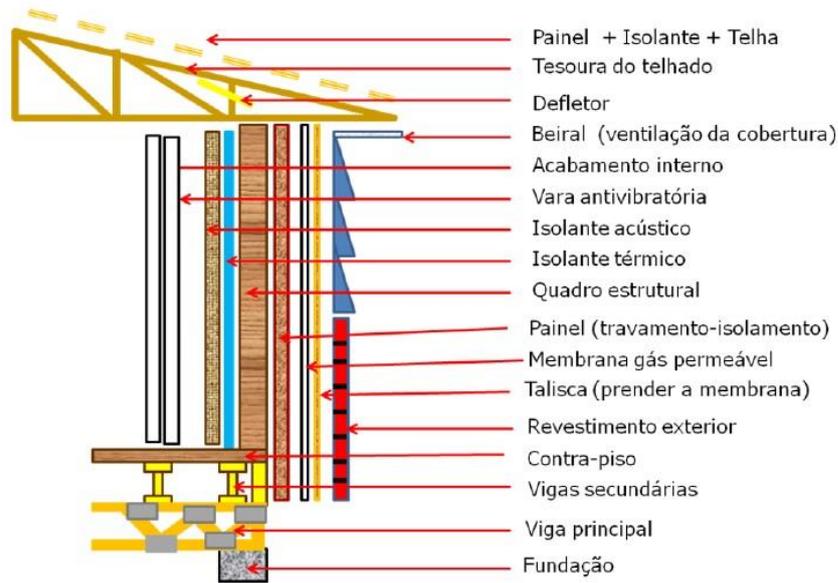
Descrição do revestimento externo	Espaçamento máximo entre montantes (mm)	Espessura mínima das chapas de OSB (mm)
<i>Siding</i> * fixado na estrutura da parede	400	6
	600	7,5
<i>Siding</i> fixado ao OSB ou compensado	600	7,5
Chapa cimentícia aplicada ao OSB ou compensado	600	9,5
Revestimento de madeira ou argamassa aplicados ao OSB ou compensado	600	12,5

* revestimento externo em metal ou plástico

Fonte: Structural Board Association (SBA), 1998.

Os revestimentos das paredes do sistema *Wood Frame*, tanto interno ou externo, devem ser definidos pela estética, tipo de ambiente, demanda. Também se assume como função do revestimento as necessidades de melhoria das condições de isolamento térmico e acústico. Na Figura 13 encontra-se o esquema de uma casa padrão com acabamentos internos e externos.

Figura 13 - Parede *Wood Frame* (revestimentos)



Fonte: ACOSTA et al, 2015.

3.2.6.5 Normas para construções com sistema *Wood Frame*

O sistema de construção de casas de madeira em *Wood Frame* tem sido pesquisado nos EUA desde 1910. Nessa época, alguns documentos foram publicados pelo *FOREST PRODUCTS LABORATORY – FPL* para orientar proprietários de imóveis e também os construtores interessados na utilização deste sistema. Porém, com a necessidade de reunir documentos, o *FPL*, publicou em 1955 o primeiro manual completo de construção. Trata-se do *Wood Frame House Construction (Hand-book)*, nº 73, com edição revisada em 1989. Este manual rapidamente se popularizou entre instituições educacionais, profissionais da construção madeireira e também outros interessados no assunto. Nele, encontram-se os princípios para a construção de casas de madeira em *Wood Frame* com procedimento de construção, passo a passo, desde a sua concepção até a estrutura completa. Além disto, existem sugestões para selecionar os melhores materiais para a construção.

O dimensionamento de painéis estruturais em *Wood Frame* pode ser feito a partir dos critérios estabelecidos pela norma americana *WFCM 2001* e também pelas normas europeias *DIN 1052 (1998)* e *EUROCODE 5 Parte 2 (1997)*. Todas elas consideram as diversidades climáticas e sísmicas de cada região. De forma simplificada, o dimensionamento dessas estruturas considera que as paredes e pisos têm comportamentos de painéis, recebendo cargas tanto na face principal quanto perpendicular à mesma. Para o dimensionamento das peças estruturais individuais de madeira pode-se utilizar os critérios estabelecidos pela norma

brasileira de madeiras NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1997). Calil Junior, Lahr e Dias (2003) também apresentam algumas recomendações para o dimensionamento de elementos estruturais de madeira. A norma americana LOAD AND RESISTENCE FACTOR DESIGN - *LRFD* contém os fatores de ajustes, dimensões, valores de resistência e outras referências requeridas para o projeto estrutural dos painéis (*LRFD*, 1996).

Em maio de 2018, foi apresentado o 1º projeto 02.126.011-001/2 pela Comissão de Estudo de Sistemas Construtivos *Wood Frame* (CE-002:126.011) do Comitê Brasileiro da Construção Civil que visa elaborar a Norma Brasileira para construções em *Wood Frame*. Este fato representa avanço na criação de parâmetros para execução do processo construtivo no Brasil.

3.3 Emendas em estruturas

Em habitações, a execução das estruturas de madeira requer peças maciças com grandes comprimentos. Estas peças possuem dificuldades de aquisição, podendo ser dimensionais, financeiras ou de qualidade (isentas de defeitos). A viabilidade dessas estruturas se dá pela confecção de emendas compatíveis com as solicitações mecânicas, oferecendo resistência, durabilidade e segurança. As emendas constituem-se no ponto crítico das estruturas de madeira, demandando estudos experimentais que avaliem o seu real comportamento. A normatização brasileira para construções de madeira aborda as ligações por meio de pinos metálicos, ligações coladas, cavilhas ou conectores. Os pinos metálicos são constituídos por pregos e parafusos, enquanto conectores podem ser anéis metálicos ou chapas metálicas com dentes estampados (OLIVEIRA E DIAS, 2005).

As conexões desempenham papel decisivo no projeto em madeira. Elas são mais relevantes que aquelas presentes na construção em concreto e mais complexas que nas construções em aço. Este fato é devido a natureza anisotrópica da resistência e rigidez do material. Construções de elementos de madeira consistem da montagem de partes simples, colunas, vigas, caibros ligadas por elementos de concepção também simples como pregos e parafusos (AICHER, 2001; MOREIRA, 1991).

Existem dois grupos principais de ligações. O primeiro trata das ligações com conectores mecânicos e o segundo de ligações coladas. Pregos, espigas, pinos, grampos, rebites, parafusos diversos, conectores simples ou múltiplos de união (anéis, pratos) e chapas, podendo ser metálicos ou de outro material, com propriedades mecânicas superiores à

madeira são considerados conectores mecânicos pelo Forest Laboratory Products – *FLP* (1999). O mesmo destaca a facilidade com que os elementos estruturais de madeira podem ser conectados. Todavia, para maior rigidez, resistência e desempenho em serviço, cada tipo requer projeto adaptado às propriedades de resistência da madeira – paralela e perpendicularmente às fibras – e às transformações dimensionais decorrentes da alteração de umidade.

Calil Júnior, Lahr e Dias (2003) distinguiram as ligações em duas vertentes: por encaixe ou entalhes. Em ambos os casos, existe a transmissão dos esforços por contato direto entre as peças de madeira. Além disto, deve-se ter a utilização de elementos externos para promover a ligação, pela adesão ou por meio de dispositivos de madeira ou metálicos. Nos casos de ligação por embutimento, os elementos de ligação transmitem as forças de uma peça à outra em pequena área, ocasionando convergência de tensões no local.

3.3.1 Rigidez das ligações

A Norma NBR 7190 (ABNT, 1997) faz considerações diferenciadas em relação à quantidade de elementos de ligação quanto à rigidez. Considera que a existência de apenas dois ou três elementos leva a ligação deformável e, portanto sua aplicação somente poderá acontecer em estruturas isostáticas. No cálculo de esforços considera-se que as ligações sejam rígidas, porém admite-se uma contra-flecha compensatória igual a um valor mínimo de 1/100 do vão teórico da estrutura analisada. De outro lado, ligações com 4 ou mais elementos serão consideradas rígidas, desde que sejam respeitados os diâmetros de pré-furação. Em caso contrário, a ligação passa a ser considerada deformável. Esta consideração de deformabilidade da ligação passa então a estar relacionada com a deformação inicial da ligação e não com o seu comportamento mecânico ao longo do carregamento. Assim, este conceito parece estar parcialmente confuso e inadequado (VALE, 2011).

A recomendação mais apropriada exige o conhecimento da relação força versus deformação da ligação para qualquer número de elementos usados. Neste caso é indispensável o uso de programa computacional adequado, que considere este efeito e estime os deslocamentos dos nós de esforços de forma mais precisa (VALE, 2011).

Freitas e Góes (2018) utilizando madeiras de caixeta, com emendas parafusadas obtiveram valores de 29,1 MPa para a compressão axial as fibras. Também, a NBR 6118 (ABNT, 2014) considera como valor mínimo para resistência a compressão axial de concretos o valor de 20 MPa.

3.3.2 Fatores que afetam a resistência das emendas em madeira

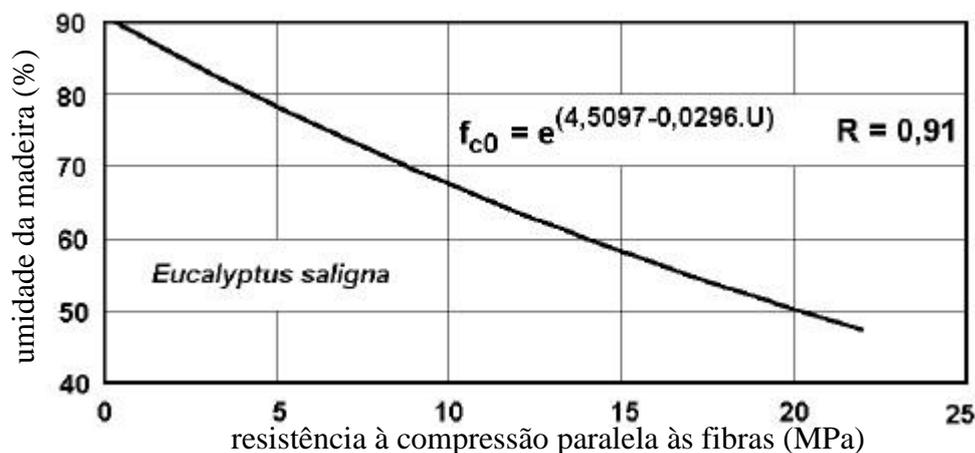
Dado que uniões de madeira em componentes estruturais devem resistir a elevadas tensões, a resistência mecânica é um dos principais requisitos de desempenho. Diversos fatores relacionados à madeira também são conhecidos por afetar a resistência das junções, assim como a espécie, a umidade, a densidade e os defeitos naturais, enquanto os outros são relacionados com os processos de colagem, tais como pressão de colagem, geometria, adesivo, entre outros (BUSTOS et al, 2003).

Por ser material natural e ortotrópico, a madeira sofre muitas variações em suas propriedades físicas e mecânicas, as quais afetam a trabalhabilidade e a resistência dos produtos. A resistência das emendas por entalhes múltiplos determina consideravelmente a resistência da madeira laminada colada e depende de alguns parâmetros que sempre devem ser considerados de grande importância, como a geometria, a montagem, a pressão, o adesivo, a densidade da madeira, entre outros (AJDINAJ & HABIBI, 2013).

A resistência da madeira está relacionada à quantidade de água na parede da célula da fibra. Acima do ponto de saturação das fibras a água se acumula nas cavidades das células da madeira (água livre) e não se verifica efeito sensível sobre a resistência da madeira associado à variação da umidade neste intervalo. Para umidades entre 0% (madeira seca em estufa) até o ponto de saturação das fibras a água se acumula nas paredes das células da madeira (água adsorvida) e afeta negativamente a resistência da madeira (WIANDY & ROWELL, 1984).

Estes resultados foram corroborados por LIMA et al. (1986), utilizando corpos-de-prova da madeira de *Eucalyptus saligna*, na região do cerne, imediatamente abaixo do alborno, ao estudarem o efeito da umidade sobre a resistência à compressão paralela às fibras (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Variação da resistência da madeira de cerne de *Eucalyptus saligna* à compressão paralela às fibras em função da variação da umidade



Fonte: LIMA et al, 1996.

3.3.3 Geometria das emendas de topo em madeira

Dependente de quatro variáveis correlacionadas, como o comprimento e a largura da base do entalhe, a largura da ponta e a inclinação, a geometria das emendas em madeira vem a ser o aspecto mais crítico no processo de produção das emendas, a qual interfere na resistência dos produtos (MACÊDO, 1996). Ainda segundo o mesmo autor, para a fresagem, deve-se optar pela geometria que proporcione pontas mais largas que a abertura correspondente, de forma que haja pressão natural de colagem durante a união das peças. Embora as pontas dos entalhes apresentem resistência nula, estas pontas causam efeito negativo na resistência da emenda devido a concentração de tensões.

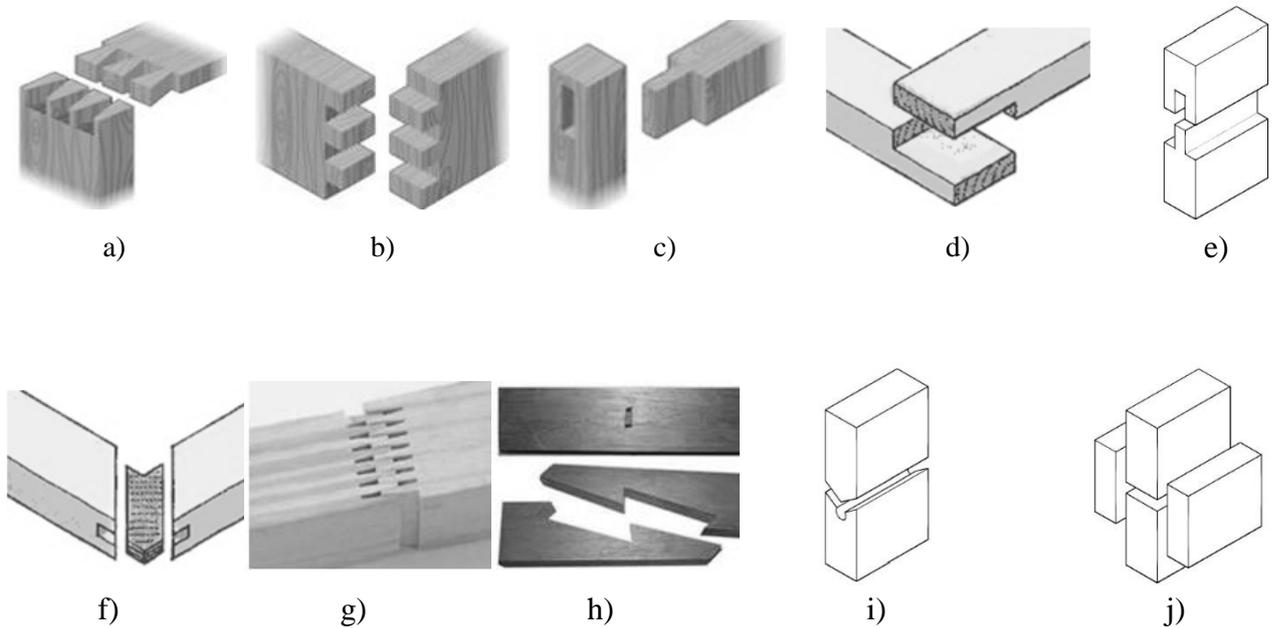
3.3.4 Processo de usinagem

Emendas bem executadas influenciam na resistência da estrutura. A qualidade do corte efetuado nas peças que compõem as emendas é um fator relevante. Ferramentas com gumes inadequados (ferramenta cega) produzem geometria irregular na madeira, reduzindo a resistência, ou mesmo dificultando o poder de encaixe (MACÊDO, 1996). Em entalhes múltiplos deve-se proceder a colagem da emenda o mais rápido possível após a sua usinagem. Este fato é para evitar variações nas geometrias dos entalhes, causados pelos movimentos de retratibilidade da madeira (VALLE et al, 2015) e também pelas contaminações das superfícies.

3.3.5 Tipos de emendas em madeira

A literatura especializada registra grande variedade de modelos de emendas para união de peças de madeira com aplicações diversas. As emendas podem ser confeccionadas com a utilização de pinos metálicos (pregos, parafusos ou pinos) ou simplesmente entalhadas na madeira, podendo ser utilizados adesivos estruturais para reforço das emendas. A Figura 14 ilustra alguns tipos de emendas em madeira maciça.

Figura 14 - Emendas realizadas por encaixes, em que a) rabo de andorinha b) dentada reta c) cave e espiga d) meia madeira e) macho fêmea f) meia esquadria com alma g) finger joint h) mão de amigo i) “V” j) topo com talas laterais



Fonte: www.arqted.blogspot.com 2019 / do autor (2019).

3.3.6 Desempenho das emendas em madeira

Segundo Meng et al (2013), os resultados dos testes realizados em paredes de *Wood Frame* construídas com emendas do tipo *Finger Joint* têm confirmados que o número de emendas por montante, de até 6 por montante, não afetou o desempenho mecânico da parede, para o pico de carga e a rigidez. Assim, estes autores concluíram que montantes com emendas do tipo *Finger Joint*, com adesivo PVA, podem ser considerados equivalentes aos montantes sem emendas.

Estudo realizado por Tannert (2016) sobre emendas do tipo rabo de andorinha verificou não existir diferença significativa entre emendas confeccionadas manualmente e emendas confeccionadas por equipamentos operados por comando numérico computadorizado - CNC. A rigidez das emendas rabo de andorinha pode ser significativamente aumentada por meios simples e econômicos, tais como sobredimensionamento do espigão em aproximadamente 2 mm para criar pressão entre as partes componentes da emenda ou reforçando as emendas com adesivos estruturais aplicados entre os dois elementos, desta forma aumentando a rigidez da emenda e diminuindo as deformações das peças. Dentro dos parâmetros que foram investigados, o aumento na rigidez

das emendas é relacionado com redução significativa na capacidade de deformação do conjunto.

3.3.7 Emendas de peças comprimidas axialmente

As peças comprimidas de madeira são emendadas de topo transferindo-se diretamente o esforço de uma peça para a outra. O corte das peças deve ser feito rigorosamente plano, para garantir a superfície de contato.

Em obras provisórias como escoramentos de madeira roliça, pode-se dispensar o corte em esquadro, preenchendo-se a superfície de apoio com cunhas de madeira dura, ou com argamassa úmida de cimento e areia bem compactada. Há necessidade de fixar as peças emendadas, uma na outra. Em geral, há necessidade de se conferir certa rigidez à emenda, o que se consegue por meio de talas laterais pregadas ou aparafusadas. As emendas são, em geral, feitas com duas ou quatro talas. Em colunas de pequena carga, podem ser utilizadas as emendas que dispensam as talas laterais. Nestes casos, é difícil conseguir um apoio ajustado nas duas superfícies horizontais de contato; é então preferível encher a junta posteriormente com argamassa úmida de cimento e areia, bem compactada. Não havendo contato direto entre as faces da emenda, todo o esforço de compressão deverá ser transmitido pelas talas, o que torna a solução antieconômica (PFEIL e PFEIL, 1977).

Quanto à transmissão do esforço, distinguem-se as emendas de contato e sem contato de topo. Nas emendas de contato de topo adotam-se medidas construtivas para garantir o contato das superfícies de topo das colunas, que podem assim transmitir diretamente as tensões de compressão. Nas emendas junto aos nós (sem efeito de flambagem), pode-se admitir a totalidade do esforço transmitido pela superfície de contato, de modo que as talas não têm esforços de cálculo. Nas emendas de contato de topo, situadas longe dos nós de travamento, as ligações das talas com a coluna são calculadas para a metade do esforço normal (DIN 1052, 1969). Nas emendas sem contato entre os topos das partes, todo o esforço deve ser transmitido pelas talas, o que torna esse tipo mais dispendioso. Quanto à inércia da seção da emenda, cabe distinguir as emendas situadas próximo aos nós de travamento e aquelas situadas distantes dos mesmos. As emendas situadas próximas aos nós de travamento não estão sujeitas à flambagem e conseqüentemente as talas não precisam atender a requisitos de inércia. Nas emendas situadas distante dos nós de travamento há perigo de flambagem pela formação de ângulo entre os topos das peças emendadas. Para impedir esse tipo de ruptura, a soma das inércias individuais das talas deve ser igual ou maior que a inércia da coluna na

região fora da emenda. Esta condição é atendida com as larguras adequadas das talas, com duas e quatro talas laterais. Em peças submetidas alternadamente a esforços de compressão e tração não é possível garantir o contato de topo para transmitir compressão. É necessário então calcular as talas e conexões para o valor total do esforço axial (PFEIL e PFEIL, 1977).

Na Tabela 3 pode-se observar uma compilação de valores de resistência a compressão e força máxima de materiais que foram utilizados em projetos estruturais com e ou sem emendas. Estes dados isoladamente não possuem função de comparações e sim de apresentação dos valores de resistências de diversos materiais que foram emendados

Tabela 3 - valores de resistência a compressão e, ou força máxima de diversos materiais com e, ou sem emendas.

Material	Tipo de emenda	Tipo de esforço	Resistência à compressão (MPa)	Força max (kN)	Autor / data
Concreto estrutural	sem emenda	compressão axial	20	-	(NBR 6118, 2014)
<i>Pinus elliottii</i> (Pinus)	sem emenda	compressão axial	31,5	-	(IPT, 1989)
<i>Dipteryx odorata</i> - (Cumarú)	sem emenda	compressão axial	94,2	-	(IPT, 1989)
<i>Picea abies</i> - (Abeto Vermelho)	Rabo de andorinha	compressão normal	-	24,5	(Tannert, 2016)
<i>Pinus pinaster</i> e aço	Emenda em "L" com pinos de aço	compressão axial / normal	9,27	-	(N. Dourado et al, 2018)
<i>Cedrus libani</i> - (Cedro)	Emenda topo	compressão axial	10,35	-	(M. Altinok et al, 2014)
<i>Padauk</i> - (Pau - rosa africano)	Emenda rabo de andorinha em pórtico	compressão axial / normal	-	100,8	(E. Crayssac et al, 2018)

Do autor (2019).

3.3.8 Flambagem por flexão

Ao ser comprimida axialmente, uma coluna esbelta pode apresentar a tendência ao deslocamento lateral e perda de estabilidade. Este tipo de instabilidade, denominado flambagem por flexão, se caracteriza pela interação entre o esforço axial e a deformação lateral, de tal forma que a resistência final da coluna depende não apenas da resistência do material, mas também de sua rigidez à flexão (PFEIL e PFEIL, 1977).

4 Material e métodos

4.1 Origem e especificação do material

O material utilizado na pesquisa foi a madeira do *Pinus* spp, adquirido aleatoriamente na região de Lavras/MG, seco, em estufa, pelo fornecedor. Esse material se encontrava no formato de tábuas com as dimensões de 2,5 x 30 x 300 cm. Procurou-se escolher tábuas com poucos nós e sem separação das mesmas pelo número de anéis existentes. Estes detalhes foram devido a obter peças comercializadas, de forma que qualquer produtor poderia fazer este tipo de seleção.

A escolha do gênero *Pinus* se deve ao fato do mesmo ser amplamente utilizado na indústria produtora de painéis estruturais *Wood Frame*, no Canadá, nos Estados Unidos e também no Brasil.

Após obtenção, as tábuas foram armazenadas entabucadas no Laboratório de Usinagem da Madeira (DCF/UFLA) para estabilização da umidade, em função do ambiente (Umidade aproximada de 12%). Após 35 dias, iniciou o preparo dos corpos de prova, para as devidas caracterizações.

4.2 Material

Para caracterização do material foram realizados ensaios de determinação da densidade aparente (adaptação pela NBR 11941, ABNT, 2003), da umidade e ensaio de compressão paralela às fibras (NBR 7190, ABNT, 1997).

O material utilizado foi composto por oito tábuas, das quais foram retirados 12 corpos de prova de cada tábua, isentos de nós e rachaduras, com dimensões de 20 x 20 x 60 mm. Os resultados da caracterização físico-mecânica das madeiras encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados médios, mínimos e máximos da caracterização da madeira de *Pinus* spp

Propriedade	Unidade	Valor obtido		
		Mínimo	Médio	Máximo
Umidade	%	9,4	10,6	11,9
Densidade aparente	kg/m ³	365	496	689
Módulo de elasticidade	kgf/cm ²	17.432	31.178	48.431
Força máxima	kgf	888	1.503	2.257
Tensão na força máxima	kgf/cm ²	213	360	552

Do autor (2019).

4.3 Ensaio de performance das emendas

Primeiramente foram preparados corpos de prova com e sem emendas de topo. Posteriormente, os mesmos foram testados de modo a obter a emenda de melhor desempenho, tendo o corpo de prova sem emenda como testemunha.

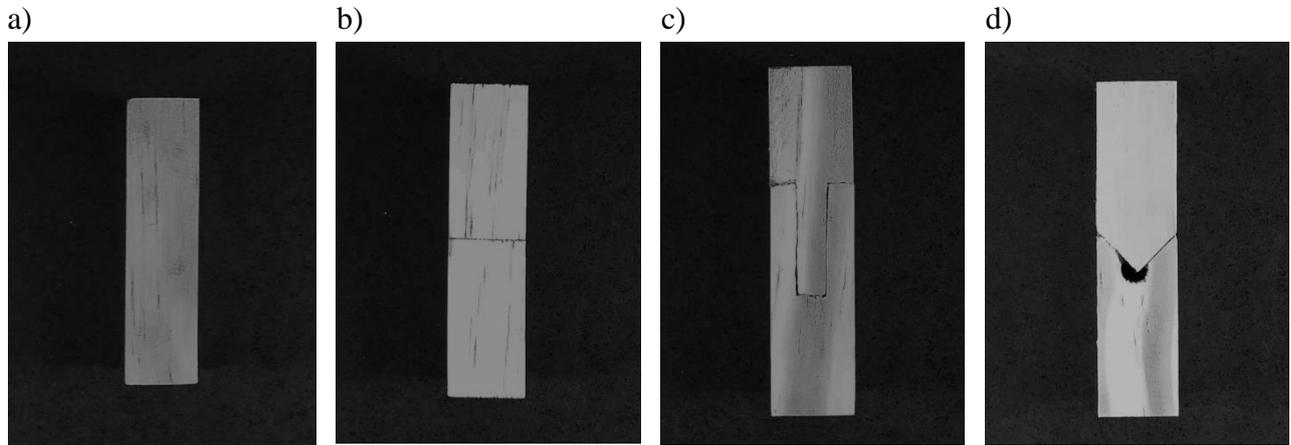
Todos os corpos de prova possuíam as dimensões 60 x 34 x 15 mm (comprimento x largura x espessura), sendo o comprimento na direção do eixo axial das fibras da madeira. Este valor foi determinado de forma a evitar efeitos de flambagem e que correspondeu a 4 vezes a menor dimensão da seção transversal, conforme descrito na NBR 7190 (ABNT, 1997).

A seção transversal dos corpos de prova foi produzida na escala 1:3,75. Este valor foi determinado para atender a confecção dos montantes da estrutura *Wood Frame* (Etapa seguinte da pesquisa) e adequá-los às dimensões da máquina universal de ensaios do Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira (DCF/UFLA). Cabe ressaltar que os montantes da estrutura *Wood Frame* possuem as dimensões 2320 x 89 x 38 mm, quando em escala natural, conforme descrito em IRC (2003). Estes valores seriam incompatíveis com a máquina universal de ensaios, havendo a necessidade de redução das suas dimensões.

Foram confeccionados 40 corpos de prova, sendo 10 corpos de prova para cada diferente tipo, i) sem emendas (controle – Figura 15a); ii) com emenda de topo com talas laterais (Figura 15b); iii) com emenda macho fêmea (Figura 15c); e iv) com emenda em “V” (Figura 15d). Todas as emendas existentes estavam localizadas na posição central do

comprimento do corpo de prova. A seguir, todos os corpos de prova foram ensaiados em compressão paralela às fibras.

Figura 15 – Corpos de prova com os diferentes tipos de emendas de topo, em que a) sem emendas (testemunha), b) com talas laterais c) macho fêmea d) em “V”

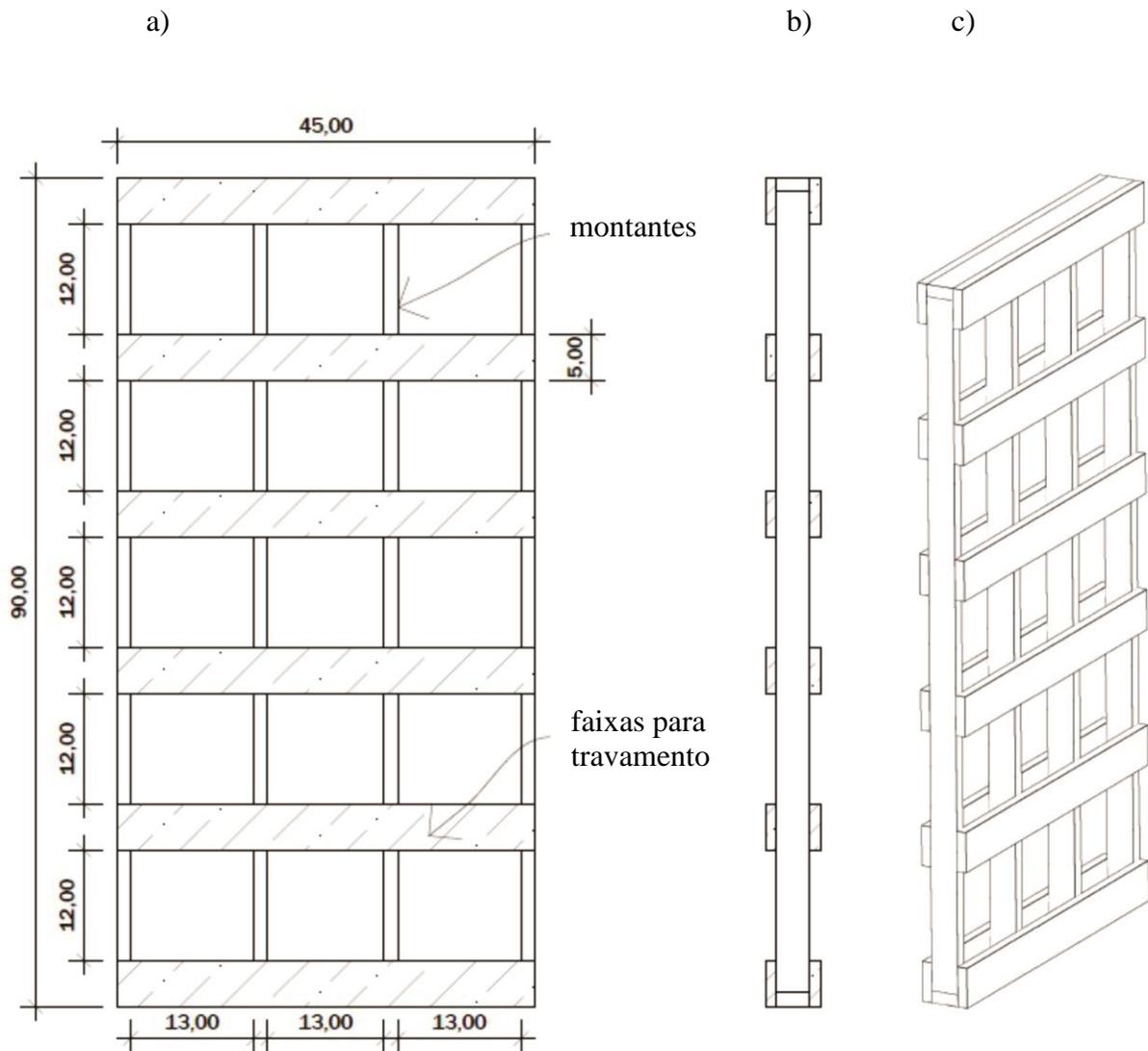


Do autor (2019).

4.4 Confeção dos montantes

Após a seleção da emenda de melhor desempenho, com base do ensaio de compressão axial, foram confeccionados corpos de prova reproduzindo o painel estrutural *Wood Frame* na escala 1:3,75, mesma escala utilizada no ensaio de performance das emendas. A Figura 16 ilustra o painel estrutural *Wood Frame*, em que i) vista frontal (Figura 16a); ii) vista lateral (Figura 16b) e iii) perspectiva (Figura 16c). O travamento foi realizado por meio de seis faixas de painéis OSB (50 x 12 mm – largura x espessura), fixadas por pinos metálicos de 30 mm, sem cabeça. Foram utilizados 2 pinos em cada cruzamento da faixa de OSB e montante de madeira. As faixas de travamento permitiram a visualização, em tempo real, das deformações internas da estrutura do painel durante a realização do ensaio de compressão axial dos painéis estruturais *Wood Frame*.

Figura 16 – Painel estrutural *Wood Frame* com faixas de OSB (travamento) para ensaio de compressão axial, em que a) vista frontal b) vista lateral c) perspectiva. Cotas em cm



Fonte: Do autor (2019).

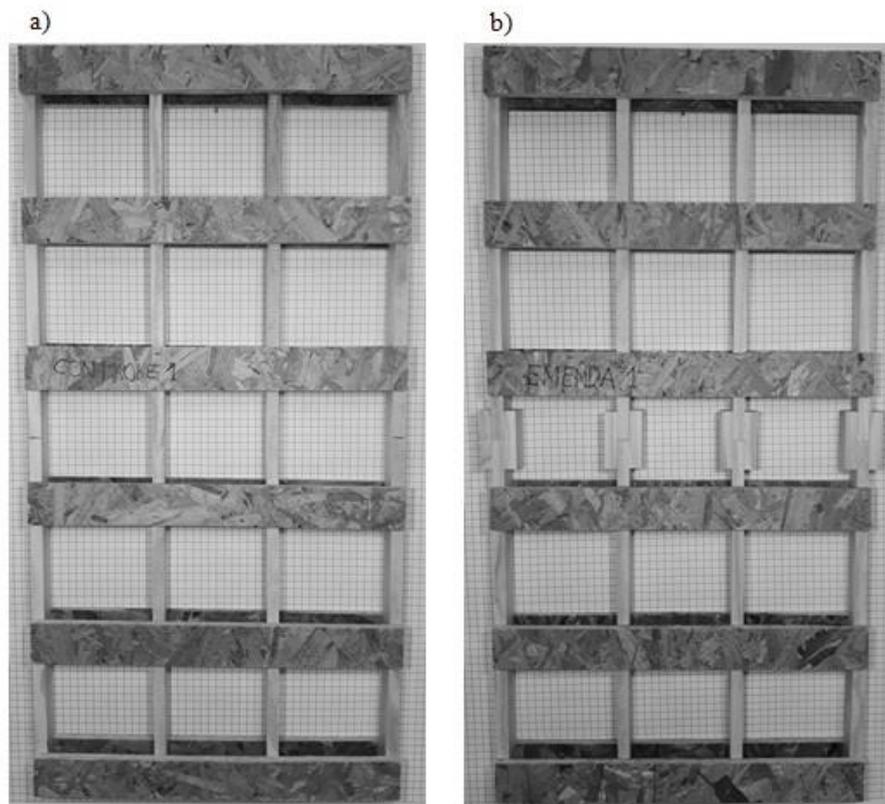
Foram produzidos 10 painéis estruturais *Wood Frame* com montantes verticais, sendo 5 com emendas de topo com talas laterais, conforme definida pela etapa anterior e 5 sem emendas (testemunha). As emendas foram executadas meio do comprimento dos montantes.

Os montantes foram confeccionados no Laboratório de Usinagem da Madeira (DCF/UFLA). Para sua produção foi utilizado processo de usinagem iniciando-se pelo corte longitudinal das tábuas em peças de 34 mm de largura. Para tanto foi utilizada serra circular com mesa móvel. Após essa etapa, as peças tiveram suas espessuras uniformizadas em 15 mm em plaina desgrossadeira. A seguir foram realizados os cortes transversais para determinação de seus comprimentos. Posteriormente, em serra circular com mesa móvel foram feitos os encaixes.

A fixação das emendas foi por meio de talas de madeira e pinos de aço de 30 mm de comprimento, sem cabeça e talas laterais, com comprimento de duas vezes a largura do montante e espessura de 15 mm. Não foram utilizados adesivos. Semelhantemente, as uniões entre os montantes verticais, travessas horizontais superiores e inferiores também foram feitas por pinos de aço com o mesmo comprimento. Nos diferentes painéis estruturais *Wood Frame* foram utilizados a mesma quantidade de pinos metálicos (sempre 2 pinos para ligar montantes e travessas e 2 pinos para ligar montantes e faixas), tendo o cuidado de serem fixados nas mesmas posições.

Os painéis estruturais *Wood Frame* montados para a realização dos ensaios de compressão axial encontram-se ilustrados na Figura 17. Na Figura 17a encontra-se o painel sem emenda e na Figura 17b encontra-se o painel com emenda de topo com talas laterais.

Figura 17 - Painéis estruturais *Wood Frame* para o ensaio de compressão axial, a) painel sem emenda e b) painel com emenda de topo com talas laterais



Fonte: Do autor (2019).

4.5 Ensaio dos montantes à compressão axial

Os diferentes painéis estruturais *Wood Frame*, com e sem emendas, foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial. Para realização dos ensaios foi utilizada máquina universal de ensaio, EMIC 30 toneladas.

Para o monitoramento das deformações laterais foram utilizados dois relógios comparadores digitais para acompanhamento em tempo real durante a realização dos ensaios. Os relógios comparadores foram posicionados na metade da altura dos dois montantes mais externos dos painéis estruturais *Wood Frame*. As medições das deformações laterais foram obtidas por meio de imagens analisadas no *software* AutoCAD 2010. Para tanto, foi instalado uma grade quadriculada com espaçamento de 10 x 10 mm atrás dos painéis estruturais *Wood Frame* no momento dos ensaios (FIGURA 18), os ensaios foram filmados e fotografados.

Figura 18 - Montagem dos ensaios de compressão axial



Fonte: Do autor (2019).

Itens como quantidade de lenho tardio e organização das fibras da madeira nos corpos de prova não foram controlados, de forma a tornar os ensaios o mais próximo das condições

de utilização na indústria e nos canteiros de obras. Todo o material utilizado foi isento de defeitos.

A análise estatística dos dados foi por meio de ANOVA, a 5% de significância e quando significativa, efetuou o teste de Tukey, a 5% de significância. As fontes de variação foram os tipos de emendas.

5 Resultados e discussão

5.1 Performance das emendas

Os ensaios de compressão axial nos corpos de prova isolados (sem emendas e com emendas) proporcionaram o menor valor da força máxima (1,93 kN) para a emenda em “V” e o maior valor (20,35 kN) para corpo de prova sem emenda (testemunha). O maior valor de força máxima (17,60 kN) foi verificado em um corpo de prova com emenda macho fêmea. O valor médio para força máxima entre todos os corpos de prova avaliados foi de 12,55 kN. O maior valor de força máxima encontrado para a emenda de topo com talas laterais foi de 17,40 kN.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2019), a resistência à compressão paralela às fibras da madeira de *Pinus* é de 32,5 MPa à 15% de umidade. Os corpos de prova isolados (sem emendas e com emendas) apresentaram como menor valor para resistência à compressão paralela às fibras 10,4 MPa em emendas em “V” e, como valor máximo, 39,5 MPa para corpo de prova sem emenda (testemunha). O valor médio para resistência a compressão paralela às fibras foi de 29,6 MPa. Valor absoluto próximo ao valor de referência verificado junto ao IPT.

Após a realização dos ensaios de compressão paralela verificou-se pela análise de variância (Tabela 5) e teste de Tukey (Tabela 6) que as emendas de topo com talas laterais e macho fêmea foram estatisticamente iguais aos corpos de prova sem emenda (testemunha) e apresentaram desempenho superior a emenda em “V”. Além disto, considerando-se que a emenda de topo com talas laterais apresentou o processo de confecção mais fácil, exigindo apenas cortes retos em serra circular, a mesma foi definida para a próxima etapa de confecção dos painéis estruturais *Wood Frame*.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para a força máxima na compressão paralela às fibras da madeira de *Pinus* spp em função dos diferentes tipos de emendas, a 5% de significância

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Quadro médio
Emenda	3	142163*
Resíduo	36	2067
Total	39	

* significativo a 5 % de significância.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 6 – Comparação múltipla das médias para a força máxima na compressão paralela às fibras da madeira de *Pinus* spp em função dos diferentes tipos de emendas, pelo teste de Tukey, a 5% de significância

Tipo de emenda	Força máxima à compressão	
Sem emenda (testemunha)	331,8	a
Emenda em Topo com talas laterais	297,0	a
Emenda em Macho e Fêmea	278,5	a
Emenda em V	68,1	b

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5 % de significância.

Fonte: Do autor (2019).

O valor médio para compressão axial da madeira de *Pinus* emendadas de topo com talas laterais foi de 3,31 kN/cm². Este resultado se mostrou superior aos encontrados por Freitas e Goes (2018), de 29,1 MPa, e também ao especificado pela NBR 6118 (ABNT, 2014), que é de 20 MPa, para resistência a compressão axial de concretos estruturais.

O coeficiente de variação entre todos os corpos de prova isolados (sem emendas e com emendas) para compressão paralela as fibras foi de 46,5%. Entre os corpos de prova com emendas o coeficiente de variação foi de 51,8% e entre os corpos de prova com emenda de topo à variação verificada foi de 10,8%.

As emendas de topo em macho fêmea e em “V” que apresentaram resultados mais baixos para a força máxima na compressão paralela às fibras podem ser utilizadas para uniões não estruturais. Como exemplo, pode-se citar alisares, aduelas, pisos e detalhes decorativos. Nestes casos, tem-se a possibilidade de utilização em peças de madeira com dimensões reduzidas, que indicam melhor uso deste material em contraste ao simples descarte. Contudo, para fins estruturais é imperativo o uso de peças emendadas que apresentem resultados iguais ou superiores, estatisticamente, para resistência à compressão paralela às fibras de peças de madeira sem emendas.

5.2 Ensaio dos painéis estruturais *Wood Frame*

A partir dos resultados dos ensaios das emendas de melhor desempenho (item 5.1), os ensaios, de compressão axial, dos painéis estruturais *Wood Frame* com ou sem emendas, indicaram o menor valor para força máxima de 11,89 kN. Este valor foi apresentado por um painel estrutural com emenda de topo com talas laterais. Em contrapartida, o maior valor para força máxima foi 19,06 kN, apresentado em um painel estrutural sem emenda (testemunha).

Nos painéis estruturais sem emenda (testemunha) os valores da força máxima à compressão axial foram de 13,39 a 19,06 kN. O coeficiente de variação observado foi de 16,6%. Comparativamente, nos painéis estruturais *Wood Frame* com montantes emendados, os valores de força máxima à compressão axial foram de 11,89 a 15,25 kN. Neste caso o coeficiente de variação foi de 10,3%. Os valores mínimos, médios e máximos obtidos para a força máxima à compressão axial, em kN, para os diferentes painéis estruturais *Wood Frame*, com e sem emendas, encontram-se na Tabela 7. O resumo da análise de variância destes dados encontra-se na Tabela 8.

Tabela 7 – Valores mínimos, médios e máximos da força máxima à compressão axial, em kN, para os diferentes painéis estruturais *Wood Frame*, com e sem emendas

Tipo de emenda	Valor obtido - kN		
	Mínimo	Médio	Máximo
Sem emenda (testemunha)	13,39	16,02	19,06
Emenda de topo com talas laterais	11,89	13,74	15,25

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 8 – Resumo da análise de variância, a 5% de significância, da força máxima à compressão paralela as fibras dos painéis estruturais *Wood Frame* em função dos diferentes tipos de emendas dos montantes

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Quadro médio
Emenda	1	135159 ^{n.s.}
Resíduo	8	47375
Total	9	

n.s. = não significativo, a 5 % de significância.

Fonte: Do autor (2019).

Observa-se que não houve diferença estatística entre os corpos de prova quando comparada a capacidade de resistir a cargas axiais. Este fato permite dizer que os montantes com emendas de topo com talas laterais suportam a mesma carga que aqueles sem emendas e por isso eles podem ser utilizados na construção dos painéis estruturais *Wood Frame*. Assim,

as construções de habitações podem lançar mão de peças de madeiras de pequenos comprimentos que poderão ser emendadas diretamente no canteiro de obras ou na indústria, otimizando o uso da matéria-prima. É importante salientar que a emenda de topo com talas laterais possui característica de fácil confecção, isto é, sua confecção requer apenas cortes retos, feitos a partir de serras circulares e, conseqüentemente, o treinamento de carpinteiros para sua execução requer simplicidade.

Os valores mínimos, médios e máximos para as deformações laterais (horizontal) nos painéis estruturais *Wood Frame* sem emendas (testemunha) foram de 0 mm; 7,8 mm e 16,6 mm, com coeficiente de variação de 69,1%. Nos painéis estruturais *Wood Frame* com emendas os valores mínimos, médios e máximos para as deformações laterais (horizontal) sob compressão axial foram de 1,6 mm, 8,5 mm e 12,7 mm, com coeficiente de variação de 49,8%. Na análise geral dos dados médios das deformações laterais dos painéis estruturais *Wood Frame*, com ou sem emenda, observou-se percentual de variação inferior a 1% da altura dos painéis. Verificou-se também que em todos os painéis estruturais *Wood Frame* ocorreu homogeneidade na direção em que estas deformações laterais se desencadearam, isto é, as deformações dos montantes que compõem os painéis estruturais *Wood Frame* foram observadas sempre na mesma direção (mesmo lado).

Os valores mínimos, médios e máximos das deformações axiais dos painéis estruturais *Wood Frame* sem emendas (testemunha) foram de 27,75 mm, 31,34 mm e 36,05 mm, respectivamente. O coeficiente de variação geral dos dados foi de 10,1%. Os painéis estruturais *Wood Frame* feitos com montantes com emendas de topo com talas laterais registraram valores de deformações axiais mínimas, médias e máximas de 21,29 mm; 28,00 mm e 34,53 mm, respectivamente, com coeficiente de variação de 17,4%.

Diante dos ensaios realizados e resultados obtidos verificou-se a possibilidade de utilização de emendas de topo com talas laterais em montantes verticais de *Wood Frame* como alternativa viável tecnicamente para utilização de peças de madeira de menores comprimentos, assim como na execução de manutenções e reparos nas estruturas dos painéis.

6 Conclusões

- Painéis estruturais *Wood Frame* com emendas de topo com talas laterais em montantes verticais apresentam estatisticamente a mesma resistência axial de painéis sem emenda.
- Os painéis estruturais *Wood Frame* sem emendas (testemunha) e com emendas de topo com talas laterais apresentaram deformações laterais semelhantes.

- O uso de montantes com emendas para confecção dos painéis estruturais *Wood Frame* permite a utilização de peças de madeiras com menores comprimentos que aquelas normalmente empregadas e assim permite otimizar o uso das madeiras na construção.
- O uso de montantes com emendas permite que sejam extraídos defeitos das peças de madeira, como exemplo nós e rachaduras, com a possível utilização deste material que era anteriormente descartado por completo.

7 Recomendações

- Comparar corpos de prova de madeira com classes de resistência mecânicas e densidades semelhantes de modo a descartar interferências estatísticas destes fatores nos resultados das emendas oriundas das mesmas.
- Avaliar o comportamento de painéis estruturais *Wood Frame* adjacentes com emendas nos montantes verticais quando submetidos a esforços de compressão axial.
- Executar e avaliar o comportamento de painéis estruturais *Wood Frame* com emendas intercaladas nos montantes verticais.

8 Referências bibliográficas

- ABNT, NBR. 6120: **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações - Procedimento**. Rio de Janeiro, RJ, 1980.
- ABNT, NBR. 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT, NBR. 7190: **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.
- ABNT, NBR. 11941: **Madeira - Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003.
- ABREU, L.B.; LIMA, J.T.; SILVA, J.R.M.; RABELO, G.F. **Projeto de construção em madeira - Centro de Informações Ao Visitante da UFLA**. II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, Belo Horizonte. 20 a 22 set 2015.
- ACOSTA, M.S., MASTRANDREA, C.; ZAKOWICZ, N.; LACHANCE, D. **Curso: Construcción en madera con tecnología canadiense adaptada a Argentina**. UNLP, La Plata, Argentina. 12 maio 2015.
- AF&PA - AMERICAN FOREST & PAPER ASSOCIATION. **Details for conventional wood frame construction**. American Forest & Paper Association, 2001.
- AICHER, S. Joints in timber structures. In: **INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON JOINTS IN TIMBER STRUCTURES**, 22., 2001, Stuttgart. Proceedings... Stuttgart: RILEM, 2001. 1 CD-ROM.
- AJDINAJ, D.; HABIBI, B. **The effect of joint slope on bending strength of finger joint connection – case of poplar wood (*Populus alba* L.)**. IN: 2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, BCCCE, Epoka University, Tirana, Albania. 2013.
- AMERICAN FOREST & PAPER ASSOCIATION. **Details for Conventional Wood Frame Construction**. Washington, DC, 2001.
- APA. **Advanced Framing Construction Guide**. Tacoma, WA, 2012.
- BRANDNER, R.; FLATSCHER G.; RINGHOFER, A. SCHICKHOFER, G. THIEL, A. **Cross Laminated Timber (CLT): overview and development**. European Journal of Wood and Wood Products, v. 74, n. 3, 2016, p. 331–351.
- BUSTOS, C.; MOHAMMAD, M.; HERNÁNDEZ, R. E.; BEAUREGARD, R. **Effects of curing time and end pressure on the tensile strength of finger-jointed black spruce lumber**. FOREST PRODUCTS JOURNAL Vol. 53, No. 11/12. 2003b.
- CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira**. Barueri: Manole, 2003.
- CALIL JÚNIOR, C.; BRITO, L. B. **Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. São Carlos: EESC/USP, 2010. 332 p.
- CMHC. **Canadian wood-frame house construction**. Canada: CMHC, 1998.

CRESPELL, Pablo; GAGNON, Sylvain. **Cross Laminated Timber: a Primer. Pointe-Claire:** FPInnovations, 2010.

CTBA – CENTRE TECHNIQUE DU BOIS ET DE L'AMEUBLEMENT. **Construction à ossature bois:** conception et mise em oeuvre. Paris: Eyrolles. 1995. 236 p.

DIAS, G. L. **Estudo experimental de paredes estruturais de sistema leve em madeira (sistema plataforma) submetidas a força horizontal no seu plano.** Florianópolis/SC 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina.

DEUTSCHE NORM. **DIN-1052:** Part 1-3: structural use timber: design and construction; buildings in timber frame construction: design and construction. Berlin: DEUTSCHE NORM, 1998.

DIAS, G. L.; SANTOS, A. C.; SZÜCS, C. A. **O sistema plataforma (sistema leve em madeira) para construção de moradias de interesse social.** In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE HABITAÇÃO SOCIAL – CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1, 2003, Florianópolis. **CTHAB BRASIL.** Florianópolis, 2003.

DIAS, G. L. **Estudo experimental de paredes estruturais de sistema leve em madeira (Sistema Plataforma) submetidas a força horizontal no seu plano.** 2005. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2005.

EUROPEAN PRESTANDARD. ENV 1995-2: **EUROCODE 5**, Part 2: design of timber structures: bridges. Brussels: European Committee for Standardization, 1997.

E. CRAYSSAC et al. **LATERAL PERFORMANCE OF MORTISE-TENON JOINTED TRADITIONAL TIMBER FRAMES WITH WOOD PANEL INFILL** / *Engineering Structures* 161 (2018) 223–230 224

FOREST PRODUCTS LABORATORY. *Wood-frame house constructions.* Madson: USDA, 1989.

EBNER, Gerd. **CLT production is expected to double until 2020.** 2017. Disponível em: <<https://www.timber-online.net/holzprodukte/2017/06/brettsperholz-produktion-ineuropa---20162020.html>>. Acesso em: novembro de 2017.

FREITAS, T. O. G. E; GÓES, J. L. N. Avaliação experimental da Rigidez de ligações pregadas e parafusadas em madeira. 2018, São Carlos. **Anais do XVI EBRAMEM.**

GÖTZ, K.; HOOR, D.; MÖHLER, K.; NATTERER, J. **Construire en bois: choisir, concevoir, realiser.** Paris: Editions du Moniteur, 1987.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. *Wood-frame house constructions.* Madson: USDA, 1989.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **IBÁ** (2019).

INO, A.; SHIMBO, I. A madeira de reflorestamento como alternativa sustentável para a produção de habitação social. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, 1998, Florianópolis. **Anais do VI EBRAMEM.** Florianópolis, 1998. p. 228-236.

INTERNATIONAL BUILDING COUNCIL. **North Carolina State Building Code: Building Code.** [S.I.], 2012.

INTERNATIONAL CODE COUNCIL. IRC: **International Residential Code – For one and two-family dwellings.** Country Club Hills (USA), 2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **IPT** (2019).

IWAKIRI, V. T. **Projeto recionalizado de painéis verticais para edificações em madeira no sistema plataforma semi-industrializado.** Florianópolis/SC 2013. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósArq), Universidade Federal de Santa Catarina.

KRAMBECK, T. I. **Revisão de sistema construtivo em madeira de floresta plantada para habitação popular:** Florianópolis/SC 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismos, Universidade Federal de Santa Catarina.

LAROCA, C. **Habitação social em madeira: Uma alternativa viável.** Curitiba/PR 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LIMA, J. T.; DELLA LUCIA, R. M.; VITAL, B. R. (1986). **Influência do teor de umidade nas propriedades mecânicas de Eucalyptus saligna.** *Revista Árvore*, vol. 10, n. 1, p. 27-43.

LOAD AND RESISTENCE FACTOR DESIGN – LRFD. Structural – Use Panels: **Manual for engineering wood construction.** Washington: APA, 1996.

MACÊDO, A. N. **Estudo de Emendas Dentadas em Madeira Laminada Colada (MLC): avaliação de método de ensaio.** 115 f. São Carlos, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

M. ALTINOK et al. **EFFECTS OF CUTTING DIRECTIONS ON THE BONDING STRENGTH IN SOME WOOD TYPES** / *Construction and Building Materials* 134 (2017) 1–6

M. GONG et al. **INFLUENCE OF NUMBER OF FINGER JOINTS PER STUD ON MECHAENICAL PERFORMACE OF WOOD SHEARWALLS** / *Construction and Building Materials* 50 p.335–339, 2014.

MOREIRA, L. E. **Desenvolvimento de estruturas treliçadas espaciais de bambu.** 1991. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, C. Sistema construtivo em Wood Frame para casas de madeira. *Semana: Ciências Exatas e Tecnológicas*, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, 2010.

N. DOURADO et al. **FRACTURE BEHAVIOR OF WOOD-STEEL DOWEL JOINTS UNDER QUASE-STATIC LOADING** / *Construction and Building Materials* 176 (2018) 14–23

- OLIVEIRA, G. LOTUFO. **Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: processo construtivo e desempenho. Recomendações para o processo de projeto arquitetônico** 15 f. São Paulo, 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade de São Paulo (USP), 2018.
- OLIVEIRA, M. A. M.; DIAS, A. A. Ligações com pinos metálicos em estruturas de madeira. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 7, n. 26, p. 33-64, 2005.
- OLIVEIRA, R. **Viabilidades da madeira para habitação**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, 1998, Florianópolis. **Anais do VI EBRAMEM**. Florianópolis, 1998. p. 237-245.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro: LTC, 1977.
- PASSARELLI, Rafael Novais. **Cross laminated timber: Diretrizes para projeto de painel maciço em madeira no Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2013.
- SÁNCHEZ, J. E. et al. **Casas de Madera**. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de Madera y Corcho (AITIM). Madrid, 1995. 699p.
- SANTOS, A. C. **Pisos em sistema leve de madeira sob ação descarregamento monotônico em seu plano**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- SILVA, R. D.; INO, A. **Habitação econômica em madeira no Brasil: estado da arte**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, XI, 2008, Londrina. **Anais do 11o EBRAMEM**. Londrina, PR. 2008.
- SOUZA, L. G. **Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e Wood Frame - Florianópolis/ SC 2012**. Master em Arquitetura Resumo - Instituto de Pós Graduação IPOG.
- SZÜCS, C. P.; **Autoconstrução em madeira**. Florianópolis: GHAB, 1992. 27 p.
- SZÜCS, C. P.; et al. A habitação em madeira na serra catarinense: tradição e cultura. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 9, 2004, Cuiabá. **Anais de IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras**. Cuiabá: UFMT, 2004. Anais em *Cd rom*.
- SZÜCS, C. P.; VELLOSO, J. G.; KRAMBECK, T. I. **Racionalização da construção de sistema leve em madeira de floresta plantada voltada para habitação**. EBRAMEM, 2004. p. 30-39.
- TEREZO, Rodrigo F.; VELLOSO, Joana G. **Sistemas pré-fabricados em madeira em Florianópolis**. Trabalho de conclusão de curso da Disciplina de Industrialização do Sistema Construtivo em Madeira. Setembro de 2006. PPGEC/UFSC.
- T. TANNERT. **IMPROVED PERFORMANCE OF REINFORCED ROUDED DOVETAIL JOINTS** / Construction and Building Materials 118 262–267, 2016.

VALE, C. M. **Ligações estruturais para madeira roliça de *Eucalyptus* de pequeno diâmetro**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras – MG. 2011.

VALLE, Â. do; MORAES, P. D. de; SZÜCS, C. A.; TEREZO, R. F. **Estruturas de Madeira**. Universidade Federal de Santa Catarina. – UFSC. Florianópolis – SC. Apostila. 2015.

VELLOSO, J. G. **Diretrizes para construções em madeira no sistema plataforma**. Florianópolis/SC 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina.

WIANDY, J. E.; ROWELL, R. M. (1984). ***The Chemistry of Wood Strength***. In: **The Chemistry of Solid Wood**. Washington, D.C. American Chemical Society.

WOOD FRAME CONSTRUCTION MANUAL WFCM 2001. Manual for one and two family dwelling. Washington: American Wood Council, 2001.

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada** - São Carlos/SP 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo.