

# TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL EM ARQUITETURA: DIFERENTES COLUNAS DE BAMBU EM APLICAÇÕES ESTRUTURAIS

*Tecnología Sostenible en la Arquitectura: diferentes columnas de  
Bambú en aplicaciones estructurales*

*Fernando José Da Silva<sup>1</sup>*

## Resumen

---

El presente trabajo presenta resultados del desarrollo de columnas constructivas, en tres configuraciones diferentes, siendo híbrida, compuesta y haz utilizando barras de bambú de la especie *Phyllostachys pubescens*, junto con la definición de estados límites de utilización. Se realizaron pruebas de compresión y flexión y mediante el Diagrama de Southwell se puede conocer la fuerza axial de flambaje global (Carga de Euler). Los procedimientos adoptados durante los ensayos de compresión y en los análisis numéricos tuvieron éxito en cuanto a las diversas etapas, logística y controles de actividades, validando los experimentos y permitiendo generalizaciones para nuevas estructuras. Estas columnas posibilitan el desarrollo de propuestas arquitectónicas contemporáneas sostenibles, favoreciendo la Biodiversidad, interactuando las áreas del Diseño y de la Ingeniería, adecuando construcciones al estándar de calidad exigido por las normas de seguridad y por el sello ambiental. Se observa que estas soluciones son adecuadas a regiones sujetas a sismos, debido a la facilidad de construcción y ligereza del bambú, resultado de su geometría tubular y del bajo peso específico de las barras y de la composición, haciendo accesibles a las poblaciones en general ya las poblaciones rurales en particular, valorando parámetros sociales y personas actuantes en la proposición del espacio construido.

**Palabras clave:** Columnas, Bambú, Diseño Estructural, Ensayo Experimental.

---

1 Fernando José Da Silva. Diseñador industrial. Magister en Diseño Industrial. Doctor en Ingeniería de Estructuras. Profesor Adjunto, Universidade Federal de Minas Gerais. Correo: fernando35000@yahoo.com.br

## Abstract

The present work presents results of the development of constructive columns, in three different configurations, being hybrid, composite and beam using bamboo bars of the species *Phyllostachys pubescens*, along with the definition of limit states of use. Compression and bending tests were carried out and the global buckling force (Euler load) was obtained through the Southwell Diagram. The procedures adopted during the compression tests and in the numerical analyzes were successful in the various steps, logistic and activity controls, validating the experiments and allowing generalizations for new structures. These columns enable the development of sustainable contemporary architectural proposals, favoring Biodiversity, interacting the areas of Design and Engineering, adapting constructions to the quality standard required by safety standards and the environmental seal. It is observed that these solutions are suitable for earthquake-prone regions, due to the ease of construction and lightness of the bamboo, as a result of their tubular geometry and the low specific weight of the bars and the composition, making them accessible to populations in general and to rural populations in particular, valuing social parameters and people acting in the proposition of the constructed space.

**Keywords:** *Columns; Bamboo; Structural Design; Experimental Testing.*

## Resumo

O presente trabalho apresenta resultados do desenvolvimento de colunas construtivas, em três configurações diferentes, sendo híbrida, composta e feixe utilizando barras de bambu da espécie *Phyllostachys pubescens*, juntamente com a definição de estados limites de utilização. Foram realizados testes de compressão e flexão e através do Diagrama de Southwell pode-se conhecer a força axial de flambagem global (Carga de Euler). Os procedimentos adotados durante os ensaios de compressão e nas análises numéricas tiveram êxito quanto às diversas etapas, logística e controles de atividades, validando os experimentos e permitindo generalizações para novas estruturas. Estas colunas possibilitam o desenvolvimento de propostas arquitetônicas contemporâneas sustentáveis, favorecendo a Biodiversidade, interagindo as áreas do Design e da Engenharia, adequando construções ao padrão de qualidade exigido pelas normas de segurança e pelo selo ambiental. Observa-se

que estas soluções são adequadas a regiões sujeitas a sismos, devido à facilidade de construção e leveza do bambu, resultado de sua geometria tubular e do baixo peso específico das barras e da composição, tornando acessíveis às populações em geral e às populações rurais em particular, valorizando parâmetros sociais e pessoas atuantes na proposição do espaço construído.

**Palavras-chave:** *Colunas; Bambu; Design Estrutural; Ensaio Experimental.*

## INTRODUÇÃO

A presença do bambu nas atividades humanas pode ser observada há milênios. Desta cultura, muito se tem pesquisado e aproveitado deste material natural. O clima no Brasil favorece o cultivo desta gramínea, por se tratar de uma cultura de características tropicais, e a espécie *Phyllostachys pubescens* (também conhecido como Bambu Mossô) se apresenta como uma das mais resistentes e com eixo reto, encontrada em plantações nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, e podem atingir até 15 metros de comprimento com 10 centímetros de diâmetro médio.

Janssen (1983) abordou possibilidades de uso do bambu enquanto estrutura, especialmente em treliças, coberturas e pontes. Ele mostra inicialmente comparações de energia necessária para produção entre concreto, aço, madeira e o bambu, apresentando ampla vantagem deste último material frente aos demais. Arce-Villalobos (1986, capítulos 2 e 4) em sua tese também aborda temas como a tensão e compressão de barras de bambu e conexões, bem como o design de estruturas de bambu. Ele apresenta algumas possibilidades de design para estruturas de bambu, e complementa que “estruturas de bambu oferecem ótimos desempenhos estruturais sob forças axiais” (p.87). O autor mostra alguns sistemas de conexão com elementos centrais de aço, tubos e placas de aço, e elementos de feixes compostos de três e quatro barras de bambu, sem, no entanto, apresentar resultados de testes de compressão deste feixe.

Artigos como Tan *et al* (2011), e Sumardi, Kojima e Suzuki (2008) mostram análises estruturais em micro escala, como análise das fibras de

Bambu Mossô e direções de rupturas na espessura e células do bambu e também em placas de bambu laminado colado, não se observando análises de estruturas em compressão e seus resultados em flexão.

A aplicação de barras de bambus como suporte de estruturas leves é uma escolha coerente, visto que se beneficia de um material cujas vantagens são conhecidas tanto nas áreas de Biodiversidade, quanto em Arquitetura, Engenharia e Design Estrutural. Colunas construídas com barras de bambu podem ser utilizadas como velas de apoio em veleiros, além de poder ser utilizada como suporte em estruturas de tendas e elementos estruturais de construção civil em arquiteturas leves contemporâneas, como se pode observar em outras estruturas do tipo tensionadas desenvolvidas na arquitetura por Frei Otto, e espaços construídos por Buckminster Fuller (BFI, 2010) e Kenney Snelson (Snelson, 2009).

As colunas aqui apresentadas neste trabalho são fruto da pesquisa elaborada e testada no Laboratório de Sistema Estrutural - LASE e Estruturas Laboratório de Análise Experimental - LAEES, respectivamente, da Universidade Federal de Minas Gerais, localizada em Belo Horizonte, MG (Brasil). Todas as colunas foram construídas com tamanho de seis metros de comprimento, de modo a poder comparar seus resultados. Foram três tipos desenvolvidos, denominadas de coluna híbrida, coluna composta e coluna de feixe de bambu. Ao longo do trabalho, serão apresentadas as características de cada tipo, seus resultados de testes de compressão e flexão, bem como a análise da Carga de Euler apresentando limites de carga de utilização.

## Objetivos

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver diferentes tipos de colunas construtivas feitas com barras de bambu e outros elementos estruturais, analisando-as através de software numérico e testes físicos de compressão e flexão em laboratório, definindo seus limites de carga útil, identificando suas possíveis aplicações arquitetônicas. A partir destes testes, possibilitou também a parametrização de futuras colunas possíveis de serem construídas.

## Metodologia e processos

Serão apresentados neste tópico os métodos e processos de modelamento numérico das colunas utilizando software, os processos de construção física dos três tipos de colunas de bambu e os procedimentos durante os ensaios mecânicos destas colunas em laboratório.

### Modelamento Numérico através do software SAP 2000.

A modelagem das colunas foi realizada através do software via programa SAP 2000 (Computers and Structures, Inc, Berkeley, CA, 1995, v14). E a construção do protótipo foi realizada com base nos resultados da análise numérica estrutural realizada também pelo programa. Para a modelagem das colunas híbridas, utilizou-se a montagem dos cabos foi feita com a barra de bambu na posição horizontal. O comprimento das barras espaçadoras para a primeira coluna híbrida foi de 820 mm, e para a segunda coluna híbrida de 1320 mm.

Foram comparadas duas situações teóricas, sendo a situação da coluna utilizando cabos de aço livres para deslizarem no apoio de parafuso dos espaçadores, e outra situação com os cabos clipados, impedidos desse deslizamento, constituindo assim dois modelos experimentais de colunas híbridas. Para ambos os casos teóricos, foram calculados numericamente os Diagramas de Southwell, com o objetivo de se obter a Carga de Euler do sistema proposto, observado em Chages (1974), obtida pelo inverso da inclinação da reta do diagrama. Para as colunas híbridas, numericamente foram aplicadas cargas de compressão de 10 kN na primeira coluna, e 28 kN e 35 kN respectivamente para a segunda coluna em duas situações: sem a fixação dos cabos de aço, e com os mesmos fixados nas extremidades dos espaçadores.

A partir das modelagens e primeiros resultados teóricos, optou-se pela construção das colunas com as barras de bambu. A forma das colunas pode ser observada na Figura 1.



*Figura 1: Forma da coluna híbrida montada com os cabos de aço.*

*Fonte: o próprio autor.*

Após esta construção e experimentação, observado em Moreira, Silva e Rodrigues (2011), foi projetada e modelada a coluna composta, utilizando fixação dos espaçadores por parafusos, com software para a modelagem, caracterizada por quatro barras paralelas de 5,5 metros de comprimento, conectadas descontinuamente por segmentos de bambu interpostos e fixos por parafusos de aço de 16 mm de diâmetro. Estruturalmente, esses espaçadores podem ser substituídos por barras roliças de madeira de reflorestamento, como o eucalipto ou outras madeiras disponíveis.

A forma desta configuração geométrica para este tipo de coluna composta, utilizando barras laterais de bambu, e barras interpostas internas, fixadas por parafusos, pode ser observada na Figura 2.



Figura 2: Forma da coluna composta, com elementos espaçadores internos.

Fonte: o próprio autor.

Este tipo de coluna composta foi testada numericamente pelo software com cargas iniciais de 15 kN (carga e descarga) e posteriormente até o limite previsto de 45 kN.

Para o terceiro tipo de coluna, chamada coluna de feixe de barras de bambu, foi modelada no software uma coluna que se consistiu de um segmento de bambu central chamado de alma, de 6 m de comprimento circundado por seis segmentos de bambu (conjunto este de barras denominado coroa). Foram comparadas por meio de algumas simulações, duas situações, sendo a primeira, que conduziu ao protótipo, com barras laterais de 3,6 m e a segunda, e após o teste de compressão, com barras laterais de 5,4 m. Os bambus foram unidos por cintas de aço de  $14,3 \text{ mm}^2$  de área da seção, distribuídas ao longo do comprimento, de acordo com um pré-dimensionamento.

A Figura 3 apresenta o esquema da forma da coluna em feixe, com barras laterais em coroa envolta da barra central de bambu. Este tipo de coluna pode apresentar diferentes dimensionamentos das barras laterais, dependendo da composição e da espessura da barra central de bambu, que irá suportar a carga principal de compressão da coluna proposta, enquanto que as barras laterais irão dar suporte de estabilidade da flexão.



*Figura 3: Forma da coluna em feixe com as cintas metálicas ao seu redor.*

*Fonte: o próprio autor.*

As colunas de feixe com laterais de barras de 3,6 metros, foram testadas numericamente com ciclos de cargas de 3 kN até o limite previsto de 18 kN. Para as colunas com laterais de 5,4 metros, testadas com dois ciclos de cargas de 15 kN (carga e descarga) e posteriormente até o limite de 35 kN. Para todas as modelagens numéricas, considerou-se o peso específico do material bambu igual a 7,9 kN/m<sup>3</sup> (Tung, 2010), e o módulo de elasticidade de 11,9 GPa, valores médios obtidos para o lote de onde se retiraram os elementos do protótipo.

Após as análises das modelagens de todas as colunas (híbridas, compostas e de feixe), e dos testes de compressão realizados, obtiveram-se os seguintes resultados apresentados no tópico a seguir.

## Resultados e Discussões.

Apresentam-se neste tópico, os resultados e discussões dos testes com base nas análises numéricas e experimentais de laboratórios, para os três tipos de colunas: híbridas, compostas e de feixe.

### Colunas híbridas: resultados.

Com a coluna construída, passou-se à fase seguinte que foi a montagem no pórtico e instalação dos instrumentos de medição (três transdutores de deslocamentos), células de carga, atuador hidráulico, e Sistema de Aquisição de dados para o ensaio mecânico de compressão.

Realizadas as simulações numéricas para a coluna híbrida com espaçadores de 820 mm, e o ensaio experimental no laboratório, tem-se a sobreposição da curva carga x deslocamento (PDelta) apresentado pela Figura 4. Pelo Diagrama de Southwell, pode-se calcular a Carga de Euler ( $F_E$ ) do sistema proposto. A Figura 5 apresenta o diagrama experimental, resultando nos valores de carga limite do sistema de 12,4 kN (experimental). Ressalta-se que o valor desta carga para o resultado numérico apresentou 13,0 kN, validando o resultado.

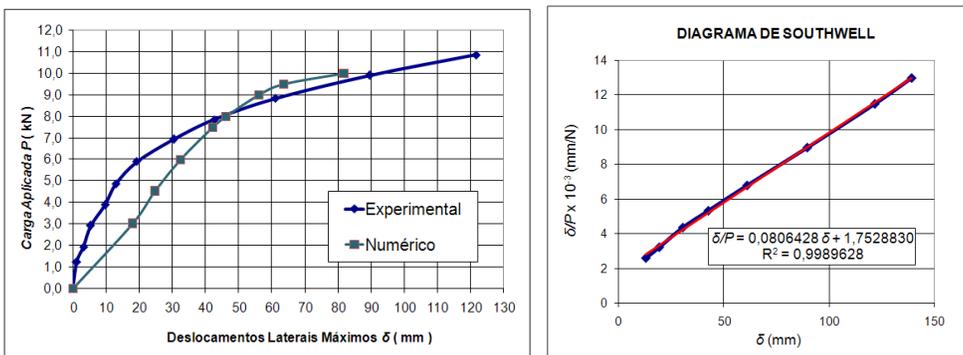


Figura 4 e 5: Sobreposição das curvas PDeltas e Diagrama de Southwell.

Fonte: o próprio autor.

Após estes testes e ensaio, construiu-se a coluna híbrida com espaçadores maiores (de 1320 mm) e melhor localizados em relação à barra central, não permitindo alta esbelteza na extremidade em um dos lados da coluna proposta. Para esta nova coluna, foram realizadas as simulações numéricas e ensaios em laboratório, resultando nos valores e gráfico apresentados na Figura 6. Pelo Diagrama de Southwell, pode-se calcular a Carga de Euler ( $F_E$ ) desta nova coluna proposta, resultando em 31,94 kN calculado numericamente, e 30,1 calculado pelo ensaio experimental. Como os cabos de aço estavam livres para deslizar nas extremidades dos espaçadores, optou-se por fixá-los por um sistema de clips metálicos, de modo a enrijecer o sistema. Após o processo de fixação, novos ensaios e testes numéricos com o software foram realizados, apresentando os resultados: 37,7 kN calculado experimentalmente e 32,1 kN numericamente. Na Figura 7 pode-se observar as duas curvas PDelta da coluna híbrida clipada, com um ganho de resistência de 25 % maior quando são utilizados os clips nos cabos de aço, além de que o deslocamento máximo localizado no centro da coluna foi de apenas 6 mm.

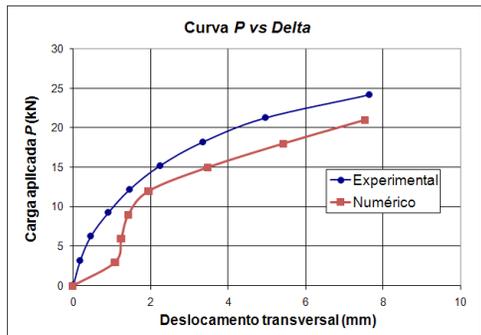
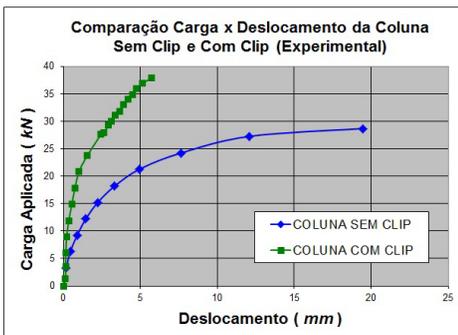


Figura 6 e 7: Curvas PDelta e comparação comportamento com e sem clip.

Fonte: o próprio autor.

Colunas híbridas podem ser utilizadas em projetos arquitetônicos de diversas dimensões conforme tamanho das colunas construídas, substituindo material metálico que normalmente são construídos esses espaços, como se pode observar nestes exemplos com estruturas e coberturas utilizando lonas tensinadas, Figura 8 e 9.



*Figura 8: Exemplo de espaços arquitetônicos que podem utilizar colunas híbridas.  
Fonte: Solário da piscina do SESC na cidade de Bertioga, SP.*



*Figura 9: Espaço com estrutura tensionada, bambu e cabo de aço.  
Fonte: Art World (Maharashtra, India).*

## Colunas compostas: resultados.

Optou-se por identificar se a inércia das seções das barras de bambu (que normalmente são variáveis de acordo com o diâmetro e a espessura local) poderia ser trabalhada com uma inércia constante, para todas as seções da barra. Assim, foram realizadas modelagens tanto com inércia variável quanto constante, para comparação e validação dos resultados. A partir das simulações numéricas realizadas para as colunas compostas e os ensaios experimentais no laboratório, tem-se a sobreposição da curva carga x deslocamento (PDelta) apresentado pela Figura 10:

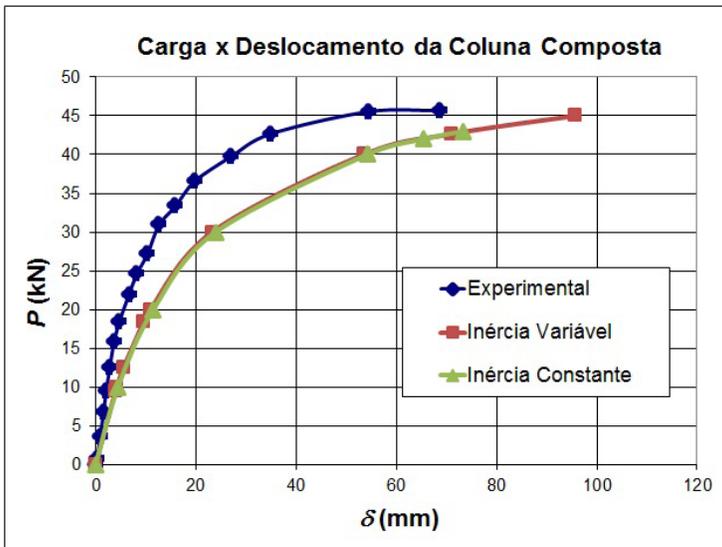


Figura 10: Sobreposição das curvas PDeltas para a coluna composta.

Fonte: o próprio autor.

Observa-se nesta figura que a carga limite aplicada no ensaio experimental chegou a 45,68 kN, com deslocamento lateral de 65 mm. E a partir do Diagrama de Southwell, identificou-se a carga limite para este tipo de coluna, com o resultado de  $F_E = 54,40$  kN. Para a simulação numérica, obteve-se 54,55 kN, com uma diferença de apenas 0,2 %, validando o sistema trabalhado. Após uma criteriosa avaliação das tensões de compressão máximas ocorridas em diversos pontos, e também no ponto de maior sollicitação,

obteve-se um resultado de tensão de 30 MPa, o que representa valor muito aquém do limite de resistência à compressão paralela, que é igual a  $80 \pm 9$  MPa (Moreira e Ghavami, 2011).

O limite de utilização da coluna ensaiada foi observado pelo esmagamento dos furos, detectado visualmente durante os ensaios, para a carga de compressão igual a 83 % da Carga de Euler ( $P = 0,83 F_E$ ).

O ajuste da modelagem numérica ao experimento possibilitou estudos paramétricos, relativamente independentes de novos experimentos mecânicos, de onde se podem extrair curvas de dimensionamento para colunas compostas em geral.

Como exemplo de aplicação deste tipo de coluna, diversas colunas compostas aparafusadas foram utilizadas para a construção de uma capela, cenário da novela televisiva Araguaia, da Rede Globo de Televisão, no ano de 2010, onde a edificação contou com análise e dimensionamento estrutural da UFMG, tendo sido a principal motivação para a investigação realizada durante os experimentos com este tipo de coluna. Na Figura 11 e 12 observa-se o aspecto da capela bem como o uso de colunas compostas aparafusadas no interior da mesma.



*Figura 11 e 12: Aspecto da capela do cenário, e uso de colunas compostas.*

*Fonte: Arte Desenho Construtora, Rio de Janeiro, RJ.*

Outro exemplo de aplicação de colunas compostas pode ser observado nesta cobertura de uma fábrica de chocolate ao redor de Ubud, em Bali, Figura 13:



*Figura 13: Aplicação de colunas compostas em coberturas.*

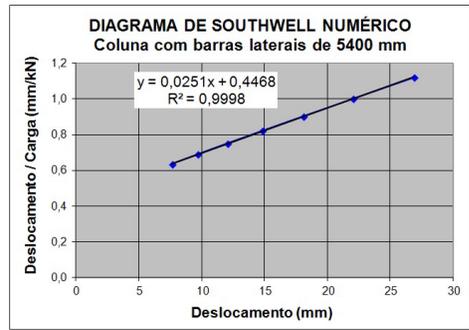
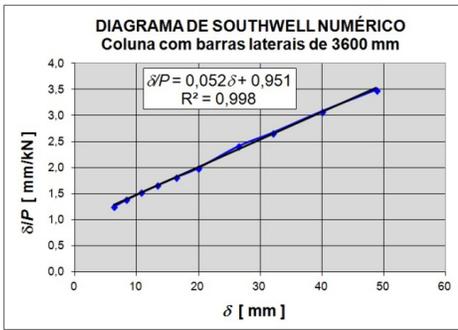
*Fonte: Westlake (2011).*

### **Colunas de feixe: resultados.**

Mesmo que este tipo de coluna consuma um maior número de bambus em sua construção, comparando com as outras colunas testadas por Moreira, Silva e Rodrigues (2011), a facilidade construtiva e a possibilidade de uso de bambus de menor diâmetro, são as vantagens que se agregam a este produto, como se observa em Silva, Rodrigues e Moreira (2014).

Foram construídas e testadas colunas com barras laterais em duas dimensões, sendo de 3600 mm e 5400 mm. A partir dos resultados em testes físicos, foram traçados os Diagramas de Southwell obtendo a Carga de Euler do sistema proposto, e os deslocamentos laterais obtidos, a partir de carga aplicada de 18 kN e 28 kN respectivamente.

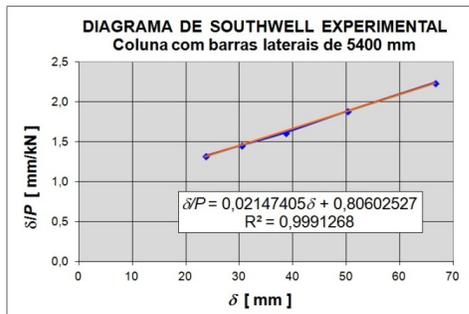
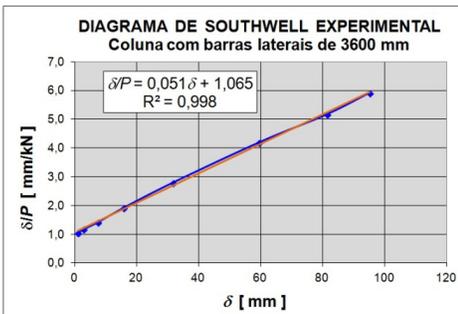
As Figuras 14 e 15 apresentam os Diagramas de Southwell numéricos para ambos os casos. A diferença no comportamento das duas colunas foram de carga limite de utilização de  $F_E = 19,23$  kN e  $F_E = 39,84$  kN respectivamente, aplicando-se o cálculo do inverso da inclinação da reta. Após estes valores identificados, foram construídas e testadas as colunas de feixe, tanto com barras menores (3600 mm) quanto à coluna com barras laterais maiores, (5400 mm).



Figuras 14 e 15: Diagramas de Southwell (numéricas): barras de 3600 e 5400 mm.

Fonte: o próprio autor.

Com os ensaios de compressão realizados, obtiveram-se os resultados com Diagramas de Southwell, nas Figuras 16 e 17.

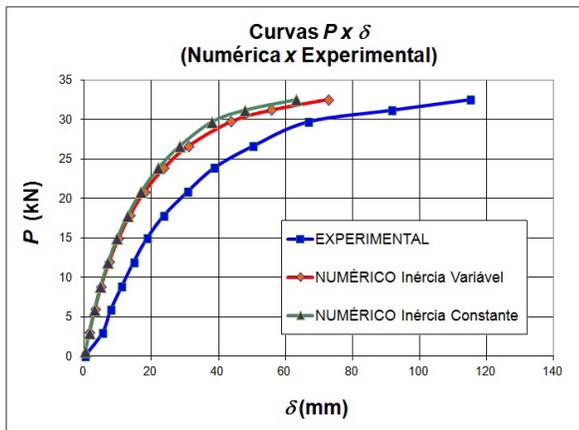


Figuras 16 e 17: Diagramas de Southwell (experimentais): barras de 3600 e 5400 mm.

Fonte: o próprio autor.

A coluna de feixe com barras laterais de 3600 mm apresentou uma carga limite de utilização de  $F_E = 19,6$  kN, muito próximo ao resultado numérico identificado (apenas 1,9 % de diferença maior) e a segunda coluna ensaiada apresentou  $F_E = 46,56$  kN, 16,84 % maior que o numérico. Essa maior rigidez pode ser atribuída ao menor diâmetro do parafuso que representa a cinta metálica da coluna de feixe, utilizado no software, que precisou ser recalculado para aferir o sistema.

Corrigidos os fatores de construção, quanto ao diâmetro dos parafusos equivalentes à cinta metálica, os valores apresentados pelas simulações em relação aos ensaios experimentais também se mostraram equivalentes, validando o experimento e os dados obtidos permitindo estudos paramétricos futuros, tanto as simulações e modelagens realizadas com inércia variável para cada seção das barras de bambu quanto modelagens com inércia constante. Resultado de carga de Euler experimental:  $F_E = 46,56$  kN, enquanto que na modelagem numérica apresentou  $F_E = 45,05$  kN. A Figura 18 mostra a comparação numérica e experimental do comportamento desta coluna.



Figuras 18: Comparação P x Delta numérico e experimental.

Fonte: o próprio autor.

Quanto às tensões máximas no centro da barra denominada alma, desta coluna, foi calculado valor máximo de 34,2 MPa. Essas tensões, ainda que elevadas, situam-se bem abaixo das tensões limites de resistência do lote dos bambus que compõem a coluna (de  $80 \pm 9$  MPa). Como exemplo de aplicação desse tipo de composição de barras em feixe, as Figuras 19 e 20 apresentam o projeto arquitetônico e construção do Instituto Kairós, no Distrito de Macacos, Nova Lima, estado de Minas Gerais, que contou com a colaboração da UFMG para o design dos componentes, distribuição dos pórticos, análise e dimensionamento estrutural. Vários conceitos foram experimentados nesta estrutura experimental: elementos em feixe, design das ligações parafusadas, entre outros (Figuras 19 e 20).



*Figuras 19 e 20: Exemplo de aplicação de colunas em feixe em estrutura.*

*Fonte: Instituto Kairós, Distrito de Macacos, Nova Lima (MG).*

Pode-se observar na Figura 21, outro exemplo de aplicação de colunas em feixe, construção localizada próximo à Hanoi, Vietnã, do arquiteto Vo Trong Nghia, que trabalhou um espaço aberto com vão livre de 12 metros sem nenhuma coluna vertical, utilizando materiais naturais ecológicos contemporâneos. Por ser um espaço aberto, o desenho da estrutura favorece ainda o aspecto sustentável, direcionando o vento cruzado em seu interior, não necessitando de ar condicionado.



*Figura 21: Aplicação de colunas em feixe de bambu em estruturas arquitetônicas.*

*Fonte: ArchDaily.com (2012).*

## Conclusões.

Apresentou-se resultados de análise numérica e testes de compressão em colunas de bambu nos formatos híbrido, composto e de feixe, utilizando-se além de barras de bambu, diversos outros materiais, como cabos de aço, cintas metálicas, parafusos e acessórios de fixação, buscando estabelecer estados-limites de serviço e conhecer os comportamentos dessas colunas em possíveis situações de uso.

Com os ensaios das colunas híbridas, observou-se também a necessidade de fixação dos cabos de aço junto às seções extremas dos espaçadores, o que levou ao desenvolvimento de sistemas de conexão entre eles, denominado *clip* dos cabos de aço, aumentando consideravelmente a carga limite de utilização.

A utilização do Diagrama de Southwell se mostrou muito eficaz, em análise da força axial de flambagem global (conhecida como Carga de Euler), possibilitando também conhecer a imperfeição inicial do sistema, permitindo maior segurança a aplicação de carga nos ensaios das colunas.

Apesar de que para as colunas compostas, a força limite ficou restrita pelo esmagamento dos furos na barra do bambu da extremidade de menor diâmetro e espessura de parede, pôde-se constatar o grande desempenho frente às colunas híbridas, visto a capacidade de carga que se aproximou de 45 kN com mesmo comprimento útil de seis metros e deflexão lateral de apenas 70 mm. Assim, para este caso, sugere-se que os parafusos utilizados possam ser substituídos por pinos lisos com roscas apenas nas extremidades, evitando concentração de tensões nas paredes dos bambus, e possível rachadura da barra.

A grande vantagem das colunas de feixe é que este tipo de coluna não necessita de perfurações das paredes dos bambus para a passagem de parafusos, evitando a concentração de tensões que ocorre nos furos, como se observou na coluna composta.

A opção pelo tipo de coluna sendo ela composta, híbrida ou de feixe dependerá das cargas de utilização e relação custo benefício, além do ponto de vista estético-arquitetônico que não deixa de ser um aspecto subjetivo, mas que faz parte das escolhas e opções arquitetônicas.

As soluções ecologicamente corretas aqui apresentadas se mostram como uma conquista social relativa às alternativas construtivas, pois sendo de fácil fabricação, leves e sistêmicas, favorecem a biodiversidade, a conscientização de seus benefícios socioambientais e condições de adaptabilidade à população em geral.

## Referências

- ArchDaily. *Bamboo Wing / Vo Trong Nghia*. 2012. <https://www.archdaily.com.br/br/01-43807/bamboo-wing-vo-trong-nghia>.
- Art World. *Bamboo Structures*. 2014. <https://www.indiamart.com/proddetail/bamboo-structures-6423420573.html>.
- BFI, Buckminster Fuller Institute. *About Bucky*. 2010. <http://www.bfi.org/about-bucky>.
- Chages, A., (1974) *Principles of Structural Stability Theory*. Department of Civil Engineering, University of Massachusetts; Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc.
- Moreira, L. E., Silva, F. J., Rodrigues, F.C., (2011). *Design and Mechanical Tests of Bamboo Masts*. Anais do 13º International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies (NOCMAT). *Key Engineering Materials*, V.517, p.238-244, Doi: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.517.238>.
- Moreira, L. E., Ghavami, K., (2011). *The influence of initial imperfections on the buckling of bamboo columns*. Guayaquil. Ecuador: Proceedings of the International Workshop on the role of Bamboo in Disaster avoidance.
- Silva, F. J.; Rodrigues, F. C.; Moreira, L. E., (2014). *Buckling of Masts of Bamboos Bundles*. *Key Engineering Materials*. v.634, p.379 - 388, Doi: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.634.379>
- Silva, F. J.; Rezende, M.A.P.; Santos, W.J.; Carrasco, E.; Mantilla, J.N.R.; Piancastelli, E. M.; Magalhães, A.G., (2017). *Sustainable Architecture with Bamboo Columns Technology*. *Applied Mechanics and Materials*. v.864, p.318 - 323. Doi: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.864.31>
- Snelson, Kenneth. *Forces made visible*. Essay by Eleanos Heartney. In Association with Hudson Hills Press de Manchester, VT and New York, NY, 2009.
- Sumardi, Ihak; Kojima, Yoichi; Suzuki, Shigehiko. *Effects of strand lenght and layer structure on some properties of strandboard made from bamboo*. *J Wood Sci* (2008) 54: 128-133.

- Tung, S., (2010). *Study of Mechanical Properties of Bamboo*. Master Dissertation, Tokyo: University of Tokyo.
- Tan, T.; *et al.* *Mechanical properties of functionally graded hierarchical bamboo structures*. Acta Biomaterialia 7 (2011) p.3796-3803.
- Westlake, Martin. *Bamboo chocolate factory*, for New York Times Style Magazine. Dezembro 2011. <http://martinwestlake.blogspot.com/2011/12/bamboo-chocolate-factory-for-new-york.html>