

O USO DO BAMBU COMO ELEMENTO ESTRUTURAL EM MORADIAS

Barbosa, Franklim Gualberto¹
Graduando em Engenharia Civil

Silva, Marco Antônio Alves Machado²
Graduando em Engenharia Civil

Oliveira, Muriel Batista de³
Engenheira Civil e de Segurança no Trabalho, Doutora em Educação.

Resumo

A construção civil carece de novos métodos construtivos, afim de não esgotar os recursos naturais. Inúmeros materiais orgânicos podem ser introduzidos no setor, como exemplo o bambu, que ainda não tem seu uso difundido no Brasil para construção de moradias, dada a pouca pesquisa na área e a questões culturais. O que diferencia o bambu de outros materiais vegetais (estruturais) é a sua alta produtividade comparada a madeira e resistência mecânica estrutural, não havendo, portanto, nesse aspecto, nenhum outro concorrente no reino vegetal. O objetivo deste trabalho foi o de apresentar a viabilidade do uso do bambu, planta da subfamília Bambusoideae, como elemento estrutural usado na construção civil, abordando-se suas vantagens e desvantagens. Valores obtidos por meio de ensaios mecânicos em corpos de prova do material, apresentaram resistência à compressão compatível com o concreto armado. Foi avaliada a estabilidade dos pilares e a deformações das vigas, a partir de carregamento aplicado em um protótipo em bambu que simulou a estrutura de casa popular. Pode-se concluir que o bambu é um material que pode ser utilizado na construção civil, dado aos altos valores de resistência obtidos e das baixas deformações apresentadas frente ao carregamento aplicado.

Palavras-chave: Bambu; Construção; Elementos estruturais; Resistência.

Abstract

Civil construction lacks new construction methods, in order not to exhaust natural resources. Numerous organic materials can be introduced in the sector, such as bamboo, which has not

¹ Centro Universitário Redentor, Engenharia Civil, Itaperuna-RJ, franklimgualberto@gmail.com

² Centro Universitário Redentor, Engenharia Civil, Itaperuna-RJ, marco.antonio.machado.alves@gmail.com

³ Centro Universitário Redentor, Direção de Graduação EaD, Itaperuna-RJ, e-mail muriel1078@gmail.com

yet been used in Brazil for housing construction, given the little research in the area and cultural issues. What differentiates bamboo from other vegetal (structural) materials is its high productivity compared to wood and structural mechanical resistance, therefore, in this respect, there is no other competitor in the plant kingdom. The objective of this work was to present the feasibility of using bamboo, a plant of the Bambusoideae subfamily, as a structural element used in civil construction, addressing its advantages and disadvantages. Values obtained through mechanical tests on specimens of the material, showed resistance to compression compatible with reinforced concrete. The stability of the columns and the deformations of the beams were evaluated, based on the load applied to a bamboo prototype that simulated the structure of a popular house. It can be concluded that bamboo is a material that can be used in civil construction, given the high values of resistance obtained and the low deformations presented in relation to the applied load.

Keywords: Bamboo; Construction; Structural elements; Resistance.

1 INTRODUÇÃO

A tempos o homem vem buscando o avanço da tecnologia de maneira sustentável, a fim de proporcionar conforto e segurança. Passados os anos, ocorreu o desenvolvimento de estruturas capazes de suportar as intempéries, fornecendo abrigo, com a possibilidade de serem construídas em locais que lhe fosse propício, locais esses geralmente próximos a corpos d'água. A partir daí começou a busca por materiais cada vez melhores e eficientes, que associados a técnicas construtivas fossem capazes de resistir com maior eficiência aos fenômenos da natureza.

Certo do constante crescimento de um pensamento sustentável e uma aparente economia, o uso de materiais alternativos na construção civil tem se tornado cada vez maior. Um grande número de construções vem sendo desenvolvidas com técnicas que fazem uso de elementos naturais com funções estruturais e arquitetônicas. Materiais esses em alguns casos já utilizados informalmente, sem nenhum tipo de conhecimento científico das características do material e da técnica correta para o emprego do mesmo.

Com isso o bambu surge como mais uma alternativa para o desenvolvimento de novos sistemas construtivos, sendo uma opção em construções de pequeno porte, não muito verticalizadas, como moradias populares, para substituição de elementos estruturais como vigas, pilares, treliças, entre outros usos de suporte na construção civil, como andaimes, por exemplo.

A cultura do elemento bambu, sua utilização e o desenvolvimento de pesquisas são encontrados principalmente em países orientais, embora mais recentemente países do

Ocidente tenham dado uma maior atenção ao tema. Nesse sentido o referencial teórico nacional é escasso, se restringindo muitas vezes em trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses e pouquíssimos livros. Assim, espera-se que o presente trabalho contribua positivamente com futuras pesquisas e ajude a difundir o assunto no meio científico nacional.

Segundo Ripper (1994) *apud* Marçal (2008), o bambu é um material sem muito valor econômico, social ou cultural no Brasil, mas em outros países tem sido pesquisado devido ao seu potencial uso em diversos segmentos. Material como o bambu não é poluente, não requer grande consumo de energia e oxigênio em seu processamento, tanto no plantio, como na colheita e posteriormente tratamento. Sua fonte é renovável, de alta produtividade e baixo custo, uma vez se feito o manejo de forma correta a touceira ou o campo (no caso de bambus alastrantes), se renova sem a necessidade de replantio.

Mesmo não sendo um material muito utilizado na construção civil brasileira como elemento construtivo, em outros países o bambu desempenha um papel tão significativo que seu uso é normatizado.

Países como Colômbia, Peru e o Equador já possuem normas que regulamentam o bambu nas construções, a Colômbia com o Regulamento Colombiano de Construção Sismo Resistente NSR-10, o Peru utilizando o Regulamento Nacional de Edificações: Norma NTE E.100 de 2012 e o Equador fazendo uso da Norma Equatoriana da Construção NEC - Estructuras de Guadúa (Gak) de 2017. O Guadúa é um tipo de bambu para os equatorianos muito utilizado na construção, familiarizando-se com um tipo de bambu que no Brasil é nomeado de Bambu Gigante. Estes três constituem os países sul-americanos pioneiros na utilização normatizada do bambu.

Segundo Marçal (2018), o principal motivo para que estes países sejam pioneiros na normatização do bambu na América do Sul é o fato de que o bambu nesses lugares está presente de forma concreta nas construções e habitações populares. E seu uso está sendo expandido para construções de maior porte e para classes com maior poder aquisitivo, provando o potencial do bambu como material de construção.

O objetivo deste trabalho é apresentar a viabilidade do uso do bambu, como elemento estrutural para construção civil, abordando-se suas vantagens e desvantagens. Busca-se ainda apresentar resultados obtidos por meio de ensaios mecânicos em corpos de prova do material, analisando sua resistência à compressão. Será avaliada a estabilidade dos pilares e a deformações das vigas, a partir de carregamento aplicado em um protótipo em bambu que simula uma estrutura de moradia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção do trabalho serão apresentados conceitos e características sobre o bambu e sua aplicação na construção civil.

Características do Bambu

Bambu é o nome atribuído as plantas da subfamília *Bambusoideae*, da família das gramíneas (*Poaceae* ou *Gramineae*), com uma produção vasta. Calcula-se que existam cerca de 13000 espécies de bambu no mundo, estando divididas em 90 gêneros, espalhados pelos mais diversos locais do mundo. O bambu é uma planta que se desenvolve bem em áreas de clima tropicais e temperados e em regiões de elevações topográficas, o que não ocorre na Europa, devido as condições climáticas (MARÇAL, 2018). A Figura 1 ilustra o desenvolvimento do bambu no Brasil.

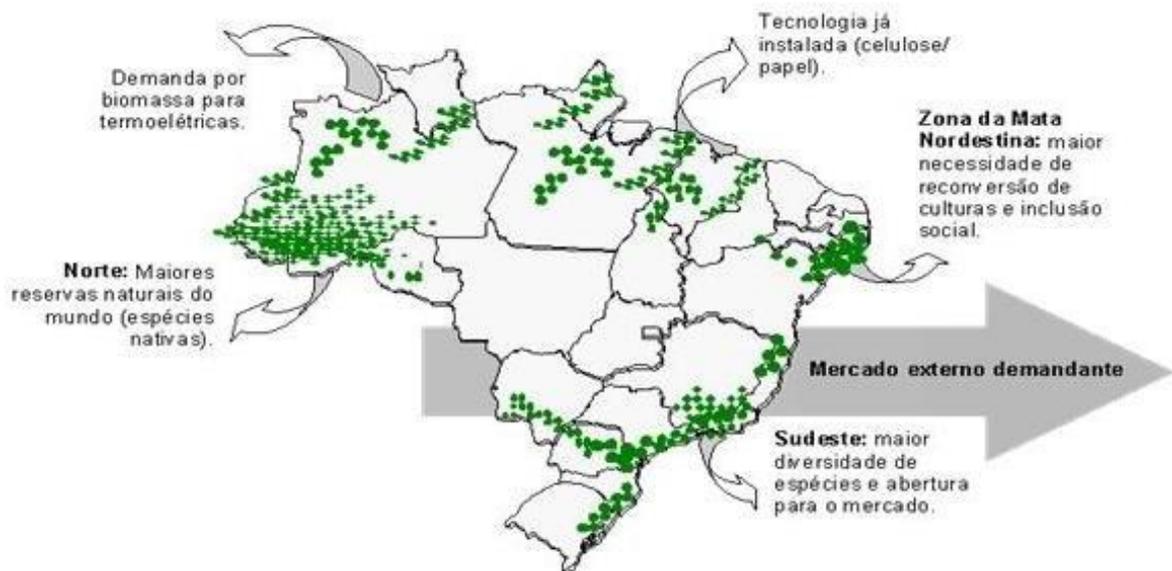


Figura 1: Croqui da distribuição geográfica do Bambu no Brasil
Fonte: PEREIRA (2013)

O uso do bambu no território brasileiro atribuiu-se inicialmente às funções de delimitação de terreno (antigamente touceiras de bambu delimitavam o perímetro de fazendas), cercado de animais, pequenas construções rurais e cabanas. Com as inovações tecnológicas novos usos estão sendo dados ao bambu em território nacional, a laminação do material fez a indústria da movelaria e artesanato aumentar seu interesse e desenvolver novos produtos.

O que diferencia o bambu dos outros materiais vegetais usados em estruturas é a sua alta produtividade. Em até cinco anos após ter brotado do solo, o bambu possui resistência mecânica estrutural elevada, não havendo, portanto, nesse aspecto, nenhum concorrente no reino vegetal. Somam-se as características favoráveis uma forma tubular acabada, estruturalmente estável, uma baixa massa específica, uma geometria circular oca, otimizada em termos da razão resistência por massa de material. O que resulta em baixo

custo de produção, facilidade de transporte e trabalhabilidade, as quais se revertem em diminuição nos custos das construções (GHAVAMI,1992; MOREIRA e GHAVAMI,1995). No Brasil algumas a espécie de bambu mais usualmente empregada em estruturas de obras de engenharia civil é a *Dendrocalamus Giganteus* (bambu gigante), ilustrado na Figura 2.



Figura 2: Touceira de bambu gigante.
Fonte: Autores (2019)

O crescimento do bambu é feito no sentido do solo para o topo e as partes mais próximas do terreno são as mais antigas, possuindo propriedades mais vantajosas quanto à resistência e durabilidade. O sistema de fibras de sustentação do bambu composto por feixes dispostos na mesma direção longitudinal, quase que paralelos, porém o posicionamento das fibras sofre uma mudança junto ao nó. As fibras que vinham paralelas se misturam e fazem do nó um local de maior concentração de fibras em diversos sentidos, tendo o mesmo uma maior resistência a compressão e impedindo que haja separação das fibras longitudinais nos entrenós. Os nós exercem uma amarração transversal e proporcionam maior rigidez ao colmo de bambu (LOPEZ, 1974 *apud* Marçal, 2009). O bambu possui uma flexibilidade muito boa podendo quando “verde” entortar até certo limite e não fissurar ou romper.

Embora apresente variações mecânicas, como flexão estática, cisalhamento paralelo às fibras, tração paralela às fibras e compressão paralela às fibras o bambu é uma planta capaz de crescer até um metro por dia, se mostrando um elemento bem renovável que necessita de pouca energia para seu cultivo, podendo ser colhido para tratamento em até cinco anos após seu plantio, diferenciando-se por exemplo do eucalipto que necessita de 6 a 10 anos para estar pronto para corte (MARÇAL, 2018).

Contudo, existem alguns fatores que dificultam a utilização deste material na construção civil. Pode-se citar a falta de acesso à material de qualidade, falta de incentivo por parte do governo em sua produção e falta de mão de obra especializada para o

transformar em elementos estruturais, sendo este último um dos maiores problemas encontrados no Brasil. Todavia, o maior problema é a falta de normatização técnica nacional, fazendo-se necessário a utilização de normas estrangeiras ou usufruir da norma dedicada a madeira, como se ambos materiais tivessem as mesmas propriedades.

Como todo material, o bambu apresenta características específicas, qualidades e defeitos. Pode-se ainda citar como vantagens gerais do uso do bambu a captura de CO₂, sombreamento, contribuição para a melhoria do microclima local, condicionamento de ar natural através da evapotranspiração, paisagem contemplativa, quebra vento, pode ser plantado em consórcio com outras culturas, proteção do solo contra erosão servindo como contenção de encostas, alta eficiência produtiva, baixa geração de resíduos, biodegradável, alimento (broto de bambu), combustível não fóssil, renovável, baixo custo de produção, fácil manejo, planta adaptada ao clima tropical brasileiro e com mercado em expansão.

Estruturas em Bambu

O bambu é um material muito utilizado na construção civil, no mundo ele aparece em grandes estruturas como a cúpula do Taj Mahal, construído no século XVII, na Índia. O bambu, também, está presente na construção de pontes, possuindo vãos enormes e tensionados com cordas de bambu, como a existente na China (BAMBUBRASILEIRO, 2011). Em casas populares esse material é muito utilizado também.

A Índia por possuir um histórico muito antigo de construções utilizando o bambu desenvolveu também uma norma para tratar da utilização desse material (Bureau of Indian Standards: Is 6874, 2008).

Contudo a norma mais utilizada ainda é a norma internacional ISO (International Organization for Standardization, 2004). A ISO também disponibiliza uma lista com diversas outras normas existentes sobre o bambu no mundo (International Organization For Standardization, 2015) (MARÇAL, 2018 p.3).

As moradias de bambu já são difundidas, principalmente no oriente. A organização chinesa International Network for Bamboo and Rattan (Inbar) estima que mais de 1 bilhão de pessoas habitem construções desse tipo em todo o mundo (CRUZ, 2014).

A Figura 3 apresenta um exemplo do uso do bambu na construção do estacionamento do zoológico Leipzig, na Alemanha. Toda a fachada do estacionamento foi construída com milhares de varas de bambu, que foram presas em cintas de aço.



Figura 3 - Estacionamento do Zoológico Leipzig, na Alemanha, à direita detalhe da parede.

Fonte: Abrapark (2016).

Disponível em: <http://abrapark.com.br/site/bambus-dominam-the-leipzig-zoo/>

A utilização de andaimes de bambu nos países do sudeste asiático, é muito utilizada como uma alternativa dos andaimes tradicionais encontrados no Brasil. Esses tipos de andaimes são montados com a técnica de fizar uma vara de bambu na outra, utilizando-se uma tira de nylon preta, que é enrolada várias vezes. A confecção de 100 m² de andaime por dia, equivale a, aproximadamente, 70 a 80 varas de bambu. Os preços dos andaimes de bambu também são muito mais baratos do que os convencionais com estruturas de metal ou aço, reduzindo cerca de 30% o preço (ANDAIMES SOROCABA).



Figura 4 - Estacionamento do Zoológico Leipzig, na Alemanha, à direita detalhe da parede.

Fonte: Andaimessorocaba.

Disponível em: <http://andaimessorocaba.com/como-funcionam-os-andaimes-de-bambu/>

A Figura 5 apresenta uma construção, do tipo casa popular, desenvolvida do Instituto Pindorama no Município de Nova Friburgo-RJ, Brasil, onde a estrutura de sustentação e estrutura da cobertura foram elaboradas em bambu e o fechamento das paredes em tijolos

de solo-cimento. Nesta construção pode ser observado e analisado o comportamento do bambu e testados seus parâmetros de resistência a solicitações.



Figura 5: Construção desenvolvida com estrutura de Bambu Gigante.

(a) visão interna (b) visão externa com destaque para a peça central da cobertura
Fonte: Arquivos do autor (2019).

Técnicas Construtivas com Bambu

Segundo Marçal (2008), a variação na espessura da parede do bambu e a distância entre os nós, constituem um potencial diferencial nos valores finais para a resistência entre as varas de bambu. É usual para estruturas em bambu, a aplicação de um coeficiente de segurança, aproximadamente igual a 4, ou seja, a carga para qual a estrutura é projetada equivale a quatro vezes a carga real de solicitação de projeto. Esse valor pode ser considerado muito alto já que o fator de segurança para obras convencionais não ultrapassa 1,5.

O aumento do coeficiente de segurança demonstra uma incerteza do desenvolvimento da estrutura, pois aumentar o coeficiente de segurança de projeto pode trazer consequências indesejáveis como aumento de custo, de peso com adição de esforços em outras áreas que podem inviabilizar o projeto.

Marçal (2008), apresenta algumas informações sobre as varas de bambu, como apresenta-se em:

A maioria das conexões entre varas de bambu não atingem rigidez muito alta o que faz com que a conexão possa ser considerada rotulada. Como a estrutura não possui rigidez suficiente é necessário o uso de elementos como tesouras e triangulamento de varas para travamento da mesma. Estes elementos aumentam significativamente os valores de resistência final da estrutura, logo o fato de se ter um fator de segurança tão alto não interfere muito no preço final já que os elementos que garantem estes valores são indispensáveis para um adequado projeto estrutural (MARÇAL, 2008, p. 24).

Com a ausência de norma brasileira que regulamente a utilização do bambu, o uso das normas estrangeiras previamente citadas, se faz necessária. Em tais normas são encontradas as melhores formas de cultivo, manuseio, projeto e união do bambu e de estruturas construídas com o material.

A união das peças é fundamental para que seja obtida a estabilidade global da estrutura, com todos os esforços solicitantes sendo absorvidos, e com todas as forças sendo conduzidas até as fundações de forma correta sem levar a grandes deformações, ou até mesmo a ruína da estrutura.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica, que culminou com uma a pesquisa exploratória quantitativa, baseada em experimentos com corpos de prova de bambu coletados na natureza e, também, com a análise de parâmetros de resistência obtidos a partir da confecção e testes de uma estrutura com o material objeto do estudo.

Primeiramente foi preciso decidir qual a espécie seria a mais adequada para o a construção de um protótipo que pudesse representar a estrutura de uma casa popular. Após estudo a partir de materiais bibliográficos, iniciou-se uma pesquisa em campo na Região noroeste do estado do Rio de Janeiro, para a identificação das espécies disponíveis, para coleta do material bambu.

Em campo, foram encontradas algumas espécies em abundância e que poderiam servir como material da pesquisa. Na região, destacaram-se apenas duas, a *Dendrocalamus giganteus* popularmente conhecido como bambu gigante, e a *Bambusa tuldoides* conhecida entre os populares por bambu taquara, como apresenta a Figura 6.

Decididas às espécies que seriam utilizadas, deu-se início a novos estudos, buscando informações de como estimar a idade de um bambu, visto que resultados de outras pesquisas destacam a informação de que os melhores resultados perante aos testes se deu em plantas de 3 a 6 anos (MOISES, 2007). Para a identificação das varas que se inquadram na faixa etária, existem alguns indicativos que auxiliam quando essa identificação é feita a olho nu, que são:



(a) Colmos

(b) Touceira

Figura 6: Dendrocalamus Giganteus – Bambu Gigante

Fonte: Autores (2019)

- Proteção caulinar ou bainha caulinar é uma espécie de “folha” protetora que fica em volta do colmo durante os primeiros meses de vida, servindo como um escudo protetor (Figura 7). A mesma se destaca logo que o bambu apresenta condições físicas de suportar os esforços por si proprio.
- Após a queda da proteção caulinar o bambu ainda está bem “verde” e necessita de proteção contra possíveis ataques de predadores, por esta razão possui uma textura meio aspera, bambus que apresentam fungos demonstram uma idade já avançada, como mostra a figura (8).



Figuras 7 e 8: Proteção Caulinar ou bainha caulinar (Figura 7), Fungos e manchas que indicam que o bambu possui mais idade (Figura 8).

Fonte: Autores (2019)

- Segundo Hidalgo (2003), bambus mais novos podem ser caracterizados pela pouca presença de galhos, já que os mesmos se desenvolvem com o passar do tempo, ou seja, uma boa maneira de estipular a idade de um bambu seria pela quantidade de galho secundários. Vale ressaltar que mesmo um bambu de mais idade pode apresentar pouca galhada, já que os mesmos podem ter sido arrancados por ação dos ventos.

Após a identificação e escolha dos bambus mais adequados à necessidade do projeto, foi realizada a retirada do material com auxílio de um serrote e facão. Foi tomado o cuidado para que durante esse processo fosse realizado o corte mais baixo quanto possível e sendo este localizado logo a cima de um nó, fazendo ainda um pequeno entalhe lateral. Esta medida é importante para evitar o acúmulo de água, que acaba apodrecendo e prejudicando o desenvolvimento da touceira, além de poder se tornar um criadouro para mosquitos transmissores de doenças.

Retiradas as peças de bambu, torna-se necessário a realização do tratamento dessas peças. Por tratar-se de um material orgânico, o bambu é vulnerável ao ataque de insetos e de fungos, o que prejudica a resistência, a qualidade e a vida útil do material. Para evitar possíveis ataques o material deve passar por algum tipo de tratamento, podendo ser químico ou não.

Para o bambu gigante foi adotado o método químico utilizando ortoborato e sulfato de cobre. Onde o sulfato de cobre atua como um fungicida e o ortoborato atua contra os insetos, evitando as brocas por exemplo. Este método tem sido muito utilizado pelos pesquisadores e pessoas que tem trabalhado com o bambu (CORREA, 2014; PEREIRA e BERALDO, 2008; NBMA, 2006).

Existe também o método a fogo e fumaça, que além de tratar o material, traz para ele uma estética diferenciada. O inconveniente desse tipo de tratamento é a maior tendência de ocorrer rachaduras nos colmos (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Após realização do processo de tratamento das varas de bambu foram confeccionados corpos de prova conforme a norma para ensaios em concreto (NBR 5738, 2015), já que o bambu ainda não possui uma normatização brasileira para ensaios. Logo após realizou-se o ensaio para determinação da resistência a compressão desse material, registrando os valores obtidos e apresentando-os na sequência deste trabalho em resultados.

Foram confeccionados 10 (dez) corpos de prova (CP) de bambu conhecido como gigante. Adotou-se que a base seria o diâmetro do bambu e sua altura duas vezes o diâmetro. Os CP estavam tratados e sem nenhum preenchimento. Realizados os ensaios de compressão, os valores obtidos foram comparados com resultados presentes na literatura

para como forma de análise.

Logo após conhecer sua resistência a compressão, foi a vez de idealizar a estrutura de bambu, o protótipo a ser desenvolvido. Por meio de modelos da caixa econômica federal pode-se identificar um projeto de casa popular com cerca de 40m². Escolheu-se este modelo para desenvolver a estrutura das paredes externas (a serem testadas como pilares) e cobertura meia água.

A confecção da estrutura deu-se início com a retirada de algumas varas de bambu, do mesmo tipo que as já utilizadas nos ensaios de compressão. Para o corte basal foi usada uma motosserra.

Uma vez que o material foi retirado próximo ao local da montagem, as varas de bambu foram cortadas no tamanho necessário para cada peça estrutural, sendo 4 (quatro) pilares com 4,5 metros, 4 (quatro) pilares com 3,5 metros, 2 (duas) peças com 12 metros e mais 4 peças medindo 8 metros.

Com os componentes da estrutura já cortados, deu-se início ao tratamento já citado ao longo do trabalho. Após finalizado o tratamento, foram feitos, seguindo a norma colombiana apresenta por Marçal (2018), os encaixes em forma de “boca de peixe”, conforme Figura 9.



Figuras 9: Corte estilo “boca de peixe” para encaixe das peças
Fonte: Autores (2020)

Realizado o corte dos encaixes, foram feitos os buracos de fundação da estrutura. Os buracos de fundação foram feitos com 50 centímetros de profundidade em um solo capaz de suportar a carga da estrutura, no fundo foi colocado lastro de brita e socado. Os pilares foram apoiados em lastro de brita socada, para evitar recalque da fundação.

Com as varas de bambu (pilares) colocadas no solo, foram fixadas as vigas, que unirão a parte superior dos pilares da estrutura e deram suporte como caibros para a estrutura do telhado.

Para junção das peças foi usada barra rosqueada de 10 mm, que atua como tirante, tensionando uma peça de bambu conta a outra, estando uma extremidade da barra fixa a um pino que atravessa o pilar transversalmente, e na outra ponta com uma porca que unirá todo o conjunto (Figura 10).



Figura 10: Estrutura principal montada. À direita com aplicação de carregamento.
Fonte: Autores (2020)

É importante destacar que o pino de ancoramento da barra de fixação das peças deve estar localizado abaixo de um “nó”, pois o mesmo impede que o bambu deforme (apresente rachadura).

Após realização dos procedimentos de montagem, pode-se analisar os elementos estruturais em separado, como vigas e pilares. Para avaliação da flambagem de pilares é necessário conhecimento da carga crítica que é dada pela fórmula de Euler ($P_{cr} = \pi^2 E / L^2$), onde:

P_{cr} = carga axial crítica ou máxima atuante sobre a coluna imediatamente antes de ocorrer o fenômeno da flambagem.

E = módulo de elasticidade do material

I = menor momento de inércia da área da seção transversal da coluna

L = comprimento da coluna cujas extremidades são rotuladas.

Foi também calculada a tensão crítica, que relaciona a carga crítica de flambagem com a área da seção transversal do pilar e a deformação (flecha) das vigas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

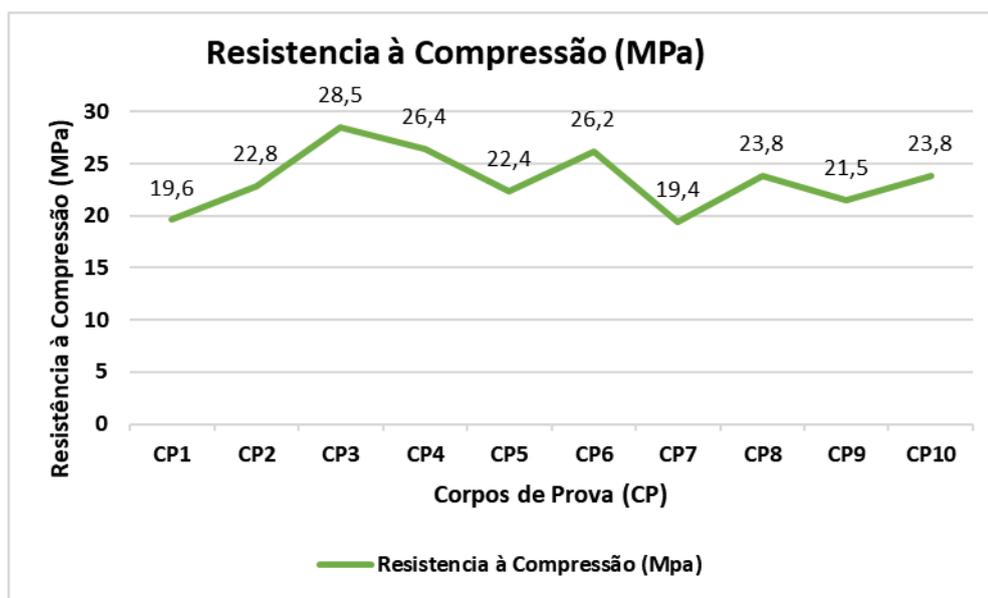
Se tratando de um material orgânico vindo diretamente da natureza as

características mecânicas do bambu são influenciadas por diversos fatores, dos quais destacam-se: condições do solo, condições climáticas, espécie, idade, época da colheita e teor de umidade das amostras (GHAVAMI, 1989 apud MARÇAL, 2008).

A fim de amenizar a influência externa, o ataque de insetos e fungos no material, aumentando sua durabilidade realizou-se os tratamentos no bambu. Notou-se que o tratamento químico utilizando Ortoborato e Sulfato de Cobre auxilia de uma forma muito eficaz na preservação do material, onde o sulfato de cobre atua como um fungicida e o ortoborato atua contra os insetos, evitando, por exemplo, as brocas e outros agentes que possam causar danos ao material.

Realizando os ensaios a compressão no bambu gigante pode-se obter valores para a resistência a compressão paralela as fibras de bambu, essas informações estão apresentadas no Gráfico 1, onde colocadas em comparação com corpos de Prova de concreto pode perceber que os valores se aproximaram.

Gráfico 1: Resistência à compressão paralela a fibra dos 10 corpos de prova de bambu



Fonte: Autores (2020)

O fck (resistência à compressão) do concreto para pilares deve ser de 20 a 25 MPa, a médias das resistências encontradas para o bambu gigante foi de, aproximadamente, 23,5 MPa, o que colocando em relação ao concreto encontram-se muitos próximos os valores.

A partir dos resultados das resistências à tração e à compressão pela densidade do material, todas as espécies estudadas por Carbonari et al (2017), se mostraram mais

eficientes que o concreto e o aço, conferindo os autores ao bambu a designação de “aço vegetal”.

Segundo Pedrosa *et al* (2017), após ensaios pode-se obter que o valor da resistência à Tração para o Bambu Gigante varia entre 120 a 150 MPa, colocando em comparação com o Aço que possui resistência de 250 MPa o bambu é inferior, mas possui valores consideráveis, logo pode ser utilizado como elemento estrutural.

Silva e Barbalho (2018) concluíram em seu trabalho que o bambu possui resistências para ser empregado em todas as etapas da construção civil, bem como potencial para substituir o concreto em algumas aplicações, o que fará a obra mais sustentável e natural.

Neste trabalho para encontrar a carga crítica de flambagem deste material utilizou-se a Fórmula de Euler seguidas dos procedimentos de cálculo dados em Oliveira (2017). Segundo Pedrosa *et al* (2017), o módulo de elasticidade (E) do bambu encontra-se entre 20 GPa e 25 GPa (23,4 GPa), o que apresenta ser superior aos da madeira, próximos ao do concreto, e muito menores que o aço.

O valor obtido para tensão crítica do Bambu Gigante foi de 74,46 MPa, posto em relação a tensão admissível do Aço que é de 250 MPa, a tensão crítica é considerável.

Mediante ao teste de carga realizado após a estrutura montada, foram obtidos alguns valores, sendo para uma carga pontual de 200 quilos, aplicada no centro de uma viga com vão de 5,5 metros uma flecha de 10 milímetros.

Ao analisar a estrutura, foi identificada uma viga, também com um vão de 5,5 metros, que apresentava pequenas trincas ao longo da peça, possivelmente devido ao excesso de calor durante secagem. Essa peça foi considerada a mais desfavorável para resistir aos esforços. Ao realizar o teste com uma carga pontual localizada no meio da viga, a estrutura foi capaz de aguentar mais de 500 quilogramas sem sinais de um possível rompimento. Por falta de recursos em relação a um incremento de carga, não foi possível realizar o rompimento da peça, porém, estima-se que a parte analisada seja capaz de resistir a cargas superiores a 1 tonelada de carga, já que após a retirada da carga pontual de 500kg não restou deformação aparente (flecha).

Analisando os pilares quanto a aplicação de cargas, não houve deformação lateral. Foi confirmado que não houve recalque da fundação, o que poderia influenciar nos resultados relacionados a flambagem. A estrutura foi confeccionada utilizando a parte basal da planta, mantendo-se robusta e resistente, suportando toda a carga aplicada, sem deformações

significativas que pudessem comprometer a estabilidade da mesma.

Estudos mostram que ao passar dos anos, quando o bambu chega ao seu estado maduro possui resistências comparáveis ou superiores ao concreto (SOUZA, 2010).

5 CONCLUSÃO

O bambu como material na construção civil no cenário brasileiro é pouco utilizado, mesmo que nos últimos anos haja um crescimento da sua aceitação e uso e o aumento de pesquisas na área.

Como todo material, o bambu apresenta características específicas, qualidades e defeitos. Pode-se citar como vantagens do uso do bambu combustível não fóssil, renovável, baixo custo de produção, fácil manejo, planta adaptada ao nosso do Brasil e com mercado com potencial de expansão. Como desvantagens destacam-se durabilidade natural baixa, necessidade de tratamento, apresenta grande risco quanto ao fogo, os colmos não são totalmente retos, falta na normatização no Brasil e ausência de profissionais capacitados para trabalhar com esse material.

Por meio da análise de estudos publicados e dos resultados obtidos neste trabalho, a partir dos ensaios nos corpos de prova e da análise da estrutura desenvolvida, afirma-se que o bambu é um material favorável para a construção civil de moradias, dado aos altos valores de resistência mecânica obtidos (23,5 MPa), das baixas deformações que apareceram nas vigas e da manutenção da estabilidade de pilares, apresentadas frente ao carregamento aplicado.

Ao término deste trabalho, pode-se dizer que o bambu é um excelente material alternativo, sustentável, com baixo custo de produção, baixo peso próprio e alta resistência mecânica, sendo que essas características o torna um material potencial quando a ser nas construções de baixa renda.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738 Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. 2015.

CARBONARI, G.; JUNIOR, N. M. S; PEDROSA, N. H.; et al. **Bambu – O Aço Vegetal**. Mix Sustentável. Edição 05, Vol. 3, n 1, 2017.

CORREA, Marcio A. P. **Utilização de Bambu na Construção**. 107f. Tese de

Mestrado – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2014.

CRUZ, M. L. S. **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros de bambu da espécie Phyllostachys Aurea: comportamento à flambagem**. Dissertação de Mestrado. PUC-RIO, 2003.

GHAVAMI, K. **Madeira ecológica para habitações de baixo custo**. SEMINÁRIO NACIONAL DE BAMBU, ANAIS, UnB, Brasília, DF, p. 111-123, 2006.

JUNIOR, R. C. **Arquitetura com Bambu**. Disponível em: < http://bambusc.org.br/wp-content/uploads/2009/05/arquitetura_com_bambu_rubens-cardoso-filho.pdf>. Acesso em 17 de nov de 2019.

MARÇAL, V. H. S. **Uso do Bambu na Construção Civil**. UnB, Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil. Distrito Federal. 2008.

MARÇAL, V. H. S. **Análise comparativa de Normas Técnicas Internacionais para o emprego do bambu – colmo em estruturas prediais**. [Distrito Federal] 2018. xviii, 178p.

MOIZÉS, F. A. **Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo. 2007**. 116 f. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial – Área de Concentração: Planejamento de Produto) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

NATIONAL MISSION ON BAMBOO APPLICATIONS – NMBA. **Preservation of bamboo**. New Delhi, Índia. 60f. 2006.

OLIVEIRA, M. B. **Resistência dos Materiais 2**. Itaperuna: Instituto Begni Ltda, 242p. 2017.

PADOVAN, R. B. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais**. Dissertação de mestrado. UNESP. Bauru. 183p. 2010.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de Corpo e Alma**. Ed. Canal 6, Bauru/SP, 2007.

PEREIRA; A. L. **Bambu, uma alternativa ecologicamente correta, socialmente justa e economicamente viável**. 2013. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/334716/>. Acesso em 30 out 2019.

SILVA, J. R.; Barbalho, G. H. N. **Bambu, um material alternativo para trilhar caminhos conscientes e sustentáveis**. Disponível em: <

<http://www1.sp.senac.br/hotsites/blogs/revistainiciacao/wp-content/uploads/2018/12/03.pdf>>.

Acesso em 20 set. 2019.

SOUZA; E.B. **Estudo da viabilidade técnica para o cultivo de bambu gigante (Dendrocalamus giganteus) em Planaltina-DF**. Boletim Técnico. Planaltina-DF. 2010.

Disponível em: <

<http://www.almanaquedocampo.com.br/imagens/files/Estudo%20da%20viabilidade%20técnica%20para%20o%20cultivo%20de%20bambu%20gigante.pdf>>. Acesso em 20 set. 2019.

Sobre os Autores

Franklim Gualberto Barbosa: Aluno graduando do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Redentor. Atua na área de Engenharia Civil. E-mail: franklimgualberto@gmail.com.

Marco Antônio Alves Machado da Silva: Aluno graduando do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Redentor. Atua na área de Engenharia Civil. E-mail: marco.antoniomachado.alves@gmail.com.

Muriel Batista de Oliveira: Diretora de Graduação EaD, Engenheira Civil e de Segurança no Trabalho, Mestre em Engenharia Civil. Doutora em Educação. E-mail: muriel1078@gmail.com.