

ANÁLISE PARAMÉTRICA DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DA LAJE DE CONCRETO NA RIGIDEZ À FLEXÃO DE VIGAS COMPOSTAS DE GLUBAM-CONCRETO

Pedro Ignácio Lima Gadelha Jardim (Universidade Federal de Rondônia). E-mail: pedro@unir.br
Larissa Fé Alves (Universidade Federal de São Carlos). E-mail: larissa.fe.alves@gmail.com
Viktória Geovana Hollanda do Amaral (Universidade de São Paulo). E-mail: victoriahollanda@usp.br
Tarniê Vilela Nunes Narques (Universidade Federal de São Carlos). E-mail: tarnienarques@outlook.com
Diego Henrique de Almeida (Universidade Federal de Rondônia). E-mail: diegoalmeida@unir.br
André Luis Christoforo (Universidade Federal de São Carlos). E-mail: alchristoforo@ufscar.br

Resumo: Dentre os esforços recentes realizados por pesquisadores em busca por materiais estruturais sustentáveis, destaca-se a criação e desenvolvimento de um compósito laminado de bambu (glubam) com propriedades físico-mecânicas adequadas para aplicações estruturais. Alguns estudos e aplicações reais foram realizados em vigas integrais de glubam, demonstrando o potencial desse material como elemento estrutural. Apesar da resistência mecânica adequada e ser um material sustentável, a rigidez à flexão é um ponto de melhoria, levando a investigações de vigas mistas de glubam e concreto. Enquanto alguns estudos abordaram o comportamento dessas vigas, a influência dos parâmetros do concreto na rigidez à flexão (EI_{eff}) não foi completamente explorada. Desse modo, o objetivo deste estudo foi realizar uma análise numérica paramétrica para compreender como o concreto afeta a EI_{eff} das vigas de glubam-concreto. Para isso, foram variadas a espessura da laje de concreto, o comprimento da viga e a classe de resistência do concreto. Os resultados encontrados permitiram observar que a espessura da laje de concreto possui maior impacto do que os demais parâmetros avaliados. Foi identificado que o aumento da resistência do concreto para melhoria da EI_{eff} é indicado para classes de concreto próximas a C20.

Palavras-chave: Glubam-concreto, materiais compósitos, análise paramétrica, estruturas de bambu.

PARAMETRIC ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CONCRETE SLAB PARAMETERS ON THE BENDING STIFFNESS OF GLUBAM-CONCRETE COMPOSITE BEAMS

Abstract: Recent efforts by researchers to find sustainable structural materials include the creation and development of a laminated bamboo composite (glubam) with physical-mechanical properties suitable for structural applications. Some studies and real applications have been carried out on glubam integral beams, demonstrating the potential of this material as a structural element. Despite adequate mechanical strength and being a sustainable material, bending stiffness is a point for improvement, leading to investigations of mixed glubam and concrete beams. While some studies have addressed the behavior of these beams, the influence of concrete parameters on bending stiffness (EI_{eff}) has not been fully explored. Therefore, the aim of this study was to carry out a parametric numerical analysis to understand how concrete affects the EI_{eff} of glubam-concrete beams. To do this, the thickness of the concrete slab, the length of the beam and the strength class of the concrete were varied. The results showed that the thickness of the concrete slab has a greater impact than the other parameters evaluated. It was found that increasing concrete strength to improve EI_{eff} is recommended for concrete classes close to C20.

Keywords: Glubam-concrete, composite materials, parametric analysis, bamboo structures.

1. Introdução

A busca por materiais sustentáveis para utilização como elementos estruturais vem ganhando foco em decorrência da necessidade de reduzir o impacto ambiental ocasionado pela utilização excessiva de materiais de origem não renovável. A escolha de determinados materiais estruturais influencia diretamente no ambiente, gerando uma emissão excessiva de dióxido de carbono (Sun; He; Li, 2020). Portanto, é necessário explorar os potenciais benefícios de alternativas construtivas de baixo carbono, a

exemplo de materiais de origem biológica como a madeira e o bambu (Escamilla *et al.*, 2018).

Quando comparado com outros materiais construtivos, o bambu apresenta baixa condutividade térmica, ciclo de crescimento curto, alta eficiência e performance e facilidade de fabricação (Shan, Bo; Chen; Xiao, 2012). No entanto, a utilização do bambu como elemento estrutural ainda enfrenta desafios devido a características intrínsecas: o colmo possui seção transversal irregular, a estrutura tubular dificulta a execução de conexões e o material apresenta forte anisotropia, com baixa resistência nas direções transversais (Li, Lei; Xiao; Yang, 2012).

Alguns pesquisadores têm se dedicado a desenvolver e viabilizar produtos engenheirados de bambu (Xiao, *et al.*, 2008). Com características padronizadas e rentáveis, esses compósitos têm ganhado crescente atenção como material de construção seguro (Deresa; Ren; Xu, 2020).

Entre esses materiais destaca-se o bambu laminado colado ou glubam (*glued laminated bamboo*) (Xiao, *et al.*, 2008). Os elementos estruturais de glubam são fabricados pela colagem de múltiplas camadas de folheados de bambu modificado (*plybamboo*) (Xiao, Yan, 2020). Para a conformação de peças de longo vão, essas chapas são alongadas e sobrepostas estrategicamente durante a fabricação (Li, Z. *et al.*, 2019).

Apesar do glubam possuir vários méritos de design e construção, tais como ser leve e apresentar capacidade de carga e rigidez suficientes para aplicações estruturais e para transporte de cargas (Xiao, Y. *et al.*, 2008; Xiao, Yan; Zhou; Shan, 2010), Shan *et al.* (2017) destacaram a rigidez à flexão como um aspecto desfavorável do compósito, e sugeriram a utilização de outros materiais associados ao glubam para melhorar esse comportamento. Com isso, Shan *et al.* (2020) desenvolveram uma pesquisa experimental com o objetivo de avaliar o comportamento de vigas mistas de glubam e concreto, no qual comprovaram a melhoria da rigidez à flexão e capacidade resistente do elemento. Destaca-se que o estudo conduzido por Shan *et al.* (2020) contou com uma quantidade limitada de amostras a serem ensaiadas em laboratório, não permitindo retirar conclusões mais gerais acerca da contribuição dos parâmetros relacionados ao concreto na rigidez à flexão da viga.

Embora o potencial das vigas mistas de glubam-concreto seja reconhecido, a literatura ainda carece de uma avaliação sistemática sobre a participação do concreto e influência na rigidez à flexão da viga. Suprir essa lacuna é fundamental para otimizar parâmetros de projeto, resultando em estruturas confiáveis, eficientes e sustentáveis.

Desse modo, o objetivo deste estudo foi realizar uma investigação paramétrica sobre a influência do concreto na rigidez à flexão de vigas mistas de glubam-concreto por meio de análises numéricas utilizando o método dos elementos finitos.

2. Materiais e métodos

O presente estudo foi realizado tendo como referência a investigação experimental (ensaio de flexão estática a quatro pontos) realizada por Shan *et al.* (2020), onde os autores estudaram vigas de glubam-concreto com 8000 mm de comprimento e diferentes configurações de conectores mecânicos. As vigas foram compostas por quatro lâminas de glubam com 28 mm de espessura, desenvolvidas no estudo de Xiao *et al.* (2008), resultando em uma seção transversal de 112 mm × 380 mm. A laje foi composta por um concreto C30 ($f_{ck} = 30$ MPa) com 100 mm de espessura e 900 mm de largura.

Para este estudo, foram adotados parafusos de aço (18 mm × 180 mm) como conectores mecânicos. Este tipo de conexão é considerado de fácil execução e apresenta comportamento mecânico adequado com boa ductilidade (Shan, B. *et al.*, 2017). A Figura 1 apresenta as dimensões da viga analisada.

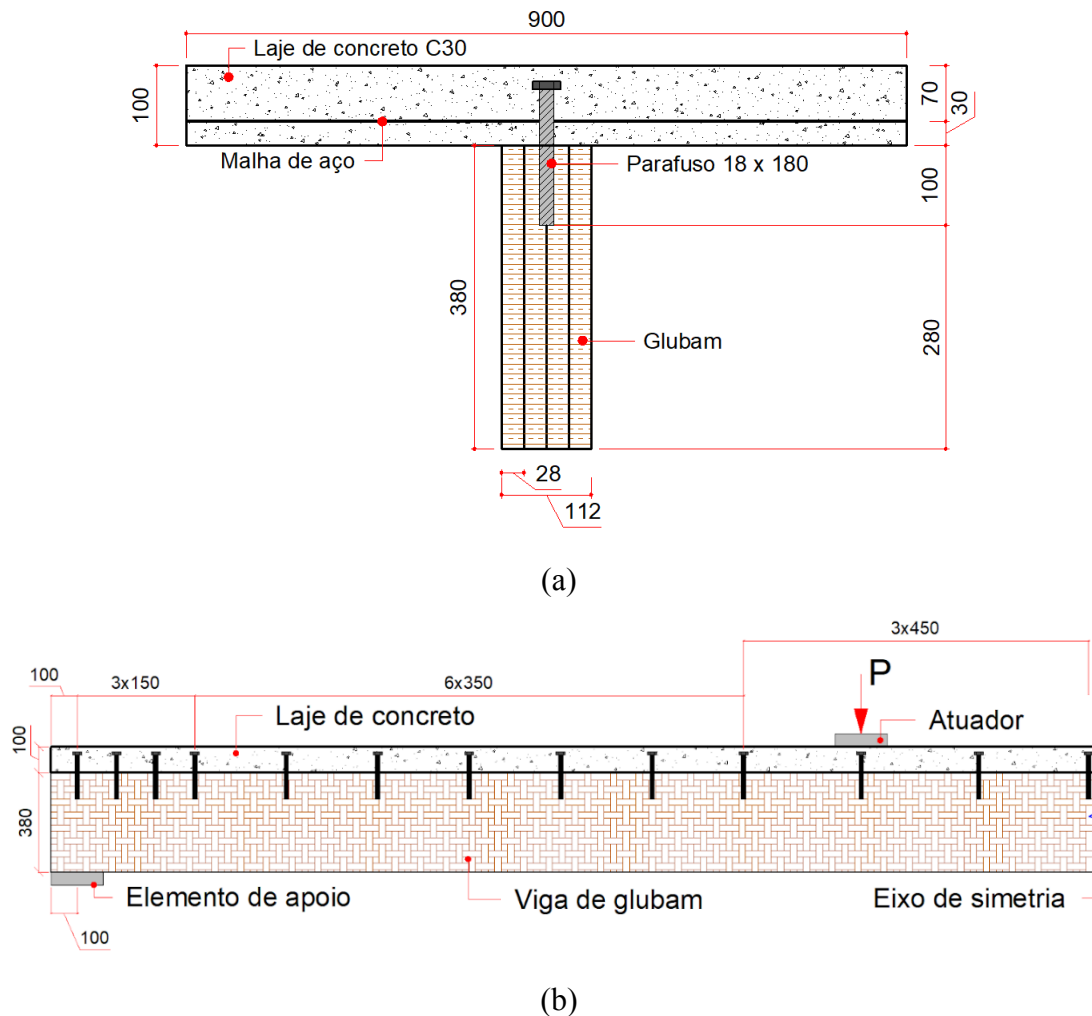


Figura 1. Elementos da seção transversal (a) e longitudinal (b), em mm. Adaptado de Shan *et al.* (2020)

Considerando o interesse na rigidez à flexão das vigas, a simulação numérica foi realizada limitando a deflexão da viga em $L/350$, conforme limite de documentos normativos europeu, BS EN 1995-1-1 (CEN, 2004), e brasileiro, NBR 7190-1 (ABNT, 2022), para o estado limite de serviço. A rigidez à flexão do modelo numérico foi calculada por meio da Equação 1 (Timoshenko, 1940).

$$EI_{eff,FEM} = \frac{P \cdot a}{24 \cdot \delta} \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2) \tag{1}$$

Da Equação 1, P consiste no valor da carga responsável pelo deslocamento $\delta = L/350$ e a é a distância entre os pontos de aplicação da carga no ensaio de flexão estática a quatro pontos.

2.1 Configuração da simulação numérica

Para a realização do estudo paramétrico, utilizou-se o software Abaqus/CAE para a análise das vigas por meio do método dos elementos finitos. O modelo numérico

utilizado adota uma simplificação do comportamento constitutivo dos materiais. O concreto foi analisado considerando o comportamento elástico linear, não considerando degradação da rigidez, decorrente da fissuração e plastificação do material. De forma análoga, para o glubam, adotou-se o comportamento isotrópico, utilizando as propriedades elásticas referentes à direção principal de sollicitação. Essas considerações, contudo são suficientes e encontra amparo em outros estudos disponíveis sobre bambu e madeira (Bardella; Paterlini; Leronni, 2014; Jardim *et al.*, 2022; Shan, B. *et al.*, 2020). Destaca-se, portanto, que o modelo não é aplicável para o estado limite último (ELU), dada a presença de comportamentos não-lineares preponderantes dos materiais estudados.

As propriedades elásticas do glubam foram obtidas através dos estudos de referência Shan *et al.* (2020) e Shi *et al.* (2023). O coeficiente de Poisson do concreto foi determinado conforme Bardella, Paterlini e Leronni (2014), enquanto o módulo de elasticidade longitudinal do concreto foi determinado conforme preconizado pelo ACI 318 (2019). As propriedades dos parafusos foram obtidas através do estudo de Oudjene *et al.* (2018). A Tabela 1 apresenta os valores considerados para as propriedades elásticas dos materiais utilizados na simulação.

Tabela 1. Propriedades elásticas consideradas na simulação

Elemento	Módulo de elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson
Concreto	25.74	0.2
Glubam	9.4	0.282
Parafusos/Malha de aço	200	0.3

O critério de convergência adotado foi por incremento automático de deslocamento, com limite máximo de 10^4 incrementos de tamanho inicial de 0,001, máximo de 0,01 e mínimo de 10^{-15} .

O contato entre os materiais, que consiste em uma fonte de não linearidade, se deu de duas formas: por interação total entre as partes e por atrito. A interação total foi considerada para o contato entre o glubam e os parafusos, que, no estudo experimental, foram fixados por meio de adesivo epóxi. Para isso, foi utilizada a configuração tipo *tie*, presente na biblioteca padrão do software Abaqus/CAE (Dassault Systèmes Simulia, 2012). O contato por meio de atrito foi configurado por meio de duas propriedades nativas do programa: comportamento tangencial e normal. O contato tangencial foi configurado com o coeficiente de fricção de 0,4 entre o aço e o concreto (Oliveira *et al.*, 2022) e, pela falta de valores específicos da literatura, de 0,3 entre o concreto e o glubam, valor comumente utilizado no contato entre madeira e concreto (Polus; Szumigala, 2019). O contato normal foi configurado com a propriedade Hard Contact.

O modelo proposto foi validado com os dados do documento de referência (Shan, B. *et al.*, 2020) e demais informações disponíveis na literatura, cabendo destacar que foram considerados elementos finitos hexaédricos de 8 nós e com interação reduzida (C3D8R) na simulação do glubam, do concreto e dos parafusos. A malha de aço presente na laje foi considerada como elemento de barra (T3D2). O tamanho médio de aresta adotado para esses elementos foi de 30 mm, de forma a configurar malha para o tamanho da espessura de cada lâmina de glubam. Pela simetria do modelo avaliado, nas simulações considerou-se apenas uma das metades da estrutura (Figura 2). Na seção de simetria (extremidade esquerda da Figura 2), os deslocamentos foram restringidos na direção dos

eixos x e z. No apoio (extremidade direita da Figura 2), os deslocamentos prescritos foram impostos nas direções dos eixos x e y.

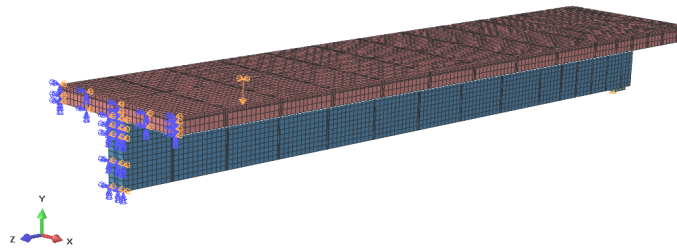


Figura 2. Viga modelada com condições de contorno e malha de elementos finitos

2.2 Estudo paramétrico

Com interesse em destacar a influência do concreto na rigidez à flexão do elemento composto, foram considerados diferentes valores do módulo de elasticidade longitudinal (E_c), comprimento total da viga (L) e espessura da laje (e_c). Para o E_c , foram utilizados os valores correspondentes às classes de resistência do concreto, com valores de resistência à compressão (f_{ck}) entre 20 MPa e 50 MPa, determinados por meio da Equação 2, conforme documento normativo americano (ACI, 2019). Destaca-se que a escolha pela equação presente no documento normativo americano se deu em razão desse modelo melhor estimar o E_c do estudo realizado por Shan *et al.* (2020).

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c} \quad (2)$$

Os valores para L e e_c também foram definidos com duas variações, sendo considerados os valores inicialmente adotados pelo estudo de referência e um valor adicional. Para o L os valores adotados foram de 4000 mm e 8000 mm (referência) e para e_c foram utilizados 100 mm (referência) e 200 mm. Os valores adicionais aos considerados por Shan *et al.* (2020) ($L = 4000$ mm e $e_c = 200$ mm) foram definidos para representar valores usualmente encontrados em situação de projeto, adotando então metade do valor da referência para o comprimento da viga e o dobro para a espessura da laje. A Tabela 2 apresenta a configuração e nomenclatura adotada para os modelos considerados neste estudo conforme a variação de parâmetros adotada.

Tabela 2. Parâmetros variados no estudo

Modelo	Concreto	Esp. da laje (mm)	Comprimento (mm)
C20-A8	C20	100	8000
C20-A4	C20	100	4000
C20-B8	C20	200	8000
C20-B4	C20	200	4000
C30-A8	C30	100	8000
C30-A4	C30	100	4000
C30-B8	C30	200	8000
C30-B4	C30	200	4000
C40-A8	C40	100	8000
C40-A4	C40	100	4000
C40-B8	C40	200	8000
C40-B4	C40	200	4000
C50-A8	C50	100	8000
C50-A4	C50	100	4000
C50-B8	C50	200	8000
C50-B4	C50	200	4000

Na primeira coluna da Tabela 2, as letras A e B representam, respectivamente, a espessura da laje (A = 100 mm e B = 200 mm) e os números 4 e 8, que sucedem a representação da espessura da laje, indicam o comprimento total da viga, em metros.

3. Resultados e discussões

3.1 Validação do modelo numérico

Considerando que a resposta de comportamento mecânico esperado em relação à razão força-deflexão se encontra no regime elástico linear, essa relação foi definida para validação do modelo numérico. Os dados experimentais foram obtidos do estudo de Shan *et al.* (2020). A Tabela 3 apresenta a comparação dos valores de força necessária para alcançar o limite do estado limite de serviço.

Tabela 3. Validação do modelo numérico

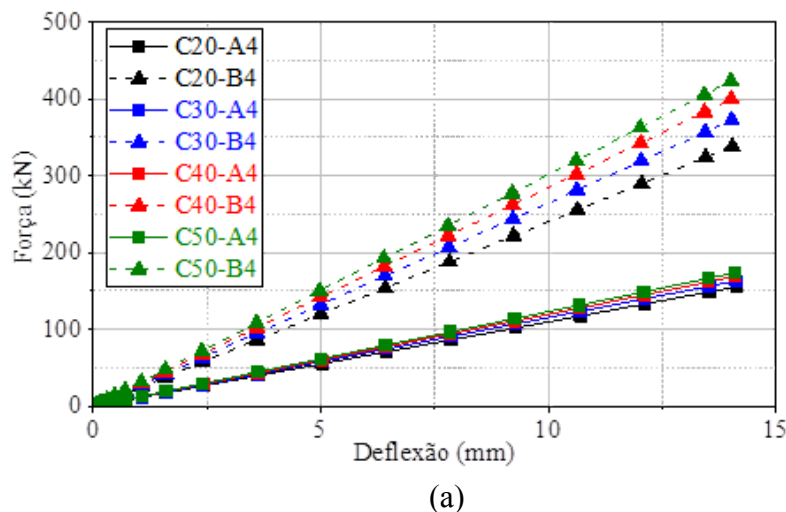
Modelo	Força limite (kN)
Referência (experimental)	42,16
Modelo numérico	42,08
$\text{Erro}(\%) = \frac{ \text{Força}_{\text{numérico}} - \text{Força}_{\text{experimental}} }{\text{Força}_{\text{experimental}}} \cdot 100$	0,19%

Conforme observado na Tabela 3, o modelo elaborado foi capaz de reproduzir o comportamento encontrado por Shan *et al.* (2020) em laboratório. O erro obtido é considerado pequeno, sendo consideravelmente inferior aos 15% obtidos no próprio estudo de Shan *et al.* (2020). Ao comparar o erro encontrado com outros estudos similares (Jardim *et al.*, 2022; Mastela *et al.*, 2021; Vilela *et al.*, 2023), observa-se que erros de até 2% são comuns para análises no regime elástico.

Considerando a adequada capacidade de previsão do comportamento da viga de referência pelo modelo numérico, foi dispensado o teste de sensibilidade de malha, uma vez que seu intuito seria de otimizar o tempo de processamento, o que tende a ser baixo nesse tipo de simulação. Com isso, foi realizado o estudo paramétrico.

3.2 Análise do estudo paramétrico

Após validação do modelo, os modelos paramétricos foram elaborados e processados. A Figura 3 ilustra o comportamento encontrado nas vigas.



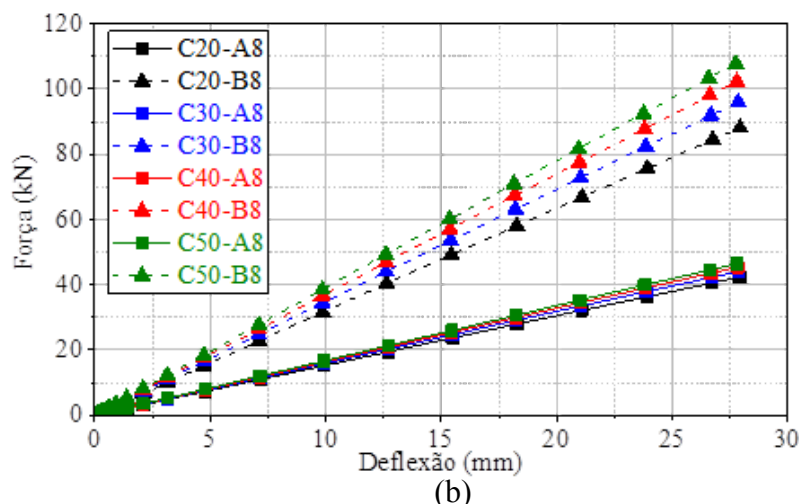


Figura 3. Comportamento força-deflexão dos modelos com 4 metros (a) e 8 metros (b)

Conforme apresentado na Figura 3, o comportamento da viga foi similar para os dois comprimentos de viga considerados, variando apenas a magnitude dos deslocamentos e forças correspondentes. Destaca-se que os modelos com 200 mm de espessura de laje apresentaram resultados de rigidez a flexão superiores em relação aos modelos com 100 mm, mostrando-se mais eficiente do que a alteração da classe de resistência do concreto. Esse resultado está em acordo com os resultados experimentais encontrados no estudo realizado por Wen *et al.* (2023) em vigas compósitas de madeira e concreto (TCC), no qual o aumento da seção de concreto proporcionou uma maior rigidez à flexão para as amostras. Do ponto de vista da mecânica das estruturas, esse salto ocorre porque o aumento de espessura da capa de concreto distancia a área de maior rigidez longitudinal da linha neutra do sistema, elevando o momento de inércia da seção.

As vigas com maior espessura de laje de concreto apresentaram resultados de rigidez a flexão entre 108,25%, para concreto da classe C20 e oito metros de comprimento, e 143,72%, para concreto da classe C50 e quatro metros de comprimento, superiores ao modelo equivalente com menor espessura de laje. Destaca-se que, conforme esperado, o aumento da capacidade portante é maior conforme o aumento na resistência do concreto.

Ainda assim, ao analisar apenas o efeito do aumento da resistência do concreto na capacidade portante do elemento no estado limite de serviço, o incremento de rigidez máximo encontrado foi de 25,16% comparando os concretos da classe C20 e C50 na viga com 200 mm de espessura de laje e quatro metros de comprimento. Foi verificado que o percentual de melhoria na rigidez à flexão é maior quando se altera o concreto C20 para C30, variando entre 4,18% e 10,06%, do que ao alterar o concreto C40 para C50, onde foi observada uma variação entre 2,35% e 5,89%.

Desse modo, em situações de projeto em que o concreto a ser adotado seja de baixa resistência (concretos próximos à classe C20) e não se deseja aumentar o volume de material empregado (aumentar a espessura da laje de concreto), o aumento do módulo de elasticidade do concreto para um referente a uma classe de resistência superior pode conduzir a melhorias mais perceptíveis. Contudo, a especificação de concretos com alto desempenho, como C40 e C50, unicamente com propósito de atender ao ganho de rigidez à flexão em vigas mistas de glubam mostra-se ineficiente e economicamente inviável, sendo o incremento na geometria da seção transversal um ajuste mais eficaz.

A rigidez à flexão de cada modelo, calculada conforme Equação 1, é apresentada na Figura 4, onde se destaca que a espessura da laje possui impacto superior na rigidez do que o comprimento da viga.

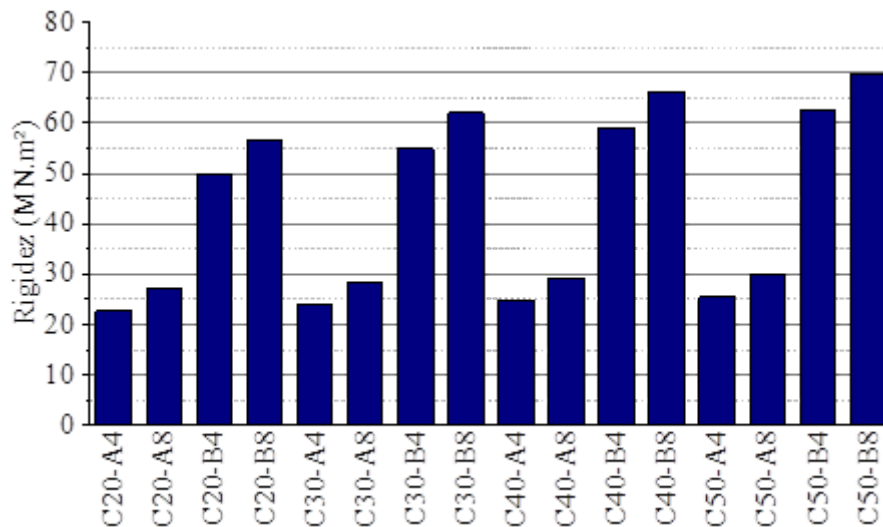


Figura 4. Rigidez à flexão dos modelos

O comportamento observado na Figura 4 pode ser justificado pelo módulo de elasticidade do concreto variar entre 223% e 353% do valor do módulo de elasticidade do glubam considerado no estudo paramétrico. Desse modo, a variação da área da seção transversal da laje de concreto tende a resultar em um grande impacto na rigidez à flexão da viga.

No estudo realizado por Li *et al.* (2019), onde os autores avaliaram a rigidez de vigas de glubam sem a contribuição da laje de concreto, foi indicado que a alteração do compósito de bambu para outro com maior rigidez, dentre os já produzidos, proporcionam um incremento de até 10% na rigidez da viga, evidenciando a limitação desse material. Ao observar os resultados encontrados ao se considerar a laje de concreto (Figura 4), evidencia-se a importância da consideração dessa associação para um melhor desempenho estrutural. A Figura 5 apresenta a variação da rigidez à flexão conforme a classe de resistência do concreto.

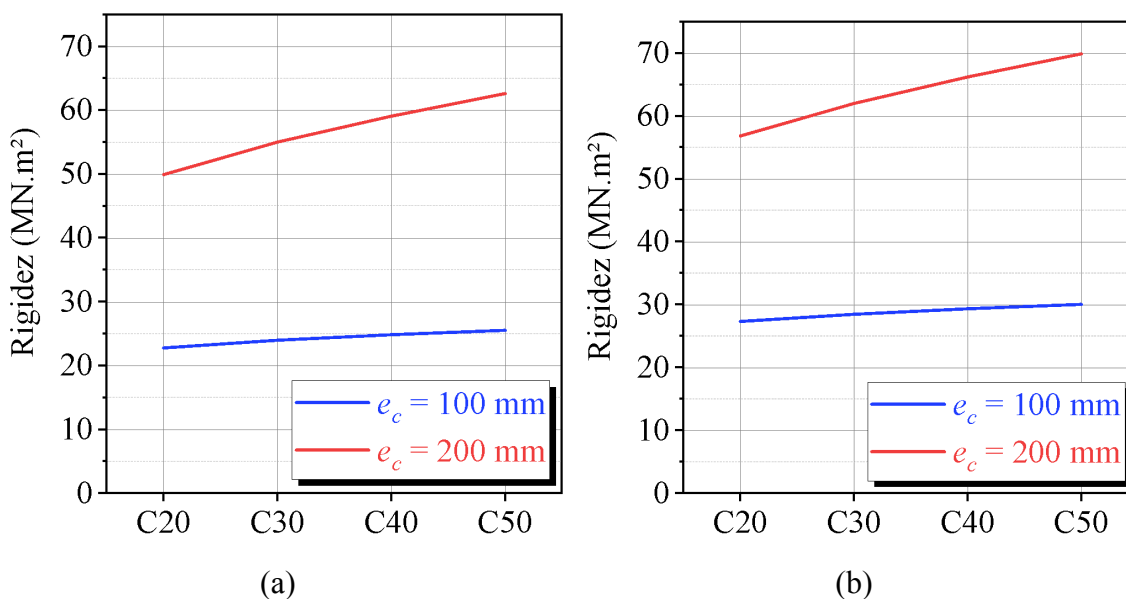


Figura 5. Rigidez à flexão dos modelos com 4 metros (a) e 8 metros (b), conforme classe de resistência

De forma análoga à Figura 3, a Figura 5 permite identificar que apenas a magnitude da rigidez varia ao comparar os resultados encontrados nas vigas de quatro e oito metros. Esse comportamento é justificado fisicamente pela influência das deformações por cisalhamento que penalizam vigas curtas devido à relação vão/altura, vãos mais longos encontram-se mais próximos das hipóteses clássicas de flexão, tornando a seção mais eficiente na restrição de deslocamentos. Entretanto, destaca-se que o ganho de rigidez com o aumento da resistência do concreto ocorre com uma taxa superior nos modelos com maior espessura da laje.

Desse modo, destaca-se que os apontamentos realizados por Shan *et al.* (2017) sobre as vantagens da utilização do concreto para melhoria da rigidez das vigas de glulam foram confirmados. Logo, observa-se que em projetos com as estruturas compostas analisadas, a otimização da rigidez é obtida de forma mais significativa com o incremento da relação vão/altura e espessura da laje, sendo a classe de resistência um recurso secundário.

5. Conclusões

Este estudo se dedicou a analisar a contribuição do concreto na rigidez à flexão das vigas mistas de glulam-concreto, destacando a influência dos parâmetros físicos e geométricos da laje de concreto desse elemento. Com os resultados obtidos, foi possível concluir que:

- i. A espessura da laje de concreto das vigas mistas foi o parâmetro que mais influenciou no aumento da rigidez à flexão dos modelos considerados no estudo paramétrico. O incremento geométrico (de 100 mm para 200 mm) altera consideravelmente a inércia da seção, mostrando-se estruturalmente mais eficiente do que a elevação da classe de resistência do concreto;
- ii. O aumento do módulo de elasticidade longitudinal do concreto se mostrou mais efetivo em concretos de baixa resistência. A adoção de classes superiores demonstrou-se insuficiente para o aumento exclusivo da rigidez à flexão.

O presente estudo confirmou as observações realizadas na literatura quanto a possibilidade da consideração da associação da viga de glulam com a laje de concreto como uma solução para o problema de baixa rigidez observada nas vigas constituídas integralmente por glulam. Os resultados comprovam que a associação ao concreto é uma solução viável para a baixa rigidez inerente ao glulam isolado, viabilizando sua aplicação em vãos mais longos.

Contudo, apesar da elevada precisão alcançada, o presente estudo apresenta limitações associadas às premissas simplificadas adotadas na modelagem por elementos finitos. A análise restringiu-se ao comportamento global da viga composta no estado limite de serviço (ELS), assumindo-se as hipóteses de comportamento elástico linear para os materiais e de comportamento isotrópico para o glulam, com base em suas propriedades elásticas longitudinais. Por conseguinte, os modelos atuais não contabilizam a degradação da rigidez decorrente da fissuração do concreto tracionado, da plastificação ou de falhas por cisalhamento.

Como perspectivas para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de uma validação experimental adicional para monitorar o escorregamento real na interface e avaliar o desempenho dos conectores mecânicos sob diferentes distribuições. Adicionalmente, sugere-se a ampliação do modelo numérico para a avaliação do estado limite último (ELU), incorporando formulações não-lineares, tais como o modelo de dano plástico do

concreto (*Concrete Damaged Plasticity* — CDP) e critérios de ruptura ortotrópica para o glubam.

Referências

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *ACI 318: Building code requirements for structural concrete*. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 7190-1: Projeto de estruturas de madeira. Parte 1: Critérios de dimensionamento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- BARDELLA, L.; PATERLINI, L. & LERONNI, A. *Accurate modelling of the linear elastic flexure of composite beams warped by midlayer slip, with emphasis on concrete-timber systems*. *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 87, p. 268–280, 2014.
- DASSAULT SYSTÈMES SIMULIA. *Abaqus 6.12 analysis user's manual: Prescribed conditions, constraints & interactions*. Abaqus 6.12, vol. 5, p. 831, 2012.
- DERESA, S. T.; REN, H. T. & XU, J. J. *Flexural behavior of glubam-recycled aggregate concrete composite beam*. *Modern Engineered Bamboo Structures*. London: Taylor & Francis Group, p. 173–179, 2020.
- ESCAMILLA, E. Z.; HABERT, G.; DAZA, J. F. C.; ARCHILLA, H. F.; ECHEVERRY FERNÁNDEZ, J. S. & TRUJILLO, D. *Industrial or traditional bamboo construction? Comparative life cycle assessment (LCA) of bamboo-based buildings*. *Sustainability*, vol. 10, n. 9, 2018.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *BS EN 1995-1-1: Design of timber structures. Part 1-1: General- Common rules and rules for buildings*. Brussels: Eurocode 5, 2004.
- JARDIM, P. I. L. G.; MASCARENHAS, F. J. R.; ALMEIDA, D. H. de; LAHR, F. A. R. & CHRISTOFORO, A. L. *Numerical Analysis of Hardwood Timber Beams Reinforced With Steel Plate Screwed*. *Revista Árvore*, vol. 46, p. 1–9, 2022.
- LI, L.; XIAO, Y. & YANG, R. *Experimental study on creep and mechanical behavior of modern bamboo bridge structure*. *Key Engineering Materials*, vol. 517, p. 141–149, 2012.
- LI, Z.; YANG, G.; ZHOU, Q.; SHAN, B. & XIAO, Y. *Bending performance of glubam beams made with different processes*. *Advances in Structural Engineering*, vol. 22, n. 2, p. 535–546, 2019.
- MASTELA, L. da C.; SEGUNDINHO, P. G. de A.; TAQUETTI, V. B.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. & GALES, T. A. *Modelagem numérica comparativa da ponte Florestinha, construída em madeira e concreto*. *Ambiente Construído*, vol. 21, n. 3, p. 295–304, 2021.
- OLIVEIRA, V. M. de; ROSSI, A.; FERREIRA, F. P. V. & MARTINS, C. H. *Stability behavior of steel-concrete composite cellular beams subjected to hogging moment*. *Thin-Walled Structures*, vol. 173, p. 108987, 2022.
- OUDJENE, M.; MEGHLAT, E. M.; AIT-AIDER, H.; LARDEUR, P.; KHELIFA, M. & BATOZ, J. L. *Finite element modelling of the nonlinear load-slip behaviour of full-scale timber-to-concrete composite T-shaped beams*. *Composite Structures*, vol. 196, p. 117–126, 2018.
- POLUS, L. & SZUMIGALA, M. *Finite Element Modelling of the Connection for Timber-concrete Composite Beams*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 471, n. 5, 2019.
- TIMOSHENKO, S. *Strength of materials*. 2. ed. New York: D. Van Nostrand Company, vol. 1, 1940.
- SHAN, B.; WANG, Z. Y.; LI, T. Y. & XIAO, Y. *Experimental and Analytical Investigations on Short-Term Behavior of Glubam-Concrete Composite Beams*. *Journal of Structural Engineering*, vol. 146, n. 3, p. 1–13, 2020.
- SHAN, B.; XIAO, Y.; ZHANG, W. L. & LIU, B. *Mechanical behavior of connections for glubam-concrete composite beams*. *Construction and Building Materials*, vol. 143, p. 158–168, 2017.
- SHAN, B.; CHEN, J. & XIAO, Y. *Mechanical properties of glubam sheets after artificial accelerated aging*. *Key Engineering Materials*, vol. 517, p. 43–50, 2012.
- SHI, D.; HUANG, H.; LI, N.; LIU, Y. & DEMARTINO, C. *Bolted steel to laminated timber and glubam connections: Axial behavior and finite-element modeling*. *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 252, p. 108364, 2023.

SUN, X.; HE, M. & LI, Z. *Novel engineered wood and bamboo composites for structural applications: State-of-art of manufacturing technology and mechanical performance evaluation.* Construction and Building Materials, vol. 249, p. 118751, 2020.

VILELA, R.; MASCIA, N. T.; DONADON, B. F. & SORIANO, J. *Mechanical performance analysis in bending of glulam beams reinforced with synthetic Vectran fibres.* Ambiente Construído, vol. 23, n. 4, p. 289–302, 2023.

WEN, B.; TAO, H.; SHI, B. & YANG, H. *Dynamic Properties of Timber–Concrete Composite Beams with Crossed Inclined Coach Screw Connections: Experimental and Theoretical Investigations.* Buildings, vol. 13, n. 9, p. 2268, 2023.

XIAO, Y.; SHAN, B.; CHEN, G.; ZHOU, Q. & SHE, L. Y. *Development of a new type Glulam-GluBam.* Proceedings of 1st International Conference on Modern Bamboo Structures, ICBS-2007, p. 41–47, 2008.

XIAO, Y. *Engineered bamboo in China.* Nonconventional and Vernacular Construction Materials: Characterisation, Properties and Applications. 2. ed. Elsevier Ltd, p. 625–643, 2020.

XIAO, Y.; ZHOU, Q. & SHAN, B. *Design and Construction of Modern Bamboo Bridges.* Journal of Bridge Engineering, vol. 15, n. 5, p. 533–541, 2010.