

**SOBRE O EFEITO *ROLLING SHEAR* EM ELEMENTOS DE *CROSS LAMINATED*
TIMBER: UMA BREVE REVISÃO DE LITERATURA**

Cassiano A. G. Barros¹; Nilson T. Mascia¹; Mileny S. G. Souza²; Ramon Vilela^{1*}; Leandro Vanalli²

¹ Departamento de Estruturas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas (SP), Brasil.

² Departamento de Tecnologia (DTC), Universidade Estadual de Maringá (UEM), Umuarama (PR), Brasil.

* e-mail do autor correspondente: ramonvilela@outlook.com

Resumo: Devido à preocupação mundial em se utilizar de materiais mais sustentáveis, o *Cross Laminated Timber* (CLT) ou Madeira Lamelada Colada Cruzada (MLCC) vem sendo muito pesquisado e empregado na engenharia civil. Com o aumento do conhecimento científico deste produto, observou-se que em peças estruturais de CLT um dos modos de falha poderia ocorrer pelo efeito *rolling shear*. Neste sentido, este artigo buscou realizar um compilado de pesquisas que tratassem das propriedades mecânicas deste efeito, focando em literaturas científicas recentes nos quais abordassem diferentes espécies de madeira, bem como possíveis variáveis associadas a este efeito. Foi constatado que há muitos fatores que podem influenciar na resistência (f_t) e na rigidez (G_T) ao *rolling shear*, muito provavelmente pela madeira ser um material de origem natural. Sob esta perspectiva, é de interesse que mais pesquisas sejam realizadas para garantir um maior domínio técnico sobre peças de CLT por parte dos engenheiros.

Palavras-chave: CLT; MLCC; *Rolling shear*; Espécies de madeira; Literatura científica

**ON THE ROLLING SHEAR EFFECT ON CROSS LAMINATED TIMBER ELEMENTS: A
BRIEF LITERATURE REVIEW**

Abstract: Due to the worldwide concern to use more sustainable materials, Cross Laminated Timber (CLT) has been widely researched and used in civil engineering. With the increase in scientific knowledge of this product, it was observed that one of the failure modes in CLT pieces could occur due to the rolling shear effect. Thus, this article sought to carry out a compilation of researches that dealt with the mechanical properties of this effect, focusing on recent scientific materials, in which they approached different species of wood, as well as possible variables for this effect. It was found that there are many factors that can influence the strength (f_t) and stiffness (G_T) of rolling shear, most likely because wood is a natural source material. From this perspective, it is of interest that more research should be carried out to ensure greater technical mastery in CLT pieces by engineers.

Keywords: Cross Laminated Timber; Rolling shear; Wood species; Scientific literature

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento de estruturas de CLT (*Cross Laminated Timber*) houve um grande avanço nas pesquisas para caracterizar o comportamento mecânico deste produto. Desta forma, observou-se que um dos modos de falha neste material, quando utilizado estruturalmente, é causado por um efeito conhecido como *rolling shear* [1]. De acordo com [2], este é um fenômeno geralmente observado na flexão da placa, originário de tensões de cisalhamento dispostas perpendicularmente às camadas transversais. Esta configuração de esforços cortantes faz com que as fibras da madeira tendam a “rolar” uma sobre as outras, causando a ruptura da peça estrutural. Segundo [3], a rigidez deste efeito é avaliada pelo G_r (módulo de elasticidade transversal no *rolling shear*), medido no plano radial-tangencial das lamelas. Os valores desta propriedade podem sofrer variações devido à diferença entre espécies de madeira, teor de umidade, geometria da seção transversal etc. Conforme [2], por G_r possuir valores muito inferiores aos módulos de elasticidade transversais referentes aos outros dois planos ortogonais, o efeito do cisalhamento em estruturas de CLT não pode ser desprezado. Caso a ruptura da estrutura ocorra devido ao efeito *rolling shear*, estabelece-se que o material da estrutura atingiu sua capacidade de resistência máxima f_r . Cabe salientar que, embora já existam estudos sobre o efeito *rolling shear*, ainda há dúvidas com relação à sua magnitude em diversas espécies de madeira, bem como a conformidade entre valores normativos e dados experimentais. Com isso, este artigo busca realizar uma revisão de literatura de pesquisas relacionadas ao efeito *rolling shear*, as quais procuram quantificá-lo quanto a sua resistência e rigidez em diferentes espécies de madeira, bem como analisar possíveis variáveis envolvidas para este efeito.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa visa realizar uma revisão de literatura sobre o efeito *rolling shear*, a qual se utilizou de parâmetros de busca para a obtenção da literatura a fim de se efetuar análises críticas. Primeiramente, para a elaboração do trabalho foi efetuado uma busca de materiais científicos dos quais pudessem trazer informações relevantes a respeito do assunto, priorizando literaturas mais recentes. Em um total, foram discutidas 15 bibliografias abordando o efeito *rolling shear* cuja abordagem era orientada para a análise mecânica deste efeito, estudando a resistência e a rigidez a ele em diversas espécies, bem como as possíveis variáveis a ele inerentes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A antiga norma brasileira de estruturas de madeira não tratava de peças confeccionadas em

CLT e não trazia por consequência um procedimento para a determinação das propriedades inerentes ao efeito *rolling shear*. Todavia esta norma foi recentemente atualizada [4], trazendo o CLT em seu bojo bem como constando com metodologia de ensaio para a caracterização deste efeito, baseada nas normas europeias, tais como a BS EN 789 [5] e BS EN 16351 [6]. Quando há falta de dados experimentais algumas literaturas trazem valores e expressões para definir em projeto a resistência e a rigidez ao *rolling shear*. Ross e Gagnon [7] propõem que o módulo de elasticidade transversal no *rolling shear* possa ser considerado como um décimo do módulo de elasticidade transversal paralelo às fibras (G_0), contudo, no texto da ETA-06/0138 [8] é recomendado que G_r seja igual a 50 MPa. Com relação à resistência ao *rolling shear*, o uso de 1,10 MPa e em casos especiais o valor de 0,77 MPa é prescrito na BS EN 16351 [6]. Entretanto, alguns trabalhos buscaram caracterizar tais propriedades de várias espécies diferentes de madeira através de análises experimentais. Algumas destas pesquisas são relatadas a seguir.

Na pesquisa de Souza [9], foram ensaiados corpos de prova de *push out* provenientes de dois tipos de painéis de CLT de três camadas: uma amostra utilizando-se da espécie *Pinus taeda* e outra *Eucalyptus grandis*. 20 corpos de prova de cada espécie foram extraídos para a determinação de G_r e f_r , tendo o ensaio baseado nas normas brasileira NBR 7190-7 [10] e europeia EN 408 [11]. Os valores médios encontrados para a resistência e rigidez ao *rolling shear* na espécie de *Pinus taeda* foram de 1,9 MPa e 140 MPa, e para o *Eucalyptus grandis* foram de 1,8 MPa e 146 MPa, respectivamente. Ambos os valores das propriedades entre as espécies não diferiram estatisticamente.

Wu, Zhong e Ren [12] estudaram a madeira do tipo *Spruce-pine-fir* (SPF), buscando encontrar os valores de resistência e rigidez do *rolling shear*. Em contrapartida, a análise foi direcionada para avaliar tais propriedades quando se altera a inclinação das fibras na camada transversal de CLT somado com a variação da razão entre a largura da lamela transversal e a espessura da mesma. Os corpos de prova foram esquematizados seguindo as recomendações da EN 408 [11]. Através de análises teóricas e experimentais concluíram que o módulo de elasticidade transversal aparente no *rolling shear* pode ser considerado idêntico a G_r quando a inclinação das fibras da camada transversal for de 0° e 90°, todavia com ângulo de 45° os valores ficam muito elevados. Além disso, mostraram que tanto $G_{r,ap}$ quanto f_r aumentaram ao se utilizar lamelas transversais com a razão largura/espessura maior.

Cao *et al.* [13] focaram no estudo da resistência ao *rolling shear* na espécie *Pinus spp* analisando seis tipos de configurações, compostas pelas combinações das seguintes características: lamelas com nós deteriorados (DK), nós sadios (SK), sem nós (NK), com medula (P) e sem medula

(NP). Assim foram formados os ensaios DK-P, SK-P, NK-P, DK-NP, SK-NP e NK-NP. Os ensaios experimentais foram feitos pelo teste de cisalhamento de duas placas e pelo teste de flexão de vão curto pelo qual foram utilizados dados para o desenvolvimento dos cálculos pelo método analítico *Shear Analogy*. Os resultados indicaram valores mais conservadores para o método analítico, diferentemente do teste de cisalhamento de duas placas o qual apresentou valores maiores de resistência ao *rolling shear*. Além disso, os resultados mostraram que a diferença entre as resistências ao *rolling shear* dos grupos NP e P só foi significativa combinadas apenas com SK. Com relação aos tipos de nós, os ensaios DK e SK mostraram ter resistências maiores em relação NK, expondo que a presença de nós não prejudica a resistência para este efeito.

Ehrhart e Brandner [14] produziram uma pesquisa voltada para avaliação de vários parâmetros que podem influenciar na resistência e rigidez ao efeito *rolling shear*: espécie da madeira, padrão dos anéis de crescimento, razão entre a largura e a espessura das lamelas transversais e a quantidade destas na camada transversal. Os ensaios foram baseados na EN 408 [11] com a finalidade de se obter G_r e f_r . As espécies utilizadas foram *Norway spruce*, *European birch*, *European ash*, *Poplar*, *European beech* e *Pine*. Os autores encontraram maiores valores de resistência e rigidez para a madeira do tipo *European ash* e menores valores para *Norway spruce*. Além disso, a variação de alguns parâmetros demonstrou que as propriedades mecânicas estudadas são dependentes de tais parâmetros, pois foi observado que: quanto menor o raio dos anéis de crescimento maior é a resistência e a rigidez ao *rolling shear*, tendo uma maior influência no G_r ; quanto maior a razão entre largura e espessura maior é o valor destas propriedades; tal resistência diminui quando se utiliza mais de uma camada transversal, embora a rigidez aumente.

No trabalho de Wang *et al.* [15], foi estudada a influência da orientação dos anéis de crescimento, a distância a medula e sua presença, na espécie *Populus deltoides* e o ensaio utilizado foi o da norma EN 408 [11]. Concluiu-se que a presença da medula reduz muito a resistência e rigidez ao *rolling shear*. O aumento destas propriedades mostrou ser proporcional ao aumento da distância à medula. A orientação dos anéis de crescimento apresentou valores heterogêneos e os autores atribuíram tal fato à possibilidade do efeito da diferença entre as distâncias entre as medulas de cada grupo.

4. CONCLUSÕES

Após a análise das bibliografias alguns pontos se tornaram bastante evidentes. As divergências nos valores das propriedades do *rolling shear* não estão restritas apenas entre espécies, mais sim dentro de uma mesma espécie, pois parâmetros como razão entre largura e espessura de lamelas transversais, raio dos anéis de crescimento, orientação das fibras, entre outros, alteram os

valores das propriedades de maneira significativa. Vale destacar que, na grande maioria das pesquisas, os valores encontrados eram muito superiores aos valores mínimos estipulados por algumas literaturas quando não se possuíam análises experimentais. Além disso, tais valores são sugeridos de maneira generalizada e conservadora. Por fim, devido à extrema variação, este efeito necessita de mais estudos, possibilitando a elaboração de literaturas normativas mais completas, tornando a análise deste efeito feita de forma mais precisa.

REFERÊNCIAS

- [1] Shahhosseini, S.; Crovella, P. L.; Smith, W. B. Comparing the effect of presence of the knot and the size of the knot on the rolling shear properties in cross laminated timber (CLT) by modified planar shear test and fem analysis. WCTE 2021 – World conference on timber engineering, 2021; 9-12.
- [2] Vilela, R. Desempenho estrutural de placas de *Cross Laminated Timber* submetidas à flexão. 2020. 249 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.
- [3] Popovski, M.; Gagnon, S.; Mohammad, M.; Chen, Z. Structural design of cross laminated timber elements. In: Canadian CLT Handbook. Canadian: FPInnovations. 2019.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190-1: Projeto de estruturas de madeira — Parte 1: Critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro, 2022.
- [5] Comité Européen de Normalization. BS EN 789 - Timber structures: Test methods - Determination of mechanical properties of wood based panels. Brussels, 2004.
- [6] Comité Européen de Normalization. BS EN 16351 - Timber structures - Cross laminated timber - Requirements. Brussels, 2015.
- [7] Ross, L. A.; Gagnon, S.; Keith, E. Structural design of cross-laminated timber elements. In: CLT Handbook: cross laminated timber. Pointe-Claire: Erol Karacabeyli & Brad Douglas. 2013.
- [8] European Technical Assessment. ETA-06/0138. Austrian Institute of Construction Engineering, Teufenbach, 2017.
- [9] Souza, M. S. G. Avaliação do efeito *rolling shear* em corpos de prova de *Cross-Laminated Timber* (CLT) das espécies de *Pinus taeda l.* e *Eucalyptus grandis*. 2022. 91 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Maringá, Umuarama, 2022.
- [10] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190-7: Projeto de estruturas de madeira — Parte 7: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada cruzada. Rio de Janeiro, 2022.
- [11] Comité Européen de Normalization. EN 408+A1. Timber structures – structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties. Brussels, 2012.
- [12] Wu, G.; Zhong, Y.; Ren, H. Effects of Grain Pattern on the Rolling Shear Properties of Wood in Cross-Laminated Timber. *Forests*. 2021; 12 (5).
- [13] Cao, Y.; Street, J.; Li, M.; Lim, H. Evaluation of the effect of knots on rolling shear strength of cross laminated timber (CLT). *Construction and Building Materials*. 2019; 222: 579-587.

- [14] Ehrhart, T.; Brandner, R. Rolling shear: Test configurations and properties of some European soft- and hardwood species. *Engineering Structures*. 2018; 172: 554-572.
- [15] Wang Z.; Dong W.; Wang Z.; Zhou J.; Gong M. Effect of macro characteristics on rolling shear properties of fast-growing poplar wood laminations. *Wood research*. 2018; 63 (2): 227-238.