

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DO BAMBU EM ESTRUTURA MISTA DE
CONCRETO**

**ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF USING BAMBOO IN A CONCRETE MIXED
STRUCTURE**

Lorença Baptista de Mello Cristo¹

Flavio Lúcio Santos de Carvalho²

RESUMO:

Diversos métodos construtivos estão disponíveis, e a cada dia novas abordagens são incorporadas às obras, introduzindo novos processos e componentes. O bambu tem despertado interesse como uma alternativa viável para ser utilizado como elemento estrutural, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência econômica na construção. Embora o uso do bambu seja limitado no Brasil, observa-se sua aplicação diversificada em construções de países latino-americanos, aproveitando suas vantagens em termos de leveza, resistência e versatilidade.

O estudo atual aborda e compara as propriedades mecânicas por meio de uma análise experimental, utilizando corpos de prova com e sem bambu. Os resultados podem indicar o potencial do bambu como um componente complementar ao concreto na construção civil, sendo destacado seu desempenho notável em situações de flexão e tração. No entanto, em termos de compressão, os dados sugerem que o uso do bambu como revestimento em vigas pode não ser viável do ponto de vista estrutural.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Resistência à compressão; Resistência a flexão e tração; Propriedades mecânicas.

ABSTRACT:

Various construction methods are available, and new approaches are incorporated into works every day, introducing novel processes and components. Bamboo has sparked interest as a viable alternative for use as a structural element, contributing to sustainability and economic efficiency in construction. Although the use of bamboo is limited in Brazil, its diversified application is observed in constructions in Latin American countries, leveraging its advantages in terms of lightweight, strength, and versatility.

The current study addresses and compares the mechanical properties through experimental analysis, using test specimens with and without bamboo. Compression tests were applied to the specimens. The results indicate the potential of bamboo as a complementary component to concrete in construction, highlighting its remarkable performance in bending situations. However, in terms of compression, the data suggest that using bamboo as a covering for beams may not be structurally feasible.

Keywords: Sustainability; Compressive strength; Flexion and traction resistance; Mechanical properties.

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da globalização e o aumento da urbanização nas cidades, juntamente com o crescimento populacional, a indústria da construção civil experimentou um crescimento notável nos últimos anos. Concomitantemente a esse desenvolvimento, surgiram debates sobre a sustentabilidade do crescimento dessa indústria. Este setor representa o maior consumidor individual de recursos naturais, contribui para a poluição, consome energia na produção e transporte de materiais, e é responsável pela significativa geração de resíduos nos locais de construção (John, 2002).

Este estudo concentra-se principalmente na análise da previsão do uso do bambu em estruturas mistas de concreto, sendo elaborado como revestimento do concreto desprovido de armadura de aço, com o objetivo de avaliar sua eficácia tanto do ponto de vista estrutural quanto econômico. Serão abordados aspectos técnicos e normativos relacionados ao uso do bambu na construção civil, além dos resultados de testes e simulações que evidenciam sua eficiência como elemento estrutural em conjunto com o concreto.

Com o intuito de abordar a problemática da implementação do bambu em elementos estruturais de concreto, a pesquisa se propõe a verificar se uma viga de concreto armado com bambu pode atingir resistência equivalente, quando direcionada à tração na flexão, em comparação com uma viga de concreto armado com aço, considerando o estado limite último. Este trabalho argumenta que a construção civil continua gerando impactos ambientais consideráveis, sendo o ferro um dos principais responsáveis, devido aos danos ambientais causados pela extração desse minério. Isso destaca a necessidade de adoção de alternativas mais sustentáveis. O bambu surge como uma opção viável, pois sua produção é simples, apresenta alta produtividade e não requer replantio, já que novos surgem na mesma touceira, evidenciando suas características de propagação, regeneração e resistência. Além disso, o bambu pode se desenvolver em solos de baixa fertilidade e em condições climáticas adversas, além de possuir boas propriedades construtivas.

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é verificar a técnica do bambu como elemento estrutural, analisando sua aplicabilidade e destacando as características que sua adoção pode conferir às estruturas. De maneira mais específica, uma pesquisa visa avaliar o desempenho do bambu, a eficiência ambiental desse material e sua sustentabilidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONCRETO ARMADO NAS CONSTRUÇÕES

Quando os seres humanos começaram a empregar uma mistura de cimento, agregado e água na construção, perceberam que, se os componentes misturados e curados não fossem expostos a grandes vãos, seriam capazes de resistir eficazmente às especificações. Foi então concebida a ideia de aprimorar a capacidade de

resistência à tração do concreto ao incorporar aço na mistura, resultando na formação de uma estrutura conhecida como concreto armado (Botelho; Ferraz, 2015).

A capacidade de compreender as forças de tração e variação ocorre devido à adesão entre esses dois materiais, impedindo que as deformações causadas pelo aço se igualem às deformações provocadas pelo concreto. Essa combinação de materiais evita o cisalhamento na estrutura, como em vigas, por exemplo (Araujo, 2014). De acordo com Ruschel (1974), a união eficaz entre o concreto e o aço é viável graças a três características:

- a) coeficiente de expansão térmica praticamente idêntico para ambos os materiais;
- b) "ação solidária" entre o concreto e a superfície das armaduras (adesão);
- c) quantidade adequada de cimento e compactação para evitar a oxidação das armaduras.

O concreto armado apresenta diversas vantagens e melhorias quando comparado a outros materiais de construção. Entre as complicações estão o peso excessivo da estrutura, a baixa proteção térmica e as dificuldades decorrentes durante demolições ou reformas. No entanto, suas vantagens incluem a resistência a agentes externos, maleabilidade em diferentes formas, economia, resistência ao fogo e facilidade na construção de estruturas hiperestáticas (Araujo, 2014).

A resistência do concreto é considerada a propriedade mais crucial, embora características como impermeabilidade, durabilidade e estabilidade volumétrica também sejam relevantes na prática. A relação entre as resistências à extensão e tração do concreto está interligada, mas não segue uma proporção direta. Essa relação depende do nível geral de resistência do concreto, e, ao longo do tempo, a resistência à atração aumenta em uma taxa decrescente em comparação com a resistência à variação (Neville; BROOKS, 2013).

A adesão entre o concreto e a armadura de aço é prejudicada pelo aumento de temperatura. Temperaturas entre 200 e 300°C resultam numa perda significativa da resistência obtida em condições ambientais. Além disso, a retração do aço pode comprometer a adesão entre os materiais. A adesão é fundamentalmente derivada do atrito e da adesão entre o concreto e o aço, sendo que, no caso de barras nervuradas, a adesão é proveniente do intertravamento mecânico (Neville; Brooks, 2013).

Atualmente, a população mundial enfrenta uma série de desafios relacionados ao uso sustentável dos recursos naturais disponíveis na Terra. Desde a década de 1950, estudos apontam para um desequilíbrio perigoso no uso envolvido e dispendioso desses recursos, agravado pelo aumento populacional e pela ampliação significativa da produção econômica global (Riaño et al., 2002).

2.2 Armadura convencional

O aço é comumente empregado como reforço no concreto armado devido às suas propriedades estruturais superiores em comparação com o concreto. A maior elasticidade do aço, em comparação com o concreto, viabiliza sua utilização na parte comprimida do concreto, resultando em economia de área e possibilitando a construção de estruturas mais esbeltas.

No contexto brasileiro, a norma NBR-7480 (ABNT, 2007) classifica como armaduras de aço para concreto armado em dois grupos: barras e fios. As barras, com diâmetros nominais de 6,3 mm ou mais, são produzidas por laminação a quente, sem sofrer deformação mecânica posterior. Já os fios, com diâmetro nominal de 10 mm ou menos, são obtidos por trefilação ou laminação a frio. As propriedades mecânicas determinam as categorias, sendo CA-25 e CA-50 para barras de aço, e CA-60 para fios de aço. De acordo com Botelho e Ferraz (2015), os aços disponíveis no mercado são classificados da seguinte forma:

a) Tipo "A": laminados a quente;

b) Tipo "B": laminados a quente e posteriormente encruados por torção ou seção transversal (trefilação de fios por máquina).

É fundamental ressaltar que, mesmo com a manutenção regular, pode haver influência dos materiais ao longo do tempo. A resistência é um processo que pode comprometer o aço, levando à ruptura da estrutura por flexão. A corrosão, que se desenvolve da periferia para o interior do aço, reduz a capacidade de resistência devido ao aumento da área de aço. Além disso, o assentamento pode resultar na perda de aderência do concreto com as barras de aço, ocasionando fissuras em estruturas com camadas de concreto (Souza e Ripper, 1998).

Quanto à classificação dos aços, além da distinção entre os tipos A e B, são categorizados como CA25, CA50 e CA60, conforme detalhado no Quadro 1. Essas categorias são identificadas pelo código CA (aço para concreto armado), com base nas teorias de carbono e não há número indicativo de tensão de escoamento (f_yk). Apesar das variações nas categorias, todos os tipos de aço possuem o mesmo peso específico. O módulo de aço (E_s) é de $2.100.000 \text{ kgf/cm}^2 = 210 \text{ GPa}$, e o peso específico do aço é de $78,50 \text{ kN/m}^3$ para todas as variedades e categorias (NBR 6118, ABNT, 2014).

Quadro 1 - Tipo de aços / características de uso

| Tipo | Tensão de escoamento mínimo ou valor característico (kN/cm ²) | | Tensão para o qual ocorre a deformação de 0,2% (kN/cm ²) | Tensão de cálculo | Características de uso |
|-------|---|------------------------|--|-------------------|---------------------------------------|
| | CA25 | 25 kgf/mm ² | | | |
| CA25A | CA25 | 25 kgf/mm ² | 21,5 | 21,5 | Para pequenas obras - fácil de dobrar |
| CA50A | CA50 | 50 kgf/mm ² | 42 | 43,5 | É o aço mais comum |
| CA60B | CA60 | 60 kgf/mm ² | 40 | 52,2 | Muito usado em pré-moldados |

Fonte: Adaptado da NBR7480 (2007)

Garantir a longevidade dos materiais é essencial para o desempenho adequado das estruturas, especialmente no caso do aço em áreas propensas a cargas de flexão. A probabilidade de corrosão está diretamente relacionada às características do concreto, à espessura e à qualidade do revestimento. De acordo com as normativas em vigor, o projeto deve garantir um revestimento mínimo, levando em consideração o revestimento nominal, o que incorpora uma margem de tolerância de execução de 10mm, conforme indicado no quadro 2 (NBR 6118, ABNT,2014).

Quadro 2 - Cobrimento nominal

| Tipo de estrutura | Componente ou elemento | Classe de agressividade ambiental | | | |
|-------------------|---|-----------------------------------|----|-----|----|
| | | I | II | III | IV |
| | | Cobrimento nominal mm | | | |
| Concreto armado | Laje | 20 | 25 | 35 | 45 |
| | Viga-/pilar | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Elementos estruturais em contato com o solo | 30 | | 40 | 50 |

Fonte: NBR 6118 (2014)

2.3 Bambu como material estrutural

O bambu é utilizado na construção civil desde tempos antigos, sendo empregado pelos nossos proprietários na construção de cabanas. Além disso, há registros de sua utilização como material estrutural na América do Sul, especialmente na Colômbia, bem como em países como China e Japão. De acordo com Sobrinho Júnior (2010), o bambu tem potencial para substituir o aço em elementos incorporados na construção civil, tais como lajes de concreto com forma permanente de bambu, andaimes, treliças, elementos de reforço de paredes, entre outras aplicações possíveis.

Tedeschi (2011) afirma que o bambu pode ser utilizado na forma de roliça ou em ripas, em combinação com outros materiais, como concreto ou argamassa, bem como em forma de bambu laminado em revestimentos. No Brasil, existem muitos estudos e testes sendo realizados para investigar as propriedades do bambu e aprimorar sua aplicação na construção civil. Apesar da falta de normas técnicas específicas para o uso de bambu na construção civil, o pesquisador adapta normas semelhantes e cumpre ao sistema, a fim de auxiliar na análise do material.

2.4 Vantagens e desvantagens do bambu

2.4.1 Vantagens

Dentre os benefícios do bambu como um material para construção, pode-se mencionar que:

- 1) ele cresce rapidamente, o que significa que pode ser produzido em grandes pedaços em uma pequena área;
- 2) embora seja leve, o bambu é um material forte que pode suportar altas cargas de tração, graças à sua estrutura que é capaz de lidar bem com cargas dinâmicas (Ferreira, 2002). Além disso, o bambu é mais eficiente energeticamente do que o aço e o concreto, e é muito resistente mecanicamente, especialmente à tração, o que o torna adequado para diversos elementos elaborados (Sobrinho Junior, 2010).

2.4.2 Desvantagens

O colmo de bambu tem uma durabilidade natural limitada e, por isso, é necessário realizar alguns procedimentos para o seu corte, cura, secagem e tratamentos preventivos (Sobrinho Junior, 2010). De acordo com Ghavami e Barbosa (2007) citado por Oliveira (2013), por ser uma matéria-prima de origem vegetal, o bambu deve ser protegido da exposição excessiva à umidade, grandes variações de temperatura e calor intenso. Além disso, o bambu tem baixa aderência ao concreto e à argamassa. Como é um material higroscópico, sua aderência ao concreto é dificultada quando entra em contato com a água (Sobrinho Junior, 2010).

É crucial ressaltar que o bambu possui um módulo de elasticidade inferior ao do aço. Dessa forma, aconselhamos que a superfície de bambu em componentes de concreto seja seis vezes superior à superfície necessária para o aço (conforme Ghavami, 1992 citado por Ferreira, 2002).

2.5 Umidade do bambu

A quantidade de umidade varia entre variedades específicas de bambu, sendo influenciada pela época da colheita e pela maturidade dos colmos. Geralmente, os colmos mais jovens apresentam níveis de umidade mais elevados em comparação com os colmos maduros. Por exemplo, os colmos verdes podem conter entre 40% e 150% de umidade. Nos colmos maduros, a umidade é mais alta na base e diminui gradualmente na direção ao topo, sendo também menor nas fibras em comparação com as partes internas do colmo. Lopez (2003) observou que a umidade ao longo da parede interna do colmo é mais alta na base e diminui na direção à extremidade superior.

De acordo com a categorização feita pelo autor, o ponto de saturação das fibras dos bambus analisados varia entre 13% e 20%, dependendo da espécie. A casca do bambu é praticamente impermeável devido a um revestimento de cera. Contudo, nas camadas subsequentes, os vasos e células parenquimáticas têm uma notável capacidade de absorção de umidade, sendo altamente higroscópicos (Beraldo; Carbonari, 2019).

Para atingir um teor de umidade de 10% a 15% nos colmos após a colheita, é essencial realizar um processo de secagem ao ar livre por até 4 meses. Essa etapa de secagem é crucial para diminuir a massa do colmo e aprimorar suas propriedades mecânicas (Beraldo, 2003).

2.6 Propriedades físicas do bambu

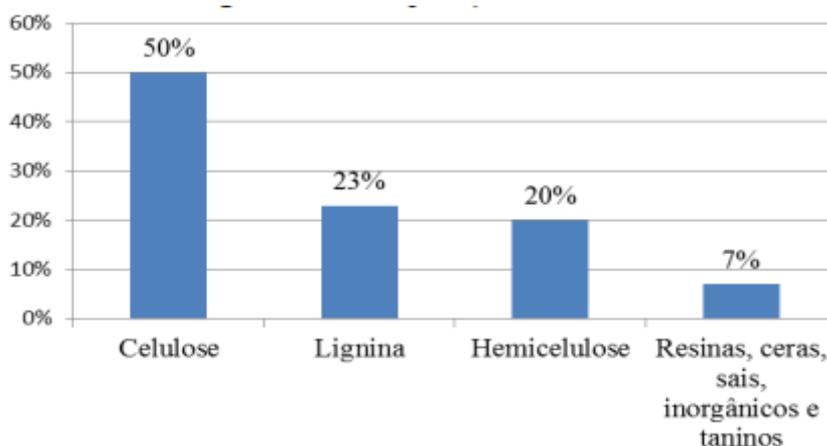
Conforme afirmado por Beraldo e Carbonari (2019), as características físicas fundamentais do bambu abrangem aspectos como a quantidade de umidade presente, a densidade e a estabilidade dimensional, que engloba tanto a retração quanto o inchamento. Para atender às especificações específicas, é viável analisar o desempenho térmico e as propriedades acústicas do bambu, tanto em sua condição natural quanto após processamento.

A primeira propriedade é de grande importância, pois confere ao bambu as qualidades necessárias para uma variedade de utensílios culinários, como cabos de panelas em geral. Já a segunda propriedade é fundamental para avaliar o desempenho do bambu na fabricação de instrumentos musicais, incluindo tampos e braços de violões, flautas andinas e a renomada flauta japonesa "sakuachi". Além disso, o bambu tem sido utilizado de forma inovadora como amplificador sonoro para celulares

2.7 Propriedades químicas do bambu

Conforme indicado por Liese (1998), vários fatores exercem influência na composição química do bambu, tais como a espécie, a idade, a região do colmo (base, centro e topo) e as condições de crescimento. O autor ressalta que os carboidratos representam os principais elementos químicos presentes no bambu. Além dos carboidratos, a estrutura do bambu inclui celulose, hemicelulose, lignina, bem como quantidades mínimas de resinas, ceras, sais inorgânicos e taninos, conforme evidenciado no gráfico 1.

Gráfico 1 - Composição do bambu



Fonte: Adaptado de BERALDO; CARBONARI (2019)

Conforme recomendação de Pereira e Beraldo (2008), a composição dos carboidratos e da lignina no bambu permanece inalterada ao longo de um ano, mas apresenta variações durante o processo de maturação. Os pesquisadores ressaltam que o amido, encontrado no tecido parenquimatoso, é um dos principais componentes químicos do bambu, cuja quantidade é influenciada pela espécie, estação do ano e idade dos colmos. No entanto, devido à falta de equipamentos específicos para o processamento eficaz do bambu, a presença de sílica nas camadas externas dos tecidos surge como uma defesa contra insetos. No entanto, essa característica também resulta em um desgaste excessivo de ferramentas, como serra, plaina e lixadeira, durante o processo de usinagem do bambu (Beraldo e Carbonari, 2019).

2.8 Propriedades mecânicas do bambu

Uma das características que diferencia o bambu de outros materiais vegetais estruturais é sua notável produtividade, conforme destacado por Moreira e Ghavami em 1995. Segundo esses pesquisadores, o bambu atinge uma resistência mecânica

estrutural superior a outras plantas após dois anos e meio de crescimento, devido à sua forma tubular final, que proporciona estabilidade estrutural. A configuração circular oca, baixa densidade e propriedades vantajosas estabelece uma relação positiva entre a resistência mecânica e a massa específica do material. López (2003) concorda discrepâncias na resistência mecânica em diversas partes dos colmos.

Um pesquisador ressaltou a importância de considerar certos aspectos em projetos que envolvem o uso do bambu:

Resistência na parte interna: A região central interna apresenta maior resistência devido aos longos comprimentos das fibras, enquanto nas proximidades dos nós, as fibras são mais curtas.

Resistência nos nós: A densidade é mais elevada nesses pontos devido à menor presença de tecido parenquimatoso. No entanto, devido aos desvios nos feixes de fibras e à descontinuidade do colmo, a resistência à flexão, elasticidade, cisalhamento e tração é menor.

Resistência no colmo: Uma quantidade maior de fibras nas partes internas das paredes aumenta a resistência à tração e especificidade da parte interna para a externa. As propriedades mecânicas do colmo variam ao longo do seu comprimento, sendo mais resistentes na região apical em comparação com as regiões específicas e básicas.

A anatomia do bambu está intrinsecamente ligada à sua resistência mecânica, com o módulo de ruptura ou tensão (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) associados ao comprimento das fibras, conforme coletado por Liese em 1987. Mesmo entre bambus da mesma espécie, há variação na resistência, ao contrário do aço, que apresenta um desvio padrão menor. O bambu, devido à sua capacidade de absorver energia por meio da deformação, possui um desvio padrão maior, aliviando a tensão antes da ruptura, como apontado por Janssen em 2000. Ghavami et al. (2017) observaram que, para uma única espécie, o módulo de elasticidade à tração é maior do que o módulo à previsão, variando entre 8 GPa e 25 GPa em diferentes espécies.

2.8.1 Compressão paralela às fibras

Conforme estipulado na norma ISO 22157 (2004), a avaliação das características físicas e mecânicas do bambu segue um procedimento dividido em duas etapas distintas. A Parte I estabelece os requisitos essenciais para a análise do bambu como material de construção, enquanto a Parte II consiste em um manual laboratorial que define os critérios a serem seguidos durante os testes realizados em ambiente de laboratório.

De acordo com o exposto na seção Parte II da norma ISO 22157 (2004), ao conduzir ensaios de especificações na direção paralela às fibras do bambu, é possível

σ determinar a carga aplicada, assim como a tensão máxima suportada (σ_{ult}) em Mega Pascal (MPa) ou Newton por milímetro quadrado (N/mm²) até a falha do corpo de prova (CP). Além disso, é factível obter o valor do módulo de especificação nominal (E) em mega pascal (MPa). Independentemente da geometria e do tamanho das peças resistentes a tais especificações, é de suma importância não se restringir apenas ao limite de resistência do material durante uma análise. É crucial também considerar a possibilidade de flambagem devido à esbeltez do elemento estrutural.

Tabela 1 - Resistencia à compressão paralela as fibras em Mpa obtida por diferentes autores

| Região do colmo | CP1 | CP2 |
|--------------------------|-------|--------|
| Base sem nó | 68,5 | 72,6 |
| Base com nó | 59,1 | 71,4 |
| Meio sem nó | 70,8 | 78,8 |
| Meio com nó | 65,4 | 72,7 |
| Topo sem nó | 71,5 | 96,8 |
| Topo com nó | 65,6 | 75,5 |
| Média | 66,8 | 78 |
| Desvio padrão das médias | 4,55 | 9,6 |
| Coefficiente de variação | 6,81% | 12,32% |

Fonte: Adaptado de GHAVAMI et. al (2017)

Conforme as orientações de Pereira e Beraldo (2008), é possível criar corpos de prova retangulares utilizando bambus com paredes espessas, semelhantes aos exemplares do tipo *Dendrocalamus Asper*. Para garantir a qualidade das amostras, é conveniente selecionar uma região interna do colmo, evitando, dessa forma, possíveis interferências interferentes da presença de nós, conforme detalhado na Tabela 1.

3. METODOLOGIA

A análise de classificação de pesquisa deste estudo se dá pela importância em auxiliar na previsão de recursos, na resolução dos problemas e conferir maior racionalidade entre as etapas, seja na observação de resultados, recursos ou tempo. Foram subdivididas em três etapas principais, sendo: área de conhecimento, natureza da pesquisa, finalidade, nível de explicação e métodos adotados.

A área de conhecimento determinada foi baseada no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e gera em torno da área das engenharias. Para a natureza da pesquisa foi classificada como qualitativa, baseada em experimentos com corpos de prova de bambu coletados na natureza e, com a

análise de parâmetros de resistência obtidos a partir da confecção e testes. Já a finalidade de pesquisa, foi determinada como pesquisa aplicada, por ser capaz de resolver problemas identificados no âmbito da sociedade. O nível de explicação foi determinado como exploratório, por proporcionar maior familiaridade com o problema para torná-lo mais explícito ou para construir hipóteses. Por fim, o método adotado foi: Pesquisa bibliográfica (com base em material já publicado) sobre as propriedades do bambu, bem como suas características físicas e mecânicas.

Inicialmente, foi planejado a aplicação de armaduras contidas em bambu como revestimento em substituição ao aço em vigas de concreto armado, o propósito deste exame consiste na avaliação das características da variedade de bambu *Dendrocalamus Asper* por meio de ensaios de detalhamento. Esses testes são fundamentais para estabelecer parâmetros mecânicos sólidos, garantindo a qualidade e a durabilidade das estruturas concebidas com o uso de bambu.

3.1 MÉTODOS

Neste capítulo, serão delineados os procedimentos prolongados para a ação do bambu, juntamente com a descrição abrangente dos modelos usados na condução dos testes de concepção desse material. Os trechos de bambu usados como revestimento nas vigas de suporte abordadas neste estudo são provenientes da espécie *Dendrocalamus Asper*, conforme evidenciado na figura 1, localizada em Santa Tereza, no Estado do Espírito Santo. De acordo com as diretrizes condicionais da norma ISO 22157 (2004), Parte I, os bambus selecionados para os ensaios foram coletados de acordo com as práticas locais observadas, possuindo aproximadamente quatro anos de idade, encontrando-se em condições de saúde adequadas e isentos de quaisquer imperfeições.

Figura 1 – Moita de bambu, Santa Tereza, Espírito Santo.



Fonte: Autoria própria (2023)

3.1.1 Compressão paralela as fibras

O objetivo deste estudo é fazer a avaliação ao longo das fibras da haste de bambu. Por meio desta análise, foi viável identificar a força final de especificação do corpo de teste. De acordo com a norma ISO 22157 (2004), Parte I, é especificado que os corpos de teste devem ser retirados das porções inferiores, médias e superiores à pressa.

3.2 Materiais

3.2.1 Concreto

O tipo de concreto concebido na fabricação das vigas biapoiadas possui um traço de (1:3:3) 1 parte de cimento, 3 partes de areia média e 3 partes de brita. A escolha dessa mistura para a aplicação prática foi motivada pelo fato de ser uma fórmula padrão utilizada no laboratório da instituição.

3.2.1.1 Determinação da massa específica do cimento

Essa pesquisa foi realizada seguindo as orientações específicas da norma NBR 16605 (ABNT, 2017). O teste indicou que a densidade média do cimento CPV-ARI é de 3,28 g/cm³. Esse resultado está em conformidade ao ser confrontado com as informações disponíveis na literatura e com os experimentos realizados pelo fabricante.

3.2.1.2 Ensaio de abatimento do tronco de cone do concreto

A norma NBR NM 67 (ABNT, 1998) estabelece que o ensaio de queda, pendente em condições laboratoriais, é o método utilizado para avaliar a fluidez do concreto fresco, por meio da medição do seu assentamento. A altura de queda corresponde à média da altura do tronco de cone após a retirada do molde, circundada para os 5 mm mais próximos. Ao término do procedimento, um resultado conclusivo e em conformidade com a norma foi de progresso, com o valor registrado para o teste sendo de 92 mm.

3.2.1.3 Moldagem dos corpos de prova de concreto e ensaio de compressão

De acordo com as diretrizes determinantes da norma NBR 5738 (ABNT, 2016), recomendam-se durante o ensaio que, ao atingir 28 dias, os espécimes evidenciam uma média de resistência à ruptura de 25,90 MPa. Esses dados indicam que a utilização do material resultou em um aumento na resistência ao longo do intervalo de tempo até a ocorrência de ruptura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos ensaios realizados, foram obtidos os resultados apresentados a seguir.

4.1 Ensaio de compressão

Após o processo de cura do concreto, proceda ao teste de especificações, no qual o corpo de prova foi posicionado entre duas placas de especificações em uma máquina de ensaio. A carga foi aplicada de maneira gradual e controlada até que uma amostra fosse comprometida até uma falha ou atingisse um nível pré-estabelecido de deformação. No momento da ruptura, foi possível observar a capacidade de suporte do corpo de prova.

Figura 2: Ensaio de compressão



Fonte: Autoria própria (2023)

Os resultados obtidos no teste de especificações para cada amostra, sem a incorporação de bambu, apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Resistencia a compressão dos corpos de prova sem bambu.

| Corpo de prova | Largura do cp (mm) | Altura do cp (mm) | Área do cp (mm ²) | Tensão (Mpa) |
|----------------|--------------------|-------------------|-------------------------------|--------------|
| CP1 | 101,75 | 106,75 | 10861,81 | 23,89 |
| CP2 | 107,45 | 105,70 | 11357,47 | 30,61 |
| CP3 | 104,30 | 103,00 | 10742,90 | 23,21 |
| Média | | | | 25,90 |

Fonte: Autoria própria (2023)

É claro que a resistência média à colaboração dos corpos de prova sem a inclusão de bambu apresentou uma alteração em relação à resistência especificada pelo fabricante do concreto utilizado. Além disso, o coeficiente de variação indica uma dispersão diminuída em comparação com a média.

Os resultados da avaliação para cada corpo de prova, considerando a presença de bambu, foram documentados na tabela 3.

Tabela 3 - Resistencia a compressão dos corpos de prova com bambu.

| Corpo de prova | Largura do cp (mm) | Altura do cp (mm) | Área do cp (mm ²) | Tensão (Mpa) |
|----------------|--------------------|-------------------|-------------------------------|--------------|
| CP1 | 98,95 | 103,75 | 20161,06 | 6,62 |
| CP2 | 96,10 | 105,70 | 19767,77 | 7,73 |
| CP3 | 97,25 | 104,00 | 19741,75 | 6,91 |
| Média | | | | 7,08 |

Fonte: Autoria própria (2023)

A partir dos dados apresentados na Tabela 3, é possível inferir que a resistência média à extensão dos espécimes contendo bambu é inferior à resistência média à variação dos espécimes sem a presença de bambu.

Figura 3 – Forma de ruptura dos CP



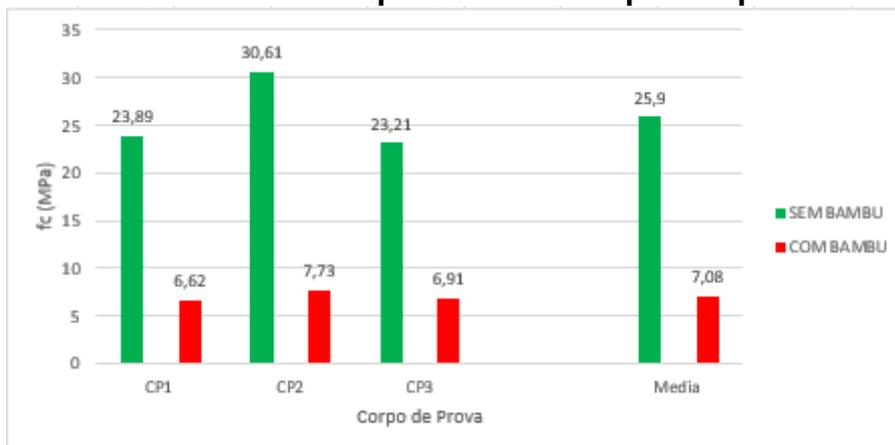
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 4 – Forma de ruptura dos CP com bambu



Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 2 – Resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados.



Fonte: Autoria própria (2023)

A avaliação do gráfico 2 reitera a redução nos desempenhos registrados em corpos de teste contendo bambu, além da notável variação nas resistências observadas em cada cilindro de prova. Também é evidente a uniformidade das resistências obtidas em cada cilindro de teste sem bambu, em contraste com os valores dispersos apresentados pelos corpos de prova que contêm bambu.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta pesquisa consistiu em examinar as alterações na resistência à compressão ao substituir o aço pelo bambu como material de reforço em vigas de concreto isoladas e equipadas em ambos os lados. Através de uma análise técnica comparativa dos resultados, procurou-se compreender a clareza entre os dados de detalhes.

Os resultados deste estudo sugerem que, embora o bambu seja amplamente utilizado na construção civil em diversos países, no Brasil, sua aplicação é predominantemente restrita ao campo artesanal. O bambu exibe uma resistência mecânica notável, especialmente contra esforços de tração e flexão, indicando seu potencial uso em conjunto com o concreto. Atualmente, é o material vegetal mais investigado para integração não concreto, visando a opções dessa combinação em projetos de menor escala ou com mais limitações. No entanto, os resultados obtidos revelam que as colunas reforçadas com bambu, desenvolvidas neste estudo, não destacaram o desempenho sob a combinação.

Em resumo, neste estudo, o bambu surge como uma opção viável na construção civil, levando em consideração aspectos econômicos e ambientais. Contudo, a sua aplicação como componente estrutural revelou-se impraticável com base nos resultados de especificações. Portanto, são possíveis pesquisas mais focadas no desempenho do bambu principalmente relacionados a flexão, torção e tração, dada a ausência de normas específicas sobre o assunto.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - procedimento. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BERALDO, A.L.; AZZINI, A.; CASCARDO, C.R.; RIBEIRO, C.A. Desempenho de um dispositivo para efetuar o tratamento químico de colmos de bambu: avaliação por ultrassom. In: III ENECS - Encontro nacional sobre edificações e Comunidades Sustentáveis. São Carlos, SP. 2003. **Anais...** São Carlos, 2003.

BERALDO, A. L.; CARBONARI, G. Propriedades anatômicas, físicas, químicas, mecânicas do bambu e ensaios para sua determinação. In: LIBRELOTTO, L. I.; OSTAPIV, F. **Bambu**: caminhos para o desenvolvimento sustentável. Florianópolis: Grupo de Pesquisa Virtual, 2019. Cap. 3. p. 44-69. Disponível em: https://issuu.com/jlmartinss/docs/bambu_-_caminhos_para_o_desenvolvim?fbclid=IwAR31ITmP3VD_g78rQhir4SiE2EZMDZq9zSYQ_bP3wyaryEi05JRjKLPoAhkQ. Acesso em: 14 mai. 2023.

BOTELHO, M. H.; FERRAZ, N. N. **Concreto armado eu te amo**. 8. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2015.

FERREIRA, G.C.S, **Vigas de concreto armadas com bambu**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002.

GHAVAMI, K.; BARBOSA, N. P.; MOREIRA, L. E. Bambu como material de Engenharia. **CTC/ PUC-RIO**, p. 305-348, fev. 2017. Disponível em: 83

https://www.researchgate.net/publication/320208925_Bambu_como_Material_de_Engenharia Acesso em: 09 mai. 2023.

GHAVAMI, K. Bambu: **Um material alternativo na Engenharia**. In: Revista do Instituto de Engenharia. São Paulo: Engenho Editora Técnica, 1992, n.192, 13-27 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **22157**: Bamboo — Determination of physical and mechanical properties. Suíça: Iso, 2004.

JANSSEN, J. J.; INTERNATIONAL NETWORK OF BAMBOO AND RATTAN-INBAR. **Designing and building with bamboo**. Beijing, China: Technical report, 2000. Disponível em: https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/INBAR_technical_report_no2_0.pdf. Acesso em: 03 mar. 2023.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. Beijing, China: International Network For Bamboo And Rattan - Inbar, 1998.

LIESE, W. Research on bamboo. **Wood And Science Technology**, Hamburg, Germany, v. 3, n. 21, p.189-209, 1987.

LOPEZ, H. O. **Bamboo**: the gift of the God's. D'vinni Ltda., Bogotá, Colombia. 2003.

MOREIRA, L. E.; GHAVAMI, K. Os méritos do bambu. **O Informador das Construções, Pesquisa e Prospecção**. Belo Horizonte, MG, p. 22-23, jan. 1995.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Concrete Technology**. 2. ed. England: Pearson Education Limited, 2013. E-book Disponível em: <https://pt.slideshare.net/JITENDRASUWASIYA/concrete-technology-2nd-edition-book>. Acesso em: 29 abr. 2023.

OLIVEIRA, Luiz Fernando Andrade de. **Conhecendo bambus e suas potencialidades para uso na construção civil**. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru, SP: Canal6, 2008.

RIAÑO, N. M.; LONDOÑO, X.; LÓPEZ, Y.; GÓMEZ, J. H. Plant growth and biomass distribution on *Guadua angustifolia* Kunth in relation to ageing in the Valle del Cauca - Colombia. **The Journal of the American Bamboo Society**, Colombia, v. 1, n. 16, p. 43-51, 2002. Disponível em: <http://www.maderinsa.com/guadua/fijacion.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2023.

RUSCHEL, R. **Curso básico de concreto armado**. Porto Alegre, RS: Editora Globo, 1974.

SOBRINHO JÚNIOR, Antônio da Silva. **Avaliação do efeito de parâmetros microestruturais e de processo de impregnação de fluidos em colmos de bambusa vulgaris**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo, SP: Editora Pini, 1998.

TEDESCHI, Samara Pereira, et al. **O uso do bambu: o papel da cadeia produtiva no setor moveleiro e da construção civil no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Sociedade) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2011.