

12º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2021

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE CÁLCULO PARA ELEMENTOS DE MADEIRA LAMINADA CRUZADA SUBMETIDOS À TRAÇÃO E COMPRESSÃO

FABRICIO S. AGUIAR¹, PEDRO H. T. ANDREATA², CRISTIANE P. MARIN³

¹ Graduando em Engenharia Civil, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Votuporanga, fabricio.silva@aluno.ifsp.edu.br

² Graduando em Engenharia Civil, Voluntário PIVICT, IFSP, Câmpus Votuporanga, andreata.pedro@aluno.ifsp.edu.br

³ Professora Ma. da área de Edificações, IFSP, Câmpus Votuporanga, crismarin@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): Estruturas de Madeiras – 3.01.02.02-2

RESUMO: O recente e inovador sistema estrutural em madeira laminada cruzada, popularmente conhecido pela sigla CLT do inglês *Cross Laminated Timber*, é tema de estudo desta pesquisa que visa à compreensão das diferentes rotinas de cálculo apresentadas para essa tecnologia. O estudo comparativo aqui desenvolvido entre dois principais manuais internacionais foca no dimensionamento à tração e compressão dos elementos em CLT. Por se tratar de um material compósito e relativamente novo na construção civil existem diversas particularidades e considerações abordadas nas diretrizes fazendo-se necessária a confrontação de cada uma delas.

PALAVRAS-CHAVE: CLT; Dimensionamento; Manuais Internacionais.

COMPARISON OF CALCULATION METHODS FOR CROSS LAMINATED TIMBER ELEMENTS SUBMITTED TO TRACTION AND COMPRESSION

ABSTRACT: The recent and innovative Cross-Laminated Timber (CLT) structural system is the subject of study of this research that aims to understand the different calculation routines presented for this technology. The comparative study developed here between two main international manuals focuses on the traction and compression dimensioning of CLT elements. As it is a composite material and relatively new in civil construction, there are several particularities and considerations addressed in the guidelines, making it necessary to confront each one of them.

KEYWORDS: CLT; Dimensioning; International Manuals.

INTRODUÇÃO

Côrtes (2010) relata que a sustentabilidade tem ganhado espaço de relevância em muitas áreas da indústria moderna. Contudo, no Brasil, a Indústria de Construção Civil se encontra defasada quanto à responsabilidade socioambiental sendo responsável por boa parte da degradação do meio ambiente seja na geração de resíduos ou na emissão de dióxido de carbono pela produção de cimento e aço ou, também, na grande utilização dos recursos naturais não renováveis.

Um maior uso da madeira na construção, associado a florestas e plantações certificadas, pode contribuir significativamente para a inversão do processo acelerado de poluição do planeta Terra e atender as responsabilidades ambientais que vigoram atualmente. Deste modo, os painéis de Madeira Laminada Cruzada (*Cross Laminated Timber* – CLT), exemplificado na Figura 1, vêm em um crescimento exponencial devido sua tecnologia inovadora. O CLT é “um produto de madeira engenheirada pré-fabricado feito de pelo menos três camadas ortogonais de madeira laminada serrada que são coladas com adesivos estruturais” (ANSI/APA PRG 320, 2018, p.3).

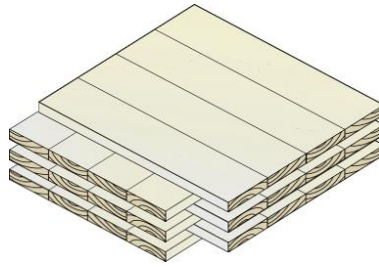


Figura 1 - Configuração do painel de CLT.
Fonte: CLT Handbook (2013).

Por não haver ainda um consenso mundial a respeito de métodos de dimensionamento do CLT, cada país acaba adotando suas particularidades. Neste contexto, buscou-se com esta pesquisa estudar diferentes rotinas de cálculo apresentadas para o dimensionamento estrutural de madeira laminada cruzada. Em função das divergências que podem ocorrer entre uma normativa e outra e levando em consideração a importância crescente desse material num contexto mundial, justifica-se a necessidade do estudo comparativo realizado. A comparação foi focada no dimensionamento de elementos tracionados e comprimidos.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa teve início com o levantamento e tradução de textos internacionais sobre o tema CLT focando no dimensionamento, pelo Método dos Estados Limites, de elementos tracionados e comprimidos. Foi possível levantar duas rotinas de cálculo, uma de acordo com a normativa americana citada aqui como CLT Handbook (2013) e outra conforme a diretriz europeia referenciada aqui por Wallner-Novak et al. (2014). Por fim, realizou-se um estudo comparativo entre as duas normas.

Tendo em vista que uma estrutura deve ser projetada e construída de modo a desempenhar suas funções de forma segura durante toda sua vida útil, a NBR 7190:1997 faz uso do Método dos Estados Limites para garantir a segurança estrutural, sendo:

$$S_d \leq R_d \quad (1)$$

em que:

S_d – Solicitação de cálculo;

R_d – Resistência de cálculo.

Como as normas brasileiras se baseiam no método dos Estados Limites, o comparativo foi feito apenas neste. Porém, é possível encontrar roteiros na normativa americana para o método das Tensões Admissíveis também.

Os estados limites podem ser classificados em duas categorias: Estados Limites Últimos (aqueles correspondentes ao esgotamento da capacidade portante da estrutura) e Estados Limites de Utilização (aqueles correspondentes às exigências funcionais e de durabilidade da estrutura).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico será apresentada e discutida a rotina de cálculo para painéis de CLT submetidos à tração e compressão conforme Wallner-Novak et al. (2014) e CLT Handbook (2013) para que as verificações de resistência sejam satisfeitas.

1. TRAÇÃO

Já que não se deve confiar na madeira para resistir a tensões de tração perpendiculares às fibras, em ambas as normativas são apresentadas apenas as verificações para o esforço paralelo às fibras.

Em CLT Handbook (2013), a segurança para elementos tracionados, para Estado Limite Último, é garantida quando a seguinte condição for satisfeita:

$$N_{t,0,d} \leq \frac{f_{t,0,k} * A_0}{2,1} * C_M * C_t * K_F * \phi * \lambda \quad (2)$$

em que:

$N_{t,0,d}$ – esforço de tração de cálculo aplicado paralelamente à direção das fibras;

A_0 - área das camadas com fibras paralelas à direção da carga;

$f_{t,0,k}$ - resistência característica à tração paralela às fibras;

C_M – fator de umidade, de acordo com o item 10.3.3 da NDS (2018);

C_t – fator de temperatura, de acordo com a Tabela 2.3.3 da NDS (2018);

K_F - fator de conversão de formato, pode ser obtido na Tabela 1 do Capítulo 3 da CLT Handbook (2013);

ϕ – fator de resistência, pode ser obtido na Tabela 1 do Capítulo 3 da CLT Handbook (2013);

λ – fator de efeito de tempo, valor obtido na Tabela N3 do Apêndice N.3.3 da NDS (2018).

No entanto em Wallner-Novak et al. (2014) a resistência à tração paralela às fibras é aumentada por um coeficiente, denominado Coeficiente de Sistema (k_{sys}), ficando da seguinte forma:

$$N_{t,0,d} \leq \frac{f_{t,0,k} * A_{0,liquida}}{\gamma_m} * k_{mod} * k_{sys} \quad (3)$$

em que:

γ_m – fator de segurança parcial cujo valor na Europa varia dependendo do país. Por exemplo, na Inglaterra vale 1,25 e na França 1,3 (ver Tabela 3-9 em Wallner-Novak et al. (2014));

k_{mod} – coeficiente de modificação (leva em consideração a duração de carga e teor de umidade), encontrado na Tabela 3-7 em Wallner-Novak et al. (2014);

$A_{0,liquida}$ – é o somatório de todas as áreas ($b*d$) que estão com as fibras paralelas ao esforço, multiplicadas pela relação entre o módulo de elasticidade longitudinal de cada lâmina por um módulo de elasticidade longitudinal escolhido como de referência (E_c), conforme a Equação 4:

$$A_{0,liquida} = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_c} * b * d_i \quad (4)$$

k_{sys} - coeficiente de sistema. A resistência pode ser aumentada pela colagem de várias tábuas unidas em paralelo em uma camada. A distribuição de carga ocorre em vários elementos estruturais simultaneamente possibilitando o aumento da resistência. Este valor é retirado do gráfico da Figura 2.

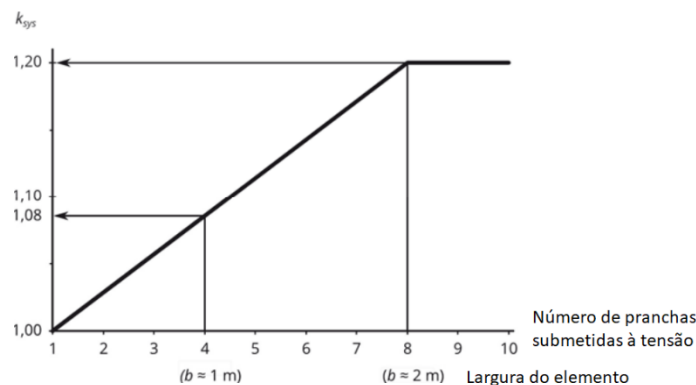


Figura 2 - Relação entre o número de placas sujeitas a tensão e k_{sys} .

Fonte: adaptado de Wallner-Novak et al. (2014).

Em Wallner-Novak et al. (2014) são apresentadas soluções para quando a carga de tração ocorrer perpendicular ao plano dos painéis, conforme a Figura 3.

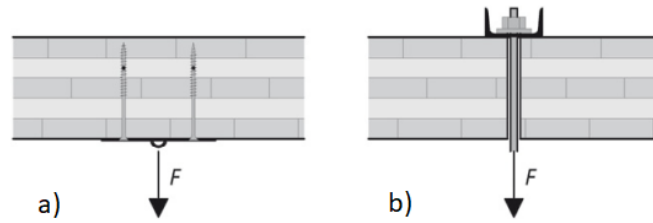


Figura 3 – Sugestões de projeto para cargas de suspensão: a) parafusar até quase toda a espessura do elemento; b) atravessar o parafuso transferindo a carga como compressão na face oposta.
Fonte: adaptado de Wallner-Novak et al. (2014).

2. COMPRESSÃO

Em CLT Handbook (2013), a segurança no Estado Limite Último para elementos comprimidos, sujeitos à flambagem, é garantida quando a seguinte condição for satisfeita:

$$N_{c,0,d} \leq \frac{f_{c,0,k} * A_0}{1,9} * C_M * C_t * C_p * K_F * \phi * \lambda \quad (5)$$

em que:

$N_{c,0,d}$ - esforço de compressão de cálculo aplicado paralelamente à direção das fibras;

$f_{c,0,k}$ - resistência característica à compressão paralela às fibras;

C_p – fator de estabilidade para elementos sujeitos à flambagem, obtido pela Equação 6.

$$C_p = \frac{1 + \left(\frac{P_{cE}}{P_c^*}\right)}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \left(\frac{P_{cE}}{P_c^*}\right)}{2c}\right]^2 - \frac{\left(\frac{P_{cE}}{P_c^*}\right)}{c}} \quad (6)$$

em que:

$$P_c^* = \frac{f_{c,0,k} * A_0}{1,9} * C_M * C_t * K_F * \phi * \lambda;$$

c – 0,9 para CLT;

P_{cE} – carga crítica de flambagem, de acordo o item 2.2.2 CLT Handbook (2013).

Para situações no qual os elementos não estão sujeitos à flambagem (verificação de compressão no apoio de elementos, por exemplo) a verificação para o esforço de compressão paralelo às fibras é igual ao dado pela Equação 5, retirando o coeficiente C_p .

Para verificação de compressão perpendicular às fibras, deve ser obedecida a seguinte equação:

$$N_{c,90,d} \leq \frac{f_{c,90,k} * A_c}{1,0} * C_M * C_t * K_F * \phi \quad (7)$$

em que:

$N_{c,90,d}$ - esforço de compressão aplicado perpendicularmente à direção das fibras;

$f_{c,90,k}$ - resistência característica à compressão perpendicular às fibras;

A_c – área sujeita à compressão perpendicular às fibras.

Em Wallner-Novak et al. (2014) a condição de resistência a compressão paralela às fibras é expressa por:

$$N_{c,0,d} \leq \frac{f_{c,0,k} * A_{0,líquida}}{\gamma_m} * k_{mod} \quad (8)$$

Outra situação trazida por esses autores é a compressão transversal ao plano do elemento:

$$N_{c,90,d} \leq \frac{f_{c,90,k} * A_{ef}}{\gamma_m} * k_{mod} * k_{c,90} \quad (9)$$

em que:

A_{ef} - área de contato efetiva sob tensão na superfície do elemento. Na direção da fibra das camadas superiores, o comprimento de contato pode ser aumentado em 30 mm em ambos os lados;

$k_{c,90}$ - coeficiente para consideração das condições de contorno. Para cargas pontuais: $k_{c,90} = 1,90$ para carga aplicada longe da borda, a uma distância superior a duas vezes a espessura do CLT; e $k_{c,90} = 1,40$, para carga aplicada na borda e no canto.

No comparativo entre as duas normativas percebe-se que a diferença está nos tipos e quantidades de fatores usados para a correção da resistência mecânica. A normativa norte-americana traz um detalhamento maior destes fatores e ao mesmo tempo simplicidade na análise. Um exemplo é a verificação da resistência à compressão paralela que para levar em consideração o efeito de flambagem basta apenas acrescentar o coeficiente C_p .

Na normativa europeia a análise de estabilidade para elementos comprimidos é feita à parte, como um caso de flexo-compressão.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentadas as rotinas de cálculo de CLT para elementos tracionados e comprimidos conforme duas diretrizes de referência, comparando-as para uma melhor compreensão de um material que já está sendo utilizado no Brasil, porém, sem nenhuma normativa nacional ainda.

Esta pesquisa pode ser um guia para o dimensionamento de elementos tracionados e comprimidos em madeira laminada cruzada, já confrontando as particularidades dos países que mais usam a tecnologia.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia pela bolsa recebida no ano de 2020, por meio do programa PIBIFSP.

REFERÊNCIAS

AMERICAN WOOD COUNCIL. National Design Specification for wood construction (NDS). 2018 Edition. Leesburg, VA, USA. American National Standard Institute - ANSI/AWC NDS - 2018.

APA – The Engineered Wood Association. Standard for performance-rated cross-laminated timber, ANSI/APA PRG 320. Tacoma, Washington, U.S.A. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-7190:1997, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Projeto de Estruturas de Madeira. NBR- 7190:1997. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

CÔRTEZ, R.G. Contribuições para a sustentabilidade na construção civil. Revista Eletrônica Sistemas & Gestão. Rio de Janeiro. Vol. 6; N. 3; 2011; p. 384-397. Ano 2010.

FPINNOVATION. CLT Handbook US Edition. Port-Claire, QC, Canadá, 2013.

Wallner-Novak, M; Koppelhuber, J. e Pock, K. (2014) Cross-Laminated Timber Structural Design. Basic design and engineering principles according to Eurocode. Pro:Holz Austria. ISBN: 978-3-902026-03-6