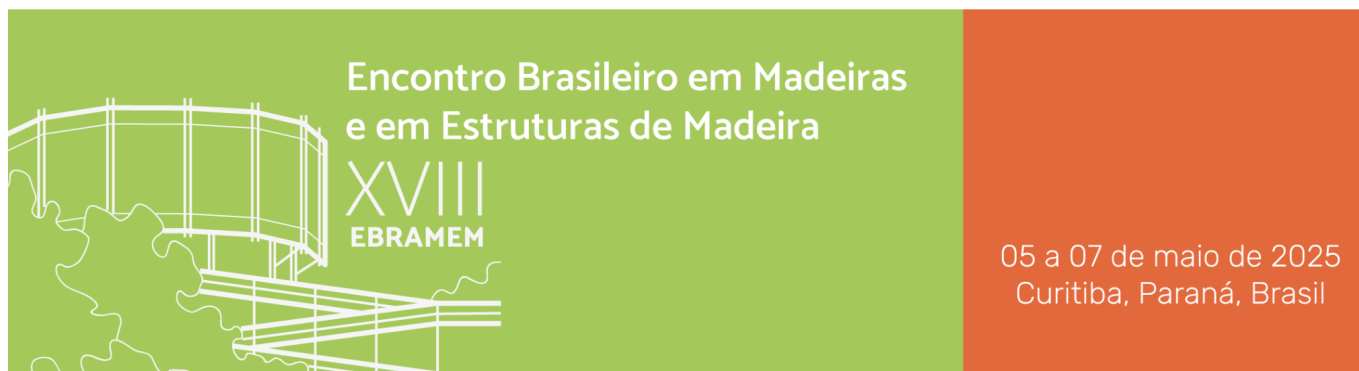




PROCEDIMENTO DE ANÁLISE ESTRUTURAL DE PLACAS COMPOSTAS DE CROSS-LAMINATED TIMBER E CONCRETO

Ramon Vilela Bergamin^{1*}; Nilson Tadeu Mascia¹

*Autor de contato: ramonvilela@outlook.com.

¹ Departamento de Estruturas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil

RESUMO

Com o aumento da demanda por madeira na construção civil em escalas nacional e internacional, os projetos arquitetônicos têm se tornado cada vez mais ambiciosos, exigindo soluções estruturais mais avançadas para esse material. Placas compostas de Cross-Laminated Timber (CLT) e concreto apresentam-se como uma solução promissora para atender a essa demanda, mas ainda carecem de procedimentos normativos bem definidos. Neste contexto, este artigo tem como objetivo fornecer um procedimento de análise e verificação estrutural de placas de CLT-concreto por meio do método gama iterativo, além de comparar os resultados analíticos com dados experimentais disponíveis na literatura. A rotina de cálculo demonstrou a verificação dos estados limites últimos em relação à flexão e cisalhamento, bem como dos estados limites de serviço em relação a deslocamentos e vibrações excessivas. O procedimento foi programado em linguagem Matlab, e seus resultados de limites de carregamento e comportamento estrutural foram comparados com os de 21 placas ensaiadas. As curvas força-deformação apresentaram boa aderência aos resultados experimentais, enquanto os carregamentos de projeto situaram-se em níveis seguros, abaixo dos valores observados em laboratório. O método gama iterativo mostrou-se eficaz e seguro para o dimensionamento simplificado de placas de CLT-concreto.

Palavras-chave: CLT-Concreto; Método Gama Iterativo; ELU; ELS.

ABSTRACT

With the increasing demand for timber in the construction industry on both national and international scale, architectural projects have become increasingly ambitious, requiring more advanced structural solutions for this material. Cross-Laminated Timber (CLT) and concrete composite panels are presented as a promising solution to meet this demand; however, they still lack well-defined normative procedures. In this context, this paper aims to provide a structural analysis and verification procedure for CLT-concrete panels using the gamma iterative method, as well as to compare the analytical results with experimental data available in literature. The calculation routine demonstrated the verification of ultimate limit states in terms of bending and shear strength, as well as serviceability limit states in terms of displacements and excessive vibrations. The procedure was programmed in Matlab, and its load-bearing limits and structural behaviour results were compared with those of 21 tested panels. The force-deformation curves showed good agreement with the experimental results, while the design loads remained within safe levels, below the values observed in laboratory tests. The gamma iterative method shown to be effective and reliable for the simplified design of CLT-concrete panels.

Keywords: CLT-concrete; Gamma Iterative Method; ULS; SLS.

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento da demanda por madeira na construção civil em escala nacional e internacional (Norte, 2024), os projetos arquitetônicos estão se tornando cada vez mais ambiciosos, exigindo soluções estruturais mais avançadas para esse material. Entre essas soluções, destacam-se as intervenções industriais voltadas à produção de madeira engenheirada, principalmente para produtos amplamente utilizados, como a Madeira Laminada Colada (MLC), a Madeira Laminada Colada Cruzada (MLCC, também conhecida como Cross-Laminated Timber, CLT, no mercado internacional), o *Laminated Veneer Lumber* (LVL) e o *Oriented Strand Board* (OSB).

Além disso, para que a madeira engenheirada se estabeleça como uma alternativa economicamente viável, sua combinação com outros materiais surge como uma estratégia promissora. Mendonça (2019) explica que estruturas compostas são aquelas formadas por dois ou mais materiais que, quando integrados, apresentam desempenho superior em comparação aos materiais utilizados isoladamente. Seguindo esse princípio, produtos como CLT combinados com concreto são desenvolvidos para aumentar a capacidade de resistência, rigidez e reduzir o desconforto causado por vibrações excessivas, apresentando valores competitivos em relação a outras soluções estruturais do CLT. No caso do concreto, sua utilização em compósitos visa melhorar a precisão construtiva, reduzir custos associados a retrabalho e desperdício, aumentar a eficiência e automação do sistema, além de contribuir para a redução de emissões de CO₂, mitigando os impactos ambientais relacionados ao efeito estufa.

Nesse sentido, pesquisas vêm sendo conduzidas com a finalidade de demonstrar e prever o comportamento estrutural da composição entre madeira e concreto. Bajzecerová (2017) propõe que vigas de CLT-Concreto sejam avaliadas por meio do consagrado método gama (γ), idealizado por Möhler (1956) e utilizado para a análise de compostos de madeira pelas normas Eurocode 5 (European Committee for Standardization, 2004) e NBR 7190 (ABNT, 2022). Sob a perspectiva do comportamento dinâmico de placas de CLT-Concreto, pode-se destacar as relevantes contribuições fornecidas por Mai *et al.* (2018) e Siqueira *et al.* (2024), que demonstram uma boa performance desse tipo de composto no conforto por vibrações em pisos. Com base em análises dinâmicas, Dackermann *et al.* (2016) apresenta um método para avaliar a performance de conectores em sistemas de madeira-concreto.

Considerando que os conectores entre a madeira e concreto são fundamentais para garantir a interação eficaz entre os materiais, Jiang e Crocetti (2019) desenvolveram um programa experimental e de simulações numéricas para compreender o comportamento mecânico de conexões baseadas em entalhes. Por sua vez, Santos (2021) realizou análises experimentais em diferentes tipos de conectores, incluindo chapas expandidas, entalhes e parafusos, com o objetivo de comparar rigidezes e capacidades de resistência de conexões de CLT-Concreto. Conexões por adesivos foram estudadas por Eisenhut, Seim e Kühlbörn (2016), demonstrando um elevado nível de rigidez ao cisalhamento na interface entre madeira e concreto por meio deste tipo de conexão.