

Ligações em madeira: análise de possibilidades para produção de painéis de *wood frame*

Brígida Diniz Lima ¹; Filipe Luigi D. L. Santos ²; Caroline Silva Sena ²; Gabriel Alcântara Dourado O. e Silva ²; Rita Dione Araújo Cunha ²; Sandro Fábio César ²

¹ Laboratório de Madeiras, Universidade Federal da Bahia / brigida_d@hotmail.com; ² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Laboratório de Madeiras, Universidade Federal da Bahia;

Resumo: O sistema *wood frame* vem ganhando espaço no território nacional, especialmente por atender critérios de qualidade e ser um processo industrializado. Apesar de o *wood frame* ser uma técnica conhecida em outros países, nota-se uma lacuna de pesquisas em território brasileiro que contribua para a disseminação do sistema no país. Diante desse problema, este artigo visou classificar os tipos de ligações em madeira utilizadas no Brasil e verificar a funcionalidade de cada tipo de ligação para o sistema *wood frame*. Para isso, foi utilizado o método de análise de multicritérios de Saaty. Os resultados indicam que os encaixes seriam a ligação mais adaptável para o sistema, enquanto os parafusos, o menos adaptável.

Palavras-chave: Construção industrializada, Componentes do *wood frame*, Ligações.

Timber joints: analysis of possibilities for the production of wood frame panels

Abstract: The wood frame construction has been recognized nationally, especially for meeting quality assessment and being an industrialized construction. Although wood frame is a technique known in other countries, there is a lack of research in Brazil that contributes to spread the system in the country. In light of this problem, this article aimed to classify the types of wood connections used in Brazil and verify how each type of connection is suitable for the wood frame system. The Saaty multi-criteria analysis method was used. The results indicate that the mortise-and-tenon would be the most adaptable connection, while the screws, the less adaptive.

Keywords: Industrialized construction, Wood frame components, Connections.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o sistema *light wood frame* vem ganhado espaço nos últimos anos, devido a possibilidade de pré-fabricação e alto índice de industrialização (Araujo et al., 2016). No entanto, ainda não existem normas para construção nesse sistema em território nacional (Sotsek e Santos, 2018). Diante desse cenário, é importante desenvolver pesquisas sobre o tema.

Reitherman e Cobeen (2003) e Sinha (2014) discutem que as ligações entre as peças dos painéis de *wood frame* são essenciais para garantir a estabilidade e a solidez na estrutura. Além dos critérios de resistência, as ligações devem atender critérios que facilitem o processo de industrialização na produção dos painéis. Dessa forma, deve-se atender a critérios de qualidade e produção, tais como: rapidez e facilidade para instalação, baixo custo, disponibilidade de fornecedores e bom rendimento de produção.

O objetivo desse trabalho foi classificar, segundo o método de análise multicritérios de Saaty, os tipos de ligações em madeira utilizadas no Brasil e verificar a funcionalidade de cada tipo de ligação para o sistema *wood frame*.

2. LIGAÇÕES DE MADEIRA APLICADAS AO WOOD FRAME NO BRASIL

Para o *wood frame*, os parafusos auto-atarraxantes são os mais utilizados, principalmente pois esse sistema utiliza madeiras de baixa densidade, o que elimina a necessidade de pré-furação (Calil Neto et al., 2014). Esse tipo de ligação não é abordado na norma NBR 7190 (ABNT, 1997), sendo o *Eurocode 5* (CEN, 2008) referência para essa modalidade. Os parafusos auto-atarraxantes são ligações que permitem angulação, o que confere maior resistência a ligação, no entanto, se faz necessário uso de dispositivo para garantir tal técnica. São ligações não desmontáveis, o que inviabiliza a desmontagem da estrutura em caso de edificações provisórias.

Dos conectores metálicos existentes, salienta-se as chapas dentadas, pois são conectores de rápida instalação, sem necessidade de mão-de-obra especializada e resistência estrutural satisfatória, sendo assim excelentes para a industrialização. Por outro lado, as chapas podem ser danificadas durante sua cravação, perdendo algumas unidades. Por este motivo, tem-se substituído sua utilização por chapas metálicas com múltiplos pregos, mesmo sendo necessário maior tempo de instalação, pois possuem comportamento estrutural semelhante (Pfeil e Pfeil, 2003).

Os entalhes e encaixes pertencem a uma tipologia de ligações historicamente muito desenvolvida na arquitetura japonesa, amplamente aplicada à produção de treliças, onde os esforços

interativos de compressão são transmitidos através de contato, podendo ou não haver presença de pinos metálicos para auxílio na estabilidade (Barbosa, 2015). Apresentam diversas modalidades. São ligações que permitem desmonte e que apresentam aspecto esteticamente mais agradável, pois não exibem elementos metálicos. No entanto, são necessárias técnicas especializadas de carpintaria, além de demandar maior tempo de produção.

3. METODOLOGIA

3.1 Definição de critérios

Para este trabalho foi utilizado o Método de Saaty para análise de multicritérios. Foram determinados cinco critérios para as ligações: rapidez na instalação (RI), medido pelo tempo da aplicação na ligação na madeira; facilidade na instalação (FI), considerando os recursos humanos e físicos necessários para execução da ligação; baixo custo (BC), associado ao preço da ligação; disponibilidade de fornecedores (DF), localização e quantidade de fornecedores e; alto rendimento (AR), refere-se à possibilidade de perda da ligação durante sua aplicação. Devido a carência de pesquisas que comparem a resistência estrutural das ligações aplicadas a painéis de *wood frame*, foi considerado que todos as ligações tivessem resistência satisfatória.

3.2 Definição das prioridades

Para o cálculo das prioridades, primeiro fez-se uma matriz comparativa, onde cada critério equivale a uma linha e uma coluna de índices iguais, que foi preenchida com o julgamento de relevância determinado pela escala de julgamento de Saaty (tabela 1).

Tabela 1. Escala de julgamento de Saaty. (Fonte: Adaptado de Saaty, 1991)

Escala Numérica	Escala Nominal
1	Os dois elementos têm igual relevância
3	Moderadamente relevante sobre o outro
5	Fortemente relevante sobre o outro
7	Muito fortemente relevante sobre o outro
9	Absolutamente relevante sobre o outro
2, 4, 6, 8	Valores intermediários, usados em caso de dúvidas entre dois graus de relevância

A tabela 2 mostra a normalização da matriz comparativa onde foi calculada a média aritmética de cada linha da matriz, encontrando o vetor das prioridades locais.

Tabela 2. Matriz comparativa com matriz normalizada dos critérios e o vetor prioridade associado. Em parênteses encontram-se os valores normalizados. (Fonte: Autor, 2019).

Critério	RI	FI	BC	DF	AR	Vetor Prioridade
RI	1 (0,056)	1/2 (0,034)	1/5 (0,069)	1/5 (0,069)	1/5 (0,036)	0,053
FI	2 (0,111)	1 (0,069)	1/5 (0,069)	1/5 (0,069)	1/3 (0,060)	0,076
BC	5 (0,278)	5 (0,345)	1 (0,345)	1 (0,345)	2 (0,361)	0,335
DF	5 (0,278)	5 (0,345)	1 (0,345)	1 (0,345)	2 (0,361)	0,335
AR	5 (0,278)	3 (0,207)	1/2 (0,172)	1/2 (0,172)	1 (0,181)	0,202
Total						1,000

A Equação 1 foi utilizada para determinação do autovalor (λ), onde $\sum_{j=1}^n a_{ij}$ é a soma dos números da coluna i e $\sum_{i=1}^n a_{ij}$ é a prioridade na linha j .

(1)

A Equação 2 foi utilizada para determinar o índice de consistência (*Consistency Index*), onde n é o número de critérios.

(2)

A equação 3 foi utilizada para determinar o valor de CR (*Consistency Ratio*), onde RI (*Random Index*) = 1,12, sendo RI (Saaty, 1991). Encontrou-se $CR = 0,053$.

(3)

A tabela 3 mostra os pesos determinados para quanto cada alternativa atende ao critério analisado. O somatório das multiplicações da prioridade pelo peso de atendimento de cada critério define o desempenho da alternativa ponderada.

Tabela 3. Peso de quanto cada alternativa atende ao critério analisado. (Fonte: Autor, 2019.)

Atende	Muito	Satisfatoriamente	Pouco	Nada
Peso	0,50	0,35	0,10	0,05

4. RESULTADOS

Os resultados para a análise multicritérios de Saaty estão ilustrados nas tabelas 4.

Tabela 4. Desempenho das ligações sob o aspecto da industrialização de acordo com o Método de Saaty. (Fonte: Autor, 2019).

Critério	Prioridade do critério	Atende	Peso	Desempenho
Ligação 1: Parafusos Auto-atarraxante				

RI	0,05	Satisfatoriamente	0,35	0,018
FI	0,08	Satisfatoriamente	0,35	0,026
BC	0,33	Pouco	0,10	0,033
DF	0,33	Pouco	0,10	0,033
AR	0,20	Muito	0,50	0,101
Desempenho total				0,213

Ligação 2: Chapas Dentadas

RI	0,05	Muito	0,50	0,026
FI	0,08	Muito	0,50	0,038
BC	0,33	Muito	0,50	0,167
DF	0,33	Pouco	0,10	0,033
AR	0,20	Pouco	0,10	0,020
Desempenho total				0,285

Ligação 3: Entalhes ou Encaixes

RI	0,05	Pouco	0,10	0,005
FI	0,08	Pouco	0,10	0,008
BC	0,33	Muito	0,50	0,167
DF	0,33	Muito	0,50	0,167
AR	0,20	Satisfatoriamente	0,35	0,071
Desempenho total				0,418

5. DISCUSSÕES

Dentre as três ligações, os parafusos auto-atarraxantes apresentam menor desempenho, pois atendem pouco aos critérios de baixo custo e disponibilidade de fornecedores, que em sua maioria, se encontram no sul do país. No entanto é a ligação de maior rendimento.

As chapas dentadas apresentam alto desempenho quanto a rapidez e facilidade na instalação, assim como no baixo custo, mas mostra muita deficiência quanto a disponibilidade de fornecedores e o seu rendimento, tendo em vista que foi encontrado apenas um fornecedor desse tipo de ligação para fins estruturais que atenda território nacional.

Num contexto de alta industrialização, os entalhes e encaixes têm melhor performance, pois não é preciso aquisição de peças, sendo a ligação realizada na própria madeira, mesmo necessitando de um maior recurso físico e humano e exigindo maior tempo de produção. Quanto ao rendimento, é preciso salientar que apesar da aplicação de técnicas de usinagem diminuir significativamente a probabilidade de perda, em caso de erros, perde-se toda a peça de madeira.

Para pesquisas futuras, sugere-se que leve em consideração a necessidade de investimento industrial, como a aplicação da técnica de usinagem em CNC (Computer Numeric Control) para realização de cortes industrializados, que eleva o custo da produção de encaixes e entalhes, podendo alterar os resultados encontrados. Assim como acrescentar a análise critérios estruturais baseado em dados experimentais.

6. CONCLUSÕES

- O Método de Saaty mostra-se um método eficiente para avaliação de vários critérios, vale ressaltar que por ser feito com base no julgamento pessoal, pode-se obter erros.
- Os parafusos auto-atarraxantes apresentam menor desempenho devido ao alto custo e a falta de fornecedores, mesmo que tenham o melhor rendimento. As chapas dentadas tiveram desempenho mediano, devido sua rapidez, facilidade e baixo custo.
- Mesmo precisando de um maior recurso físico e humano e exigindo maior tempo de produção, os entalhes e encaixes têm a melhor performance, pois não necessitam de aquisição de peças.

7. REFERÊNCIAS

Araujo, V A de et al. Classification of wooden housing building systems. *BioResources*, v. 11, n. 3, p. 7889–7901, 2016.

ABNT. NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira. 107 p., 1997.

Barbosa S I F. Reforço de ligações tradicionais de madeira. Dissertação. Universidade do Minho, Braga, 2015.

Calil Neto C et al. Self-Tapping Screws without Pre-Drilling for Brazilian Reforestation Species. *Advanced Materials Research*, v. 1025–1026, p. 345–348, 2014.

CEN. Eurocode 5 - Design of timber structures. 121 p., 2008.

Pfeil W, Pfeil M. *Estruturas de Madeira*. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

Reitherman R, Cobeen K. *Design Documentation of Woodframe Project Index Buildings*. California: CUREE, 2003.

Saaty TL. *Método de Análise Hierárquica*. São Paulo: Makron Books, 1991.

Sinha A. Postpeak residual capacity of nailed connections of a shear wall. *Holzforschung*, v. 68, n. 8, p. 987–992, 2014.

Sotsek NC, Santos APL. Panorama do sistema construtivo light wood frame no Brasil. *Ambiente Construído*, v. 18, n. 3, p. 309–326, 2018.