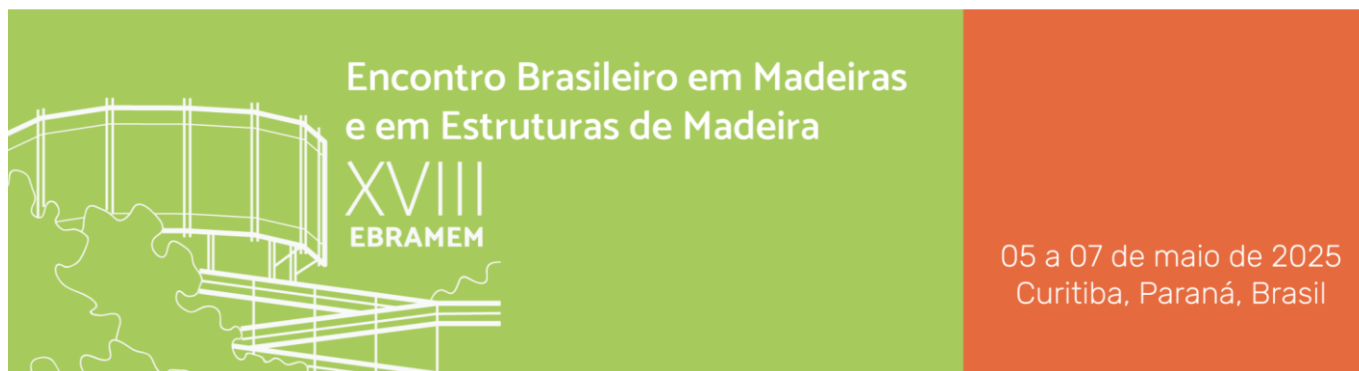




APLICAÇÃO DO MÉTODO GAMA EM PEÇAS COMPOSTAS DE CROSS LAMINATED TIMBER E CONCRETO SOB MOMENTO FLETOR NEGATIVO

Cassiano Barros^{1*}, Nilson Mascia¹; Gustavo Violin¹ e Ramon Bergamin¹

*Autor de contato: cassianodebarros@gmail.com

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

RESUMO

Recentemente, a utilização do composto de madeira engenheirada e concreto vem ganhando notoriedade em razão do seu ótimo desempenho estrutural atrelado com os baixos impactos ambientais. Estruturas de *Cross Laminated Timber* (CLT) e concreto são dimensionadas, geralmente, através do método Gama. Este trabalho busca avaliar a aplicabilidade desse método em elementos compostos de CLT-Concreto em um caso especial, quando submetidos a momento fletor negativo, utilizando-se de dados experimentais para sua implementação e comparação. Os resultados evidenciaram uma aproximação razoável com os dados experimentais, com exceção de um corpo de prova. Entretanto, com o cálculo da rigidez à flexão efetiva considerando-se o fator gama igual a um, foi identificado que tal rigidez foi menor do que a experimental. Além disso, observou-se que o comportamento estrutural previsto não foi adequado a cargas elevadas. Em vista disso, o método Gama revelou não ser plenamente aplicável nessa situação, por não considerar a rigidez do concreto, mesmo que tracionado, desprezar a fissuração do mesmo e o escoamento das barras de aço, além de ser impreciso para peças curtas.

Palavras-chave: madeira engenheirada; concreto, rigidez à flexão efetiva; análise analítica; método Gama.

ABSTRACT

Recently, the use of engineered timber and concrete composites has gained prominence due to their excellent structural performance combined with low environmental impact. Cross Laminated Timber (CLT) and concrete structures are generally designed using the Gamma method. This study aims to evaluate the applicability of the Gamma method in Cross Laminated Timber (CLT) and concrete composite elements, in a specific case, when subjected to negative bending moments, using experimental data for its implementation and comparison. The results showed a reasonable approximation with the experimental data, except for one specimen. However, when calculating the effective flexural stiffness considering the gamma factor equal to one, it was found that this stiffness was lower than the experimental one. Moreover, it was observed that the predicted structural behavior was not adequate under high loads. Therefore, the Gamma method proved to be not fully applicable in this situation, as it does not consider the stiffness of the concrete, even when under tension, disregards cracking and the yielding of steel bars, and is also imprecise for short-span elements.

Keywords: Engineered timber; concrete; effective bending stiffness; analytical analysis; Gamma method.

1. INTRODUÇÃO

Ultimamente, o *Cross Laminated Timber* (CLT) tem ganhado destaque como uma alternativa sustentável na construção civil, graças à capacidade da madeira de capturar CO₂ da atmosfera ao longo de seu crescimento. Empregado como elemento estrutural de pisos e paredes, devido à composição em camadas ortogonais entre si, o CLT proporciona um bom desempenho estrutural (Harte, 2017). Em contrapartida, embora o CLT apresente vantagens consideráveis, soluções construtivas envolvendo a madeira em conjunto com o concreto têm se destacado ainda mais. Isso se deve à eficiência desse composto, já que, com a inclusão do concreto, vantagens como o aumento da resistência e rigidez são atingidos, além da melhora em outros pontos, como em questões de vibração e de acústica (Rijal *et al.*, 2015).

Contudo, de acordo com Auclair (2020), para esse tipo de composto, existem situações críticas nas quais o concreto se encontra na zona de tração, o que se observa quando a peça está submetida a momento negativo, como em elementos em balanço ou contínuos. Dessa forma, como o concreto é muito pouco resistente à tração, o comportamento mecânico de peças compostas de CLT-Concreto frente a momentos positivos e negativos não é equivalente, influenciando diretamente na rigidez do composto.

Desse modo, a determinação da rigidez desses elementos é uma questão de extrema importância para uma correta avaliação do seu comportamento estrutural. Além de fatores como a espécie de madeira, a classe de resistência do concreto e as dimensões da seção transversal, a rigidez de peças compostas de madeira e concreto também é muito influenciada pela conexão entre esses materiais, fazendo com que a eficiência estrutural da peça dependa significativamente da qualidade e do tipo de ligação empregado (Dias; Schänzlin; Dietsch, 2018).

Uma forma analítica de se determinar a rigidez desses compostos é o método Gama. Segundo Gustafsson (2019), devido sua simplicidade, o método é muito empregado em peças compostas feitas exclusivamente de madeira, sendo encontrado em diversas normativas, como na norma brasileira de madeiras ABNT NBR 7190-1 (2022) e na europeia BS EN 1995-1-1 (2004). A formulação se baseia no princípio de que os materiais empregados seguem o modelo de Euler-Bernoulli, ou seja, suas seções transversais permanecem planas e perpendiculares ao eixo neutro após a deformação (Gere; Goodno, 2017). O cisalhamento, por sua vez, é considerado apenas na conexão por um fator gama, variando de um (conexão rígida) a zero (sem conexão). Por essa razão, o método é indicado para elementos estruturais com razão alta entre vão e espessura, onde o esforço cortante tem uma influência mínima nos deslocamentos das peças (Popovski *et al.*, 2019).

Salienta-se que, embora inúmeras pesquisas tenham aplicado o método Gama em compostos de madeira e concreto, há uma carência de estudos que o abordem na situação de momento fletor negativo. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo empregar o método Gama em peças compostas de CLT-Concreto sob momento negativo para a análise e comparação da rigidez efetiva à flexão com os resultados experimentais obtidos para essas mesmas peças, avaliando sua validação e efetividade na previsão do comportamento estrutural sob essas

condições. Dessa maneira, espera-se que este trabalho contribua para um melhor entendimento e previsibilidade desses elementos compostos pela a comunidade científica e pelos profissionais da área.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

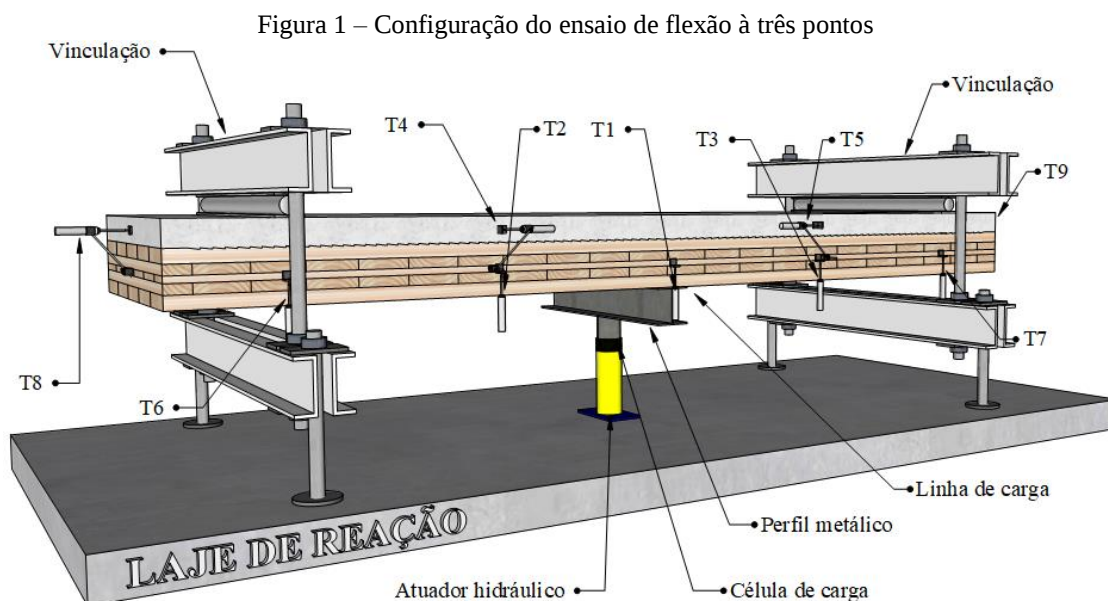
A seguir, são apresentados os materiais utilizados e as formulações necessárias para o cálculo da rigidez à flexão efetiva de peças compostas de madeira e concreto sob momento negativo, de acordo com o método Gama.

2.1 Materiais

Para a aplicação do método Gama, o qual será descrito no item 2.2, foram utilizados dados experimentais da pesquisa de Barros (2024). Nesse estudo, foram analisadas seis placas de CLT-Concreto em ensaios de flexão à três pontos, os quais geravam momento negativo nas peças. Os corpos de prova possuíam 3000 mm de comprimento, 800 mm de largura e 225 mm de altura, sendo 70 mm da camada de concreto de classe C30 e 155 mm da placa de CLT de cinco camadas, produzida com a espécie *Pinus Taeda*.

Antes da concretagem, para resistir aos esforços de tração, foram instaladas quatro barras de aço nervurado CA-50 de 10 mm de diâmetro espaçadas em 200 mm entre si, além de telas soldadas para reduzir os efeitos da retração.

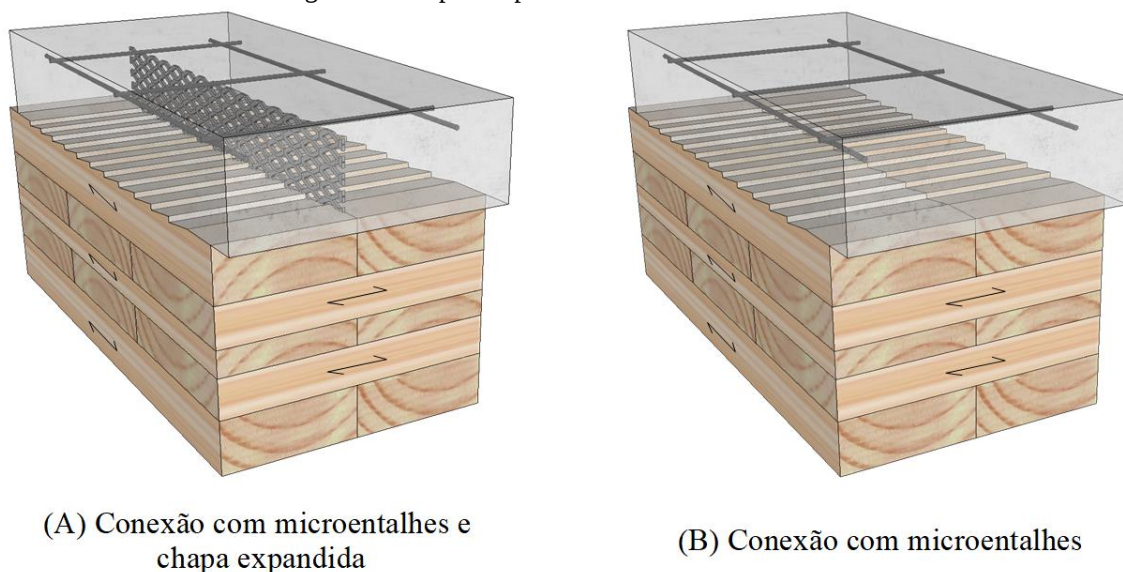
A partir dos dados aferidos pelos transdutores posicionados ao longo do elemento estrutural foram calculadas a rigidez à flexão e ao cisalhamento efetiva. Vale destacar que o mesmo procedimento descrito foi realizado para as placas de CLT individualmente, antes da concretagem. A Figura 1 ilustra a configuração do ensaio.



Fonte: Barros (2024)

Além dos ensaios de flexão, foi analisado o comportamento mecânico do conjunto de conectores utilizados na conexão entre o CLT e o concreto, através de ensaios de cisalhamento. O experimento envolveu vinte corpos de prova divididos em duas séries: a Série A, composta por dez corpos de prova com microentalhes e chapa expandida, e a Série B, formada por dez corpos de prova com apenas microentalhes (Figura 2). Dessa forma, seguindo as diretrizes da norma BS EN 26891 (1991), gerou-se cisalhamento na região da conexão para avaliar sua rigidez por meio do cálculo do módulo de deslizamento.

Figura 2 – Corpos de prova do ensaio de cisalhamento



Fonte: Barros (2024)

2.2 Método Gama

Utilizando-se de dados experimentais obtidos por Barros (2024), realizou-se o cálculo e a comparação da rigidez à flexão efetiva de peças compostas de CLT-Concreto, submetidas a momento fletor negativo, por meio da adaptação do método Gama, conforme Auclair (2020). O modelo proposto parte do princípio que o concreto, por estar tracionado, não contribui com a rigidez do composto. Dessa maneira, como mostram a Equação 1 e a Figura 3, apenas a madeira e o reforço de aço são considerados no cálculo da rigidez à flexão efetiva.

$$EI_{ef,\gamma} = EI_{CLT} + \gamma_s EA_s a_s^2 + \gamma_{CLT} EA_{CLT} a_{CLT}^2 \quad (1)$$

Onde:

$EI_{ef,\gamma}$ = rigidez à flexão efetiva calculada pelo método Gama;

EI_{CLT} = rigidez à flexão efetiva do CLT;

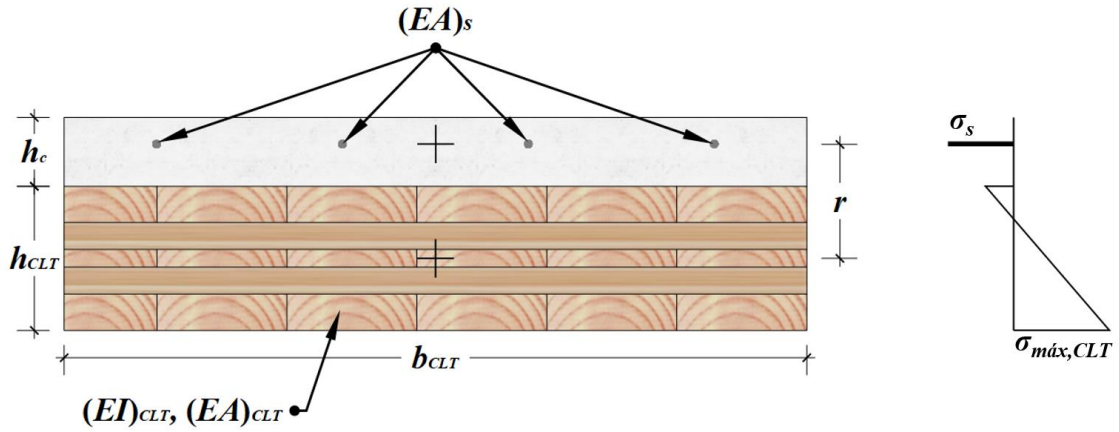
EA_s = rigidez axial do aço;

EA_{CLT} = rigidez axial do CLT;

γ_s = fator gama para o aço;

γ_{CLT} = fator gama para o CLT;
 a_s e a_{CLT} = obtidos pelas Equações 8 e 9, respectivamente;
 r = distância entre os centroides do CLT e das barras de aço.

Figura 3 – Parâmetros da seção transversal das peças de CLT-Concreto



Fonte: os autores.

Para a obtenção da rigidez axial do CLT, utilizou-se dos valores de EI_{CLT} encontrados nos ensaios de caracterização das placas de CLT de Barros (2024), dividindo-os pelo momento de inércia das peças e multiplicando pela área da seção transversal das mesmas, como exibem as Equações 2, 3 e 4.

$$E_{CLT} = \frac{EI_{CLT}}{I_{CLT}} \quad (2)$$

$$I_{CLT} = \frac{b_{CLT} h_{CLT}^3}{12} \quad (3)$$

$$EA_{CLT} = E_{CLT} A_{CLT} \quad (4)$$

Onde:

E_{CLT} = módulo de elasticidade equivalente do CLT;
 A_{CLT} = área da seção transversal do CLT;
 I_{CLT} = momento de inércia da seção maciça de CLT;
 EA_{CLT} = rigidez axial do CLT;
 b_{CLT} = base das placas de CLT;
 h_{CLT} = altura das placas de CLT

Realizando a multiplicação do módulo de elasticidade do aço com o valor correspondente à área da seção transversal das quatro barras utilizadas nos ensaios de flexão, chegou-se ao valor da rigidez axial do aço, conforme a Equação 5. Os demais parâmetros foram calculados de acordo com as Equações 6 a 9.

$$EA_s = 4E_sA_s \quad (5)$$

$$\gamma_s = 1 \quad (6)$$

$$\gamma_{CLT} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EA_{CLT}}{kL^2}} \quad (7)$$

$$a_s = \frac{\gamma_{CLT} EA_{CLT} r}{\gamma_s EA_s + \gamma_{CLT} EA_{CLT}} \quad (8)$$

$$a_{CLT} = \frac{\gamma_s EA_s r}{\gamma_s EA_s + \gamma_{CLT} EA_{CLT}} \quad (9)$$

Onde:

E_s = módulo de elasticidade do aço;

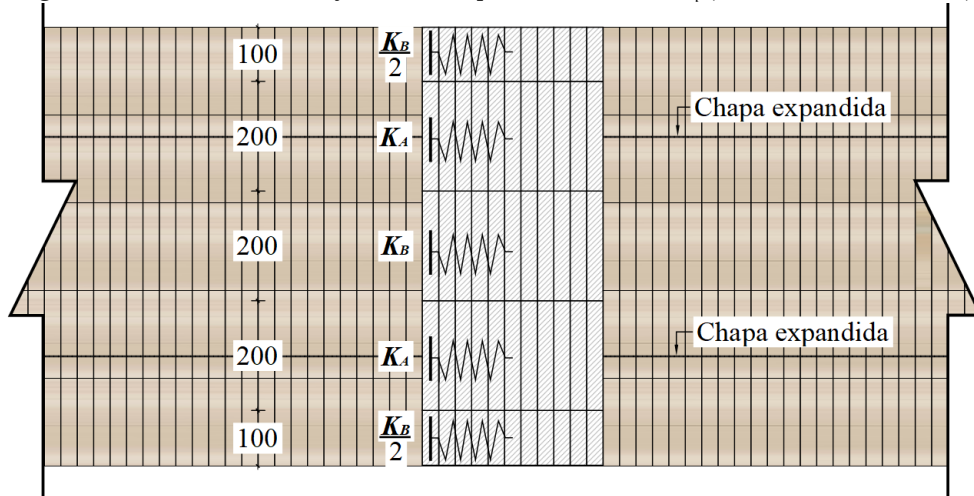
A_s = área da seção transversal do aço;

k = rigidez distribuída da conexão;

L = vão efetivo das placas compostas de CLT-Concreto

A partir dos ensaios de cisalhamento, foi calculada a rigidez distribuída da conexão através da Equação 10. Assim sendo, por meio da Lei de Hooke, utilizou-se da associação de molas em paralelo para a determinação do módulo de deslizamento equivalente, empregando-se os resultados de módulo de deslizamento obtidos nesses ensaios, conforme a Equação 11 e a Figura 4 (Nussenzveig, 2013).

Figura 4 – Modelo de associação de molas para o cálculo de K_{eq} (medidas em milímetros)



Fonte: os autores.

$$k = \frac{K_{eq}}{l_M n} \quad (10)$$

$$K_{eq} = \sum_{j=1}^{n_y} K_{ij} \quad (11)$$

Onde:

K_{eq} = módulo de deslizamento equivalente;

l_M = comprimento de um microentalhe, equivalente à 30 mm;

n = número de microentalhes presentes nos corpos de prova dos ensaios de cisalhamento, equivalente a onze;

i = posição ao longo do comprimento da placa;

j = posição ao longo da largura da placa;

n_y = número de linhas de conectores ao longo da largura da placa;

K_{ij} = módulo de deslizamento do conector na posição ij ;

Somado ao cálculo da rigidez à flexão efetiva pelo método Gama das placas compostas de CLT-Concreto do item 2.1, foi deduzida tal rigidez considerando casos opostos de conexão entre os materiais. Dessa forma, por meio das Equações 12 e 13, determinou-se os valores de $EI_{ef,\gamma(0)}$ e $EI_{ef,\gamma(1)}$, ou seja, a rigidez à flexão efetiva com o gama nulo (sem conexão) e com o gama valendo um (conexão rígida), respectivamente.

$$EI_{ef,\gamma(0)} = EI_{CLT} \quad (12)$$

$$EI_{ef,\gamma(1)} = EI_{CLT} + \left(\frac{1}{EA_s} + \frac{1}{EA_{CLT}} \right)^{-1} r^2 \quad (13)$$

3. RESULTADOS

De acordo com os dados dos ensaios de cisalhamento obtidos por Barros (2024), foi feito o cálculo da rigidez distribuída da conexão, cujo resultado foi de 8,15 kN/mm². Esse valor foi baseado no valor médio dos dados de módulo de deslizamento da série A e na mediana da série B, visto que, por meio do teste de *Shapiro-Wilk*, foi constatado que apenas os dados da série A possuíam distribuição normal. Assim sendo, foram determinados os valores de rigidez à flexão efetiva para a situação de momento fletor negativo segundo o método Gama. A Tabela 1 exhibe esses resultados, bem como os valores experimentais obtidos por Barros (2024).

Destaca-se que o dado experimental referente ao terceiro corpo de prova está ausente. Segundo Barros (2024), possíveis interferências laboratoriais ocorreram durante o ensaio dessa peça, o que levou à decisão de não apresentar o resultado obtido.

Tabela 1 – Rigidez à flexão efetiva segundo o método Gama ($EI_{ef,\gamma}$) e Barros (2024) (EI_{ef})

Corpo de prova	$EI_{ef,\gamma}$ (N.m ²)	EI_{ef} (N.m ²)
01	4,05E+06	4,17E+06
02	3,93E+06	5,51E+06
03	3,92E+06	-
04	3,50E+06	4,16E+06
05	3,93E+06	4,15E+06
06	3,77E+06	3,28E+06
Média	3,85E+06	4,25E+06
Desvio Padrão	1,93E+05	7,99E+05
C.V. (%)	5,02	18,8

Fonte: os autores.

Ao comparar a rigidez à flexão obtidos pelo método Gama com os dados experimentais, observou-se nos mesmos uma leve variação nos corpos de prova 01 e 05, cujos resultados experimentais foram 3,0% e 5,6% maiores, respectivamente, como mostra a Tabela 2. No caso do corpo de prova 04, a discrepância foi mais pronunciada, com os valores experimentais sendo 18,9% superiores, enquanto no corpo de prova 06, o método Gama apresentou um valor 14,9% maior. A maior divergência foi registrada no corpo de prova 02, cuja rigidez à flexão efetiva foi 40,2% maior nos experimentos. Por meio do teste *t* de *Student* para grupos independentes não foram reveladas diferenças significativas entre os valores obtidos pelo método Gama e os experimentais, já que o valor *P* superou o nível de significância de 0,05.

Tabela 2 – Diferença percentual entre a rigidez à flexão segundo o método Gama e os resultados experimentais

Corpos de prova	Diferença percentual de EI_{ef} (%)
01	3,0
02	40,2
03	-
04	18,9
05	5,6
06	-13,0

Fonte: os autores.

A Tabela 3 apresenta os valores teóricos de EI_{ef} calculados pelo método Gama adaptado para momento negativo, considerando dois cenários: sem conexão entre o CLT e o concreto ($\gamma = 0$) e com conexão rígida, onde o módulo de deslizamento tende ao infinito ($\gamma = 1$). A tabela também inclui uma coluna que demonstra o aumento na rigidez à flexão ao comparar $EI_{ef,\gamma(0)}$ com $EI_{ef,\gamma(1)}$.

Observou-se que os valores de $EI_{ef,\gamma(0)}$ coincidiram com aqueles das placas de CLT. Isso ocorre porque, de acordo com a formulação proposta para o método Gama em sistemas compostos de madeira e concreto sob momento fletor negativo, a ausência de conexão entre os componentes faz com que a rigidez à flexão efetiva seja determinada exclusivamente pela rigidez à flexão do elemento de madeira.

Tabela 3 – Rigidez à flexão efetiva sem conexão e com conexão rígida entre o CLT e o concreto

Corpos de prova	$EI_{ef,\gamma(0)}$ (N.m ²)	$EI_{ef,\gamma(1)}$ (N.m ²)	Diferença relativa (%)
01	3,17E+06	4,06E+06	28,1
02	3,05E+06	3,94E+06	29,2
03	3,04E+06	3,93E+06	29,3
04	2,63E+06	3,52E+06	33,8
05	3,05E+06	3,94E+06	29,2
06	2,89E+06	3,78E+06	30,8
Média	2,97E+06	3,86E+06	30,1
Desvio Padrão	1,90E+05	1,90E+05	2,0
C.V. (%)	6,38	4,91	6,81

Fonte: os autores.

Ao analisar a variação entre as rigidezes, observou-se que o aumento proporcionado para as placas com o fator gama igual a um foi praticamente o mesmo, alcançando o valor de 8,90E+05 N.m². Isso se deve ao fato de que os parâmetros do método Gama que geraram essa diferença apresentaram resultados muito próximos, conforme mostrado na Tabela 4. Além disso, o ganho médio em rigidez foi de 30,1%, o que demonstra que a rigidez efetiva à flexão do sistema composto CLT-Concreto foi significativamente influenciada pela rigidez do CLT.

Tabela 4 – Valores dos parâmetros empregados na obtenção da rigidez à flexão efetiva segundo o método Gama

CP	γ_{CLT}	a_s (mm)	a_{CLT} (mm)	EA_s (10 ⁷ N)	EA_{CLT} (10 ⁹ N)	EI_{CLT} (10 ⁶ N.m ²)
01	0,75	166,4	6,1	6,18	1,58	3,17
02	0,76	116,3	6,2	6,18	1,52	3,05
03	0,76	116,3	6,2	6,18	1,52	3,04
04	0,78	115,6	6,9	6,18	1,31	2,63
05	0,76	116,3	6,2	6,18	1,52	3,05
06	0,77	116,0	6,5	6,18	1,44	2,89

Fonte: os autores.

Ao analisar $EI_{ef,\gamma(1)}$, verificou-se que a diferença em relação aos valores de $EI_{ef,\gamma}$ é mínima, sugerindo que a ligação entre o CLT e o concreto seja muito rígida. Contudo, os resultados experimentais da rigidez à flexão efetiva apresentaram valores superiores a $EI_{ef,\gamma(1)}$, o que levanta a hipótese de que a formulação proposta por Auclair (2020) para o método Gama em sistemas compostos de madeira e concreto sob momento negativo possa não considerar todos os fatores que influenciam a rigidez desses elementos. Nesse contexto, a exclusão da contribuição do concreto, mesmo que mínima (considerando o concreto tracionado), pode estar diretamente ligada ao fato de $EI_{ef,\gamma(1)}$ ser inferior aos valores obtidos experimentalmente. Portanto, espera-se que a consideração desses fatores leve a resultados mais precisos, pelo menos até o início da fissuração do concreto.

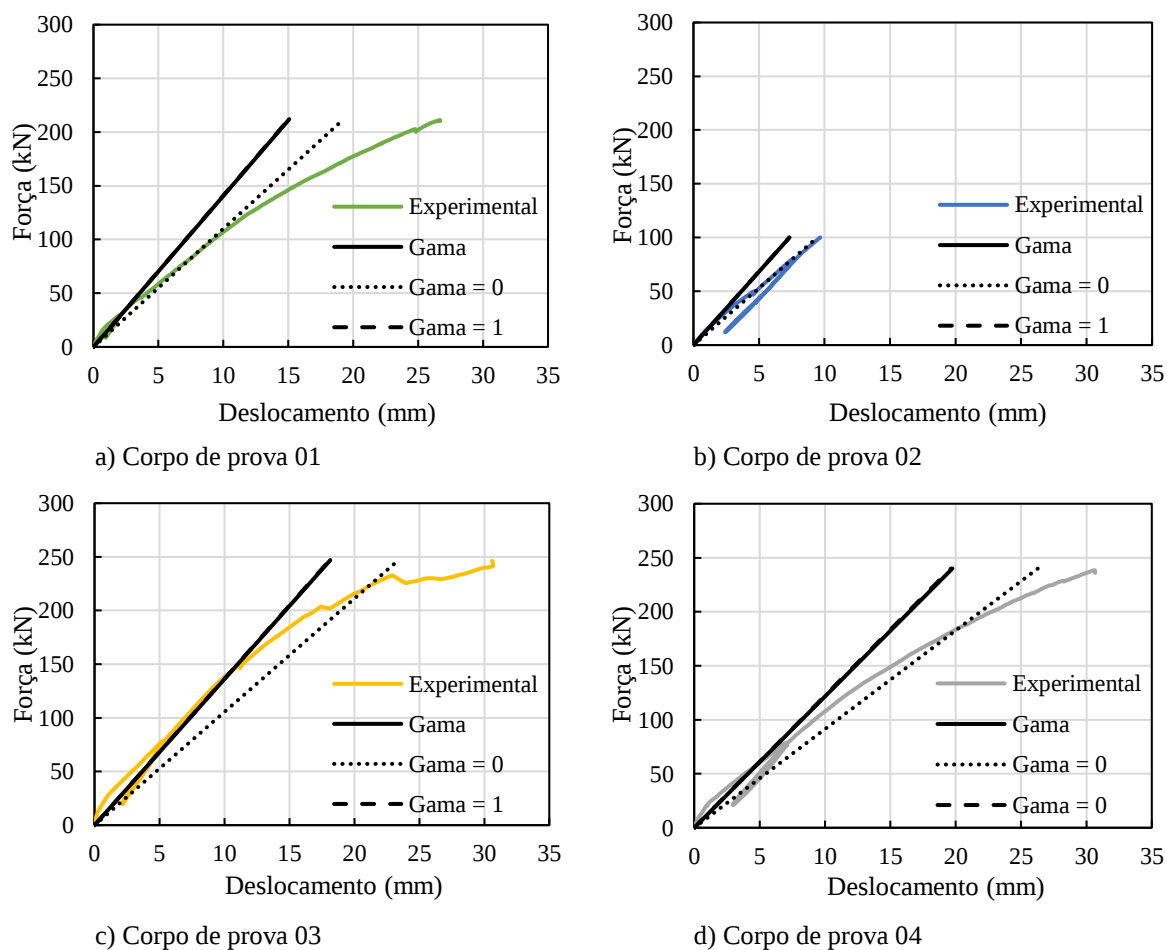
A Figura 5 ilustra os gráficos de força versus deslocamento, apresentando as curvas reais obtidas experimentalmente para cada corpo de prova, junto com a análise analítica utilizando o

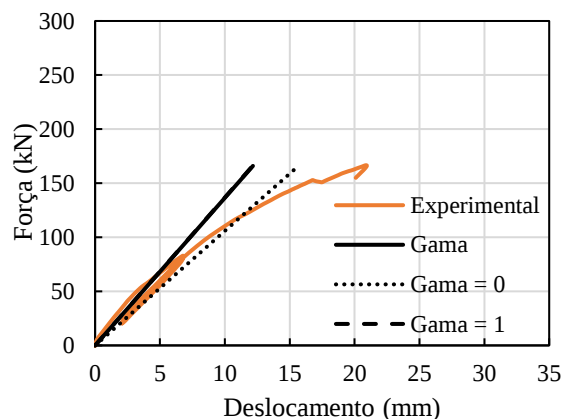
método Gama. A figura inclui a situação com a rigidez distribuída da conexão de $8,15 \text{ kN/mm}^2$, assim como considerando tanto o fator gama igual a zero quanto o fator gama igual a um.

Destaca-se nessa figura o corpo de prova 06, cuja curva experimental se aproximou mais da reta correspondente ao fator gama nulo. Essa observação foi feita ao comparar a rigidez à flexão experimental com os dois cenários extremos ($\gamma = 0$ e $\gamma = 1$), sendo a curva experimental mais próxima da situação onde não há conexão entre os elementos.

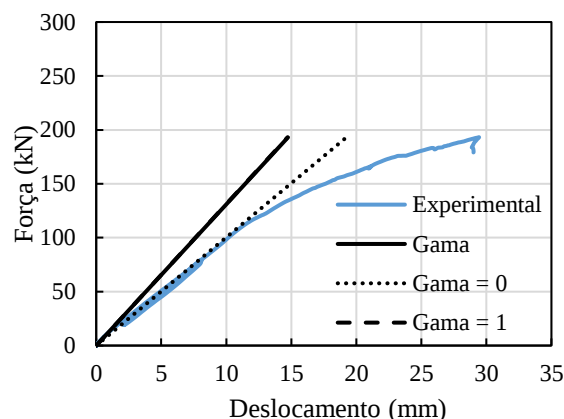
É importante observar que, devido à desconsideração do efeito do esforço cortante, esse método é mais apropriado para estruturas com uma razão entre o vão e a espessura alta, o que não se aplica à pesquisa atual, pois os corpos de prova testados têm uma razão menor que onze (Popovski *et al.*, 2019). Assim, as curvas experimentais incluem uma parte do deslocamento atribuível ao esforço cortante, que não é considerada pelo método Gama. Utilizando-se dos dados experimentais de Barros (2024) fica evidente que, em alguns casos, como na segunda placa, o deslocamento causado pelo esforço cortante, dentro do intervalo de carregamento utilizado para o cálculo das rigidezes, representa quase 50% do deslocamento total, como pode ser visto na Tabela 5.

Figura 5 – Gráficos forças-deslocamento do centro do vão de acordo com o método Gama e os resultados experimentais





e) Corpo de prova 05



f) Corpo de prova 06

Fonte: os autores.

A Figura 5 também revela que o método Gama, conforme aplicado nesta pesquisa, se alinha mais com os resultados experimentais em condições de carregamentos baixos, uma vez que sua formulação foi desenvolvida para o estado elástico-linear. No entanto, após o início do escoamento do aço e a fissuração do concreto, o método apresenta discrepâncias em relação aos valores experimentais.

Tabela 5 – Influência dos esforços internos no deslocamento central das peças compostas de CLT-Concreto da pesquisa de Barros (2024)

Corpo de prova	Influência do Momento Fletor	Influência do Esforço Cortante
01	72,2%	27,8%
02	50,2%	49,8%
03	-	-
04	66,1%	33,9%
05	77,8%	22,2%
06	83,2%	16,8%

Fonte: os autores.

4. CONCLUSÕES

Com base na análise realizada utilizando o método Gama, conclui-se que este método não forneceu resultados totalmente satisfatórios por várias razões. Em primeiro lugar, como o método é baseado no modelo de vigas de Euler-Bernoulli, não são considerados os deslocamentos provocados pelo esforço cortante em estruturas, especialmente em peças com uma relação entre o vão e a espessura não muito alta, como observado neste estudo. Além disso, o método Gama não contempla a fissuração do concreto nem o escoamento das barras de aço, aspectos importantes devido à solicitação de tração do concreto, o que resulta em uma previsão imprecisa do comportamento da estrutura sob carregamentos elevados. Por fim, os resultados evidenciaram que o método na maioria das vezes subestima a rigidez à flexão com $\gamma = 1$ em comparação com os valores experimentais, sugerindo que a contribuição de outros fatores, como a rigidez à flexão do concreto, mesmo quando tracionado, não é adequadamente

considerada. Portanto, o método Gama não se revelou plenamente aplicável para estruturas compostas de CLT-Concreto sujeitas a momento fletor negativo na configuração testada. Recomenda-se que em pesquisas futuras o método seja revisado, incorporando a consideração das fissuras no concreto e o escoamento das barras de aço.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão à CROSSLAM pelo fornecimento dos corpos de prova e reconhece a assistência inestimável dos técnicos de laboratório da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP na realização dos experimentos. Além disso, os autores agradecem o apoio financeiro fornecido pela UNIVESP (Processo nº 12.364.1043.6137.0000), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES (Processo nº 88887.667893/2022-00) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processo nº 307202/2019-4 e nº 305363/2022-0) para esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-1: Projeto de estruturas de madeira Parte 1: Critérios de dimensionamento**. Rio de Janeiro, 2022.

AUCLAIR, S. C. **Design Guide for Timber-Concrete Composite Floors in Canada**. 1. ed. [s.l.] FPInnovations, 2020.

BARROS, C. A. G. **Estruturas em placas de Cross Laminated Timber e concreto conectadas por microentalhes sob momento negativo** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2024.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 26891:1991 — Timber structures — Joints made with mechanical fasteners — General principles for the determination of strength and deformation characteristics**. London, 1991.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALIZATION. **Eurocode 5: Design of timber structures — Part 1-1: General — Common rules and rules for buildings**. Brussels, 2004.

DIAS, A.; SCHÄNZLIN, J.; DIETSCH, P. **Design of timber-concrete composite structures**. Aachen: Shaker Verlag Aachen, 2018.

GERE, J. M.; GOODNO, B. J. **Mecânica dos Materiais**. 3. ed. Cengage, 2017.

GUSTAFSSON, A. **The CLT Handbook: CLT structures – facts and planning**. 1. ed. Estocolmo: Eric Borgström & Johan Fröbel, 2019.

HARTE, A. M. Mass timber – the emergence of a modern construction material. **Journal of Structural Integrity and Maintenance**, v. 2, n. 3, p. 121–132, 3 jul. 2017.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. 5. ed. [s.l.] Blucher, 2013. v. 1

POPOVSKI, M.; GAGNON, S.; MOHAMMAD, M; CHEN, Z. Structural design of cross-laminated timber elements. Em: **Canadian CLT Handbook**. [s.l.] Erol Karacabeyli & Sylvain Gagnon, 2019. v. 1.

RIJAL, R.; SAMALI, B.; SHRESTHA, R.; CREWS, K. Experimental and analytical study on dynamic performance of timber-concrete composite beams. **Construction and Building Materials**, v. 75, p. 46–53, 30 jan. 2015.