

COMPARATIVO DA RIGIDEZ E RUPTURA DE DOIS PAINÉIS ESTRUTURAIS DE MADEIRA MACIÇA LAMELAR UNIDA POR CAVILHAS COMPARATIVE OF STRENGTH AND RUPTURE OF TWO MASS TIMBER STRUCTURAL PANELS OF LAMELLAR JOINTED BY DOWELS

Marcos C. M. Pereira^{1*}, Vitor H. Minari², Luc Sohier³, Thierry Descamps⁴, Carlito Calil Junior⁵

¹Eng. Dr. Engenharia de Materiais SMM / EESC / USP.

²Graduando em Engenharia Civil pela EESC / USP.

³MSc. Engenharia arquitetônica, Faculdade de Engenharia de Mons / UMONS.

⁴Prof. Dr. Faculdade de Engenharia de Mons / UMONS.

⁵Prof. Dr. Departamento de Engenharia Estrutural SET / EESC / USP.

*Marcos C. M. Pereira¹: marcoscesar@sc.usp.br

CÓDIGO: 4619275

Resumo

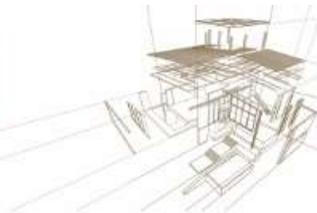
O uso de estruturas de madeira vem crescendo ao longo da última década, principalmente devido ao êxito que o sistema construtivo com painéis de Cross Laminated Timber (CLT) tem alcançado como elemento de estrutural. A partir do CLT, outros produtos engenheirados de madeira foram desenvolvidos para fins estruturais, usando como base o princípio do uso da madeira maciça como é o caso do NLT (Nail Laminated Timber), do DLT (Dowel Laminated Timber) e do DCLT (Dowel Cross Laminated Timber). Neste sentido, este trabalho tem o objetivo de avaliar a rigidez e os modos de ruptura de dois modelos de painéis de madeira maciça compostos por lamelas de madeira de conífera, unidas por cavilhas de madeira dura. Os painéis foram produzidos em laboratório com dimensões similares entre si, utilizando as mesmas espécies de madeiras: lamelas de *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* e cavilhas de Pau-roxo (*Peltogyne spp.*, *Leguminosae*), uma espécie amazônica de alta densidade. Foram realizados ensaios de flexão bi-apoiada com aplicação de carga central distribuída sobre os painéis, até a ruptura. Os resultados mostraram que o painel DCLT tem maior rigidez longitudinal, porém menor resistência à ruptura, ou seja, o painel DLT resiste à cargas mais elevadas. Isso se deve principalmente à geometria e a posição dos furos estarem alinhados na linha neutra do painel no DLT. De maneira geral, os dois painéis se foram capazes de resistir a elevadas cargas, da ordem de dez toneladas (100 kN), que denota ser possível a utilização para fins estruturais, desde que caracterizados e dimensionados para cada caso.

Palavras-chave: Dowel Laminated Timber, cavilhas, Painel de Madeira Maciça, DCLT, DLT.

Abstract

The use of timber structures has been increasing over the last decade, mainly due to the success that the Cross Laminated Timber (CLT) panel construction system has achieved as a structural element. From CLT, other engineered wood products were developed for structural purposes, based on the principle of using solid wood such as NLT (Nail Laminated Timber), DLT (Dowel Laminated Timber) and DCLT (Dowel Cross Laminated Timber). In this sense, this work aims to evaluate the stiffness and rupture modes of two models of solid wood panels composed of coniferous wood lamellae, joined by hardwood dowels. The panels were produced in a laboratory of similar sizes, using the same wood species: *Pinus taeda* and *Pinus elliotti* lamellae's and Pau-roxo (*Peltogyne spp.*, *Leguminosae*), a high-density Amazonian species. Bi-supported flexural tests were performed with application of a distributed central load on the panels until rupture. The results showed that the DCLT panel has higher longitudinal stiffness, but less rupture strength, that is, the DLT panel withstands higher loads. This is mainly due to the geometry and position of the holes aligned on the neutral line of DLT panel. In general, the two panels were able to withstand high loads, of the order of ten tons (100 kN), which denotes that it is possible to use for structural purposes, as long as they are characterized and dimensioned for each case.

Keywords: Dowel Laminated Timber, cavilhas, Mass Timber Panel, DCLT, DLT.



1. INTRODUÇÃO

A construção em painéis de madeira maciça tem ganhado espaço na construção, principalmente em países onde o uso da madeira é mais tradicional, como a região centro-norte da Europa e na América do Norte. O principal produto deste novo tipo de construção é o CLT (Cross Laminated Timber) ou em português, Madeira Lamelada Colada Cruzada (MLCC). Brandner (2016), ressalta que a conexão entre as camadas do CLT não necessariamente precisa ser feita através de adesivos, e que pode ser realizada por anéis metálicos, pregos, parafusos, cavilhas de madeira dura e até mesmo por parafusos de madeira. A partir deste conceito, outros produtos vêm sendo desenvolvidos e utilizados principalmente para estruturas de menor porte, como os NLT (Nail Laminated Timber) – em português Painel Lamelado Pregado – e o DLT (Dowel Laminated Timber) – em português, Painel Lamelado Cavilhado.

Tais produtos e suas variações já estão sendo fabricados em escala industrial em pequenas fabricas na Europa, sendo a maioria na Áustria, Alemanha e Suíça, e algumas no Canadá. Segundo Henderson (2011), havia cerca de vinte indústrias europeias fabricando painéis estruturais livres de adesivo na Europa, sendo que o produto mais comum eram os painéis cavilhados com uso da cavilha na direção perpendicular à direção das lamelas.

A principal diferença entre painel DLT e DCLT, é o fato do DLT ser um painel de lamelas paralelas unidos entre si por cavilhas de madeira. O DCLT é uma variação do CLT, ou seja, as lamelas são cruzadas e ortogonais entre si, e as cavilhas são usadas na direção perpendicular às lamelas.

A não utilização de adesivo estruturais traz algumas vantagens ambientais pois evita a utilização de produtos químicos na produção do painel. Segundo Thoma (2008) o uso de painéis a base de madeira que utilizam adesivos tais como OSB, MDF, compensados, entre outros, trouxeram desenvolvimento econômico para o setor florestal e madeireiro, porém retiraram todo o potencial ecológico do uso da madeira. Esta linha de pensamento tem sido alvo de pesquisas, principalmente na Europa, pois vai de encontro aos tratados internacionais relacionados às mudanças climáticas assinados por diversos países. Um exemplo disso são as pesquisas sobre DCLT conduzidas por Guan, et. al. (2018), da Universidade de Liverpool, na Inglaterra, que definiu uma sigla para diferenciar todos os produtos que não utilizam adesivos em sua concepção, os chamados AFEWPs (Adhesive Free Engineered Wood Products) – em português, Produtos Engenheirados de Madeira Livres de Adesivos.

Neste sentido, este trabalho tem o objetivo de avaliar a rigidez e os modos de ruptura de dois modelos de painéis de madeira maciça compostos por lamelas de madeira de conífera, unidas por cavilhas de madeira dura, livre de adesivos. O critério de escolha das espécies foi baseado nos requisitos da norma brasileira de estruturas de madeira NBR 7190 (ABNT, 1997) que define que a classe de resistência para a madeira da cavilha deve ser D60, ou seja, 60 MPa de resistência à compressão paralela às fibras, e também define que a resistência da cavilha deve ser maior que a resistência das peças a serem conectadas, por isso a escolha do pinus, que tem classe de resistência C25, além de ser proveniente de florestas plantadas da região sul do Brasil.

2. METODOLOGIA

2.1. Materiais

Os materiais estudados foram dois painéis de madeira formado por lamelas de madeira maciça de *Pinus Taeda* e *Pinus Elliotti* (classe estrutural C25) unidos por cavilhas de Pau-roxo



(*Peltogyne, Leguminosae*), uma madeira nativa da Amazônia de alta densidade (classe estrutural D60).

O primeiro painel foi construído com três camadas de lamelas, de forma cruzada, ou seja, a camada central foi posicionada transversalmente às demais camadas. As lamelas utilizadas tinham seção de 38 x 90 mm, formando um painel com espessura final de 114 mm. A união das camadas foi feita com uso de cavilhas de madeira de Pau-roxo com diâmetro de $\frac{3}{4}$ " (19,04 mm), e comprimento de 120 mm. A figura 1 apresenta o painel de lamelas cruzada caviladas (DCLT) e suas dimensões.

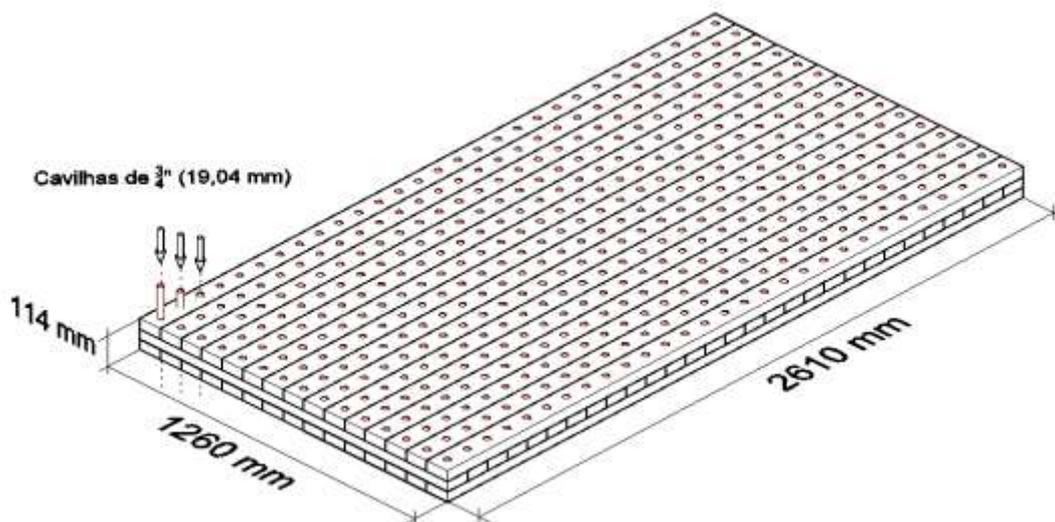


Figura 1: Painel DCLT

O segundo painel foi fabricado utilizando as mesmas espécies de madeira para as lamelas e para as cavilhas. As lamelas foram posicionadas alinhadas na mesma direção, sendo a dimensão de 38 mm como base e 90 mm como altura, e unidas lateralmente pelas cavilhas de 19,04 mm de diâmetro com 190 mm de comprimento feitas de madeira de Pau-roxo. A figura 2 apresenta o painel laminado cavilado (DLT) e suas dimensões e figura 3 apresenta como foi feita a distribuição das cavilhas para fixação das lamelas.

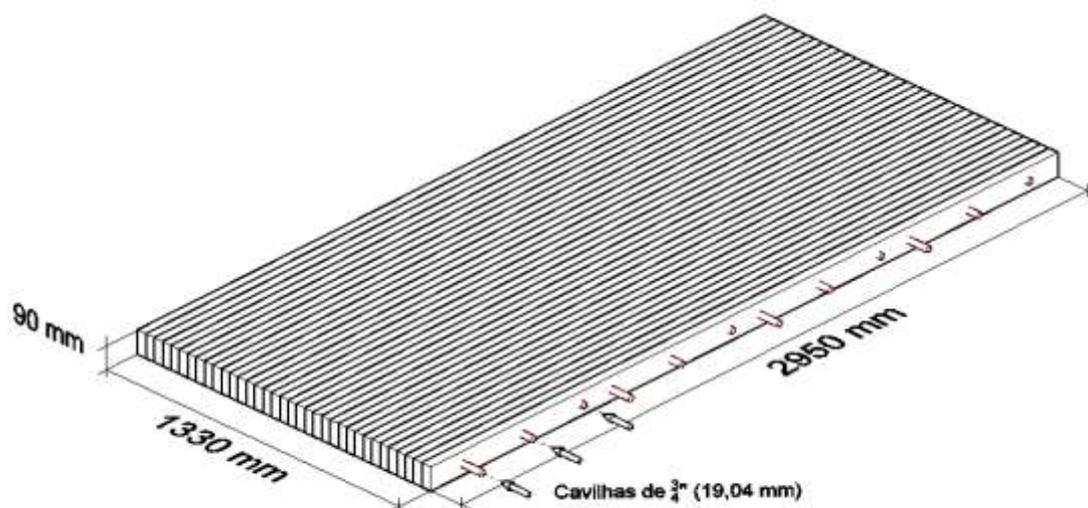




Figura 2: Painel DLT

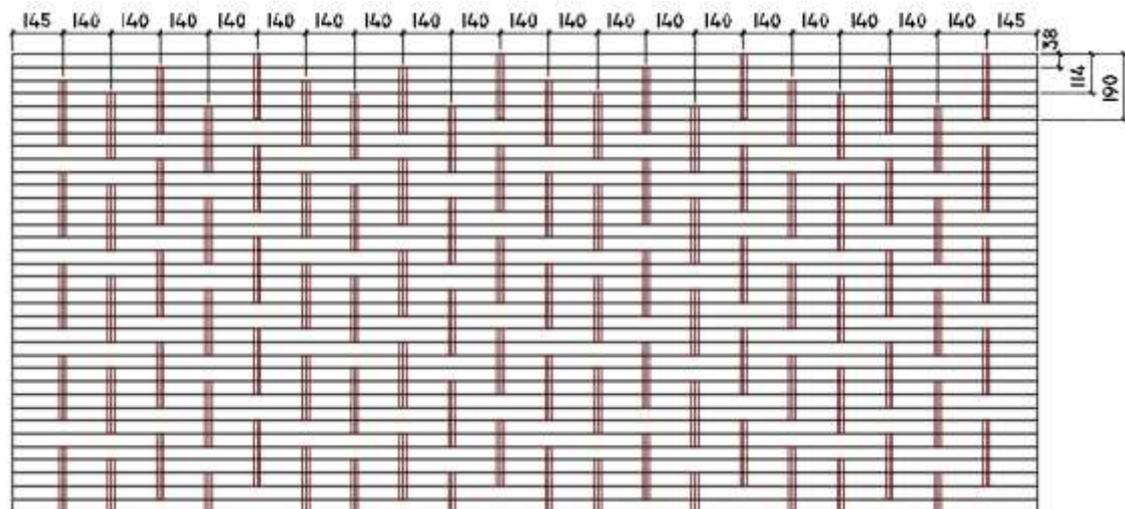


Figura 3: Detalhe da posição das cavilhas no Painel DLT

2.2. Métodos

Os painéis foram ensaiados em laboratório onde foram posicionados de forma bi-apoiada sobre uma laje de reação e abaixo de um pórtico de ensaio, onde, por meio de um cilindro hidráulico, foi aplicado uma carga distribuída na porção central dos painéis.

Para a captação dos deslocamentos verticais foram utilizados 15 transdutores de deslocamento (LVDT) ligados a um sistema de aquisição de dados. A captação da carga aplicada foi realizada por uma célula de carga posicionada entre o painel e o cilindro hidráulico.

Foram realizados três ciclos de carregamentos (aplicação da carga) e descarregamento, dentro da fase elástica do painel, com deformações menores do que $L/300$. O vão (L) para o painel de DCLT foi de 2410 mm e o para o painel DLT foi de 2750 mm.

A rigidez foi obtida através da equação 1, utilizando os valores da deformação vertical tomados durante a fase elástica do painel. O módulo de ruptura foi obtido através da equação 2. A figura 4 ilustra o ensaio no painel DCLT durante o ensaio e a figura 5 o painel DCLT após a ruptura.



Figura 4: Painel DCLT durante ensaio



Figura 5: Painel DCLT após ruptura por tração

$$EI = \frac{\Delta P \cdot L_0^3}{\Delta \delta \cdot 48} \quad (2)$$

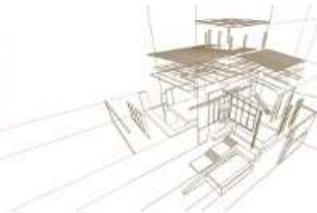
Onde:

ΔP = Variação da carga aplicada;

$\Delta \delta$ = Variação do deslocamento;

L_0 = vão livre;

$$MOR = \frac{1,5 PL_0}{bh^2} \quad (2)$$



Onde:

P = carga de ruptura;

L_0 = vão livre;

b = largura do painel;

h = altura do painel

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos para a Rigidez, Forças Máximas de Ruptura e Módulo de Ruptura (MOR) para cada modelo de painel.

Tabela 1: Rigidez, Forças de Ruptura e Módulo de Ruptura

Painel	Dim. [b x L x h] (mm)	EI_{medio} (kNm ²)	Fuerza Ruptura (kN)	MOR (MPa)
DLT	1330 x 2950 x 90	663	106	40,6
DCLT	1260 x 2610 x 114	727	96	21,2

A figura 6 apresenta de forma gráfica a comparação entre os painéis com relação ao deslocamento vertical durante aplicação de um carregamento.

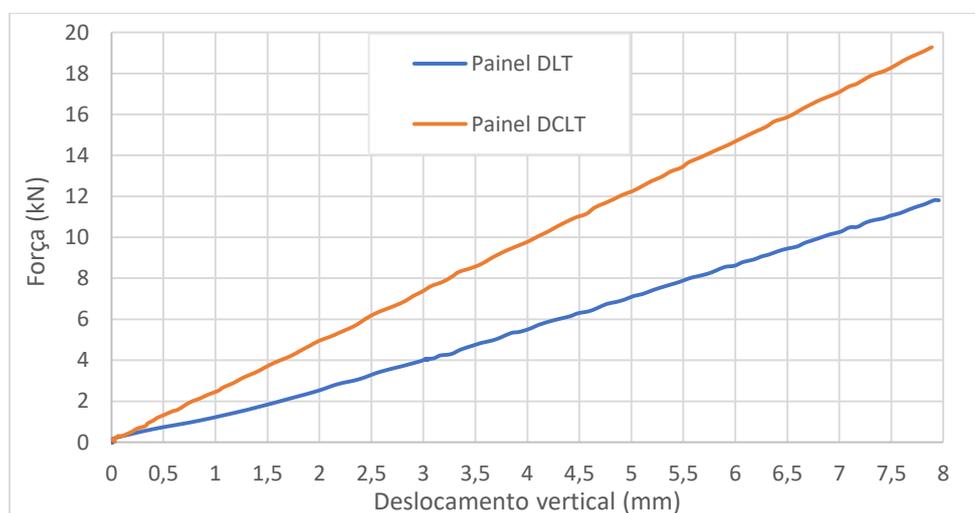
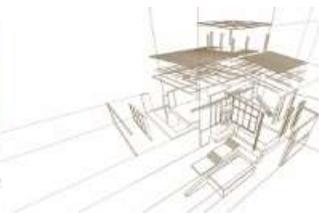


Figura 6: Comparação entre os painéis em relação aos deslocamentos versus a força

Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram que o módulo de ruptura para o painel DLT é maior do que para o painel DCLT, mesmo com uma menor carga de ruptura. Isso se deve às características geométricas, já que o painel DLT é maior que o painel DCLT, e também às configurações de montagem e posicionamento das lamelas. Como apresentado na Figura 7, o painel DLT tem os furos para encaixe das cavilhas todos alinhados no centro das lamelas, ou seja, a linha neutra onde as tensões na flexão são praticamente zero. Neste caso, as lamelas são solicitadas por meio de compressão paralela na parte superior e por tração paralela na parte



inferior, e os furos funcionam como um defeito natural (um nó) que gera uma descontinuidade nas fibras, que por sua vez gera um acúmulo de tensão, de onde começa a ruptura. Com essa configuração de furos alinhados na linha neutra, o painel suporta a mais cargas quando comparado ao painel DCLT.

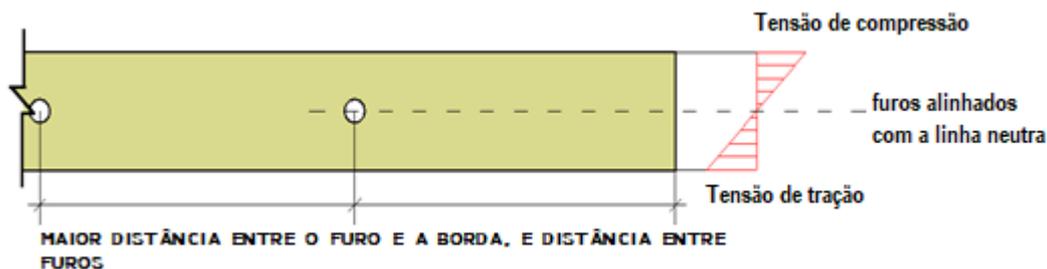


Figura 7: Distribuição de tensões no painel DLT

No caso do painel DCLT, a configuração transversal das lamelas promove uma menor tensão na camada central do que nas camadas externas, uma vez que é solicitada uma tensão perpendicular às fibras, que é aproximadamente 1/4 da resistência à tração paralela às fibras. Outro fator que faz com que este painel resista a menos carga é o número de cavilhas, necessitando de maior quantidade de furos que o painel DLT, e estes não estão alinhados na linha neutra (Figura 8), mas perpendicular às lamelas de modo que nas regiões mais requisitadas para tração e compressão há uma descontinuidade das fibras gerando assim a fissura que resulta na ruptura.

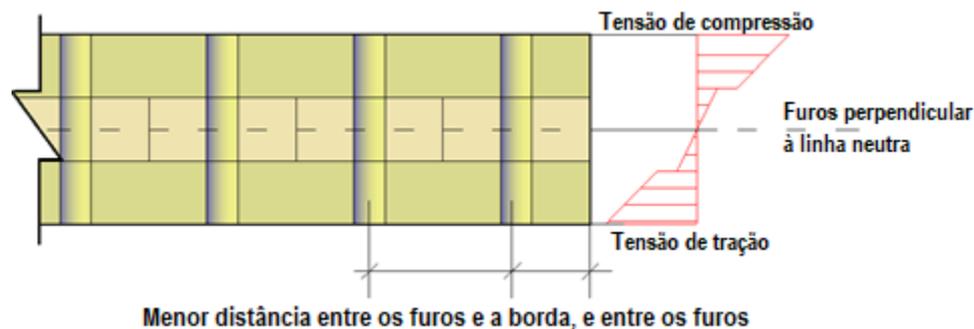


Figura 8: Distribuição de tensões no painel DCLT

A figura 9 apresenta fotos das rupturas dos painéis, mostrando os modos e locais de ruptura de cada painel.

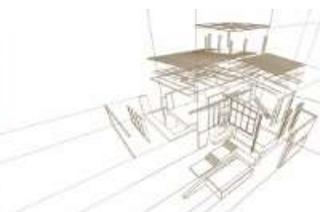


Figura 9: Indicação dos modos de ruptura de cada painel: à esquerda o painel DCLT; à direita o painel DLT

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que em termos de Estados Limites de Serviço, (ELS), o painel DCLT tem um comportamento estrutural melhor, pois, como ilustrado no gráfico da figura 6, o DCLT é mais rígido, isso significa menor deslocamento vertical com cargas mais elevadas. O painel DLT por outro lado, tem maiores deformações verticais, que podem não atender os requisitos do Estado Limite de Serviços, dependendo do vão a ser vencido. Em termos de Estado Limites Último, o painel DLT apresenta melhores resultados, devido à sua geometria e configuração de furos alinhados na linha neutra.

De maneira geral, os dois painéis se foram capazes de resistir a elevadas cargas, da ordem de dez toneladas (100 kN), que denota ser possível a utilização para fins estruturais, desde que caracterizados e dimensionados para cada caso.

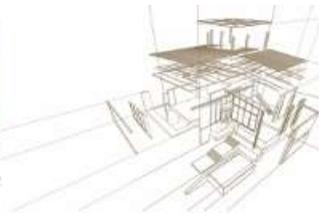
AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.

Brandner, R. Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report. In: Focus Solid Timber Solutions - European Conference on Cross Laminated Timber (CLT), proceedings, Graz, Austria, 2013



4º CONGRESO
LATINOAMERICANO
DE ESTRUCTURAS
DE MADERAS

Henderson, J. Brettstapel: An Investigation into the Properties and Merits of Brettstapel Construction. 2009. 92f. Dissertação (Mestrado) - Department of Architecture and Building Design, Faculty of Engineering, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, UK, 2009.

Guan, Z. et al. Development of Adhesive Free Engineered Wood Products –Towards Adhesive Free Timber Buildings. In: WCTE 2018. Annals of WCTE 2018. Seul, 2018.

Thoma, E. Vollholz Häuser: das Baum-prinzip für naturnahes Wohnen. Vienna - AT: Christian Brandstätter Verlag, 2008. 175 p.