



## **ENSINO PRÁTICO DE ESTURTURAS TRELIÇADAS COM O USO DO BAMBU NAS ESCOLAS DE ARQUITETURA**

**ROSALINO, Frederico (1); NASCIMENTO, Kaline Castro (2); MESQUITA, Nadyne (3); LOPES, Patricia (4); REIS, Sarah do Santos (5); GONÇALVES, Vinícius (6); MIOLA, Luiz Eduardo (7)**

(1) UCB, frederico.rosalino@gmail.com; (2) UCB, kaline-castro@hotmail.com; (3); UCB, nadyne.mesquita@catolica.arq.br; (4) UCB, patriciacarolinearaujo@hotmail.com; (5) UCB, sarahreis.arq.ucb@gmail.com; (6) UCB, vinivius.mayer95@gmail.com; (7)

Luizeduardomcsantos@gmail.com

### **RESUMO**

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de uma aula prática com a utilização de material didático, parte da disciplina de sistemas estruturais em madeira, na Universidade Católica de Brasília, no âmbito da graduação em Arquitetura e Urbanismo. O ensino de estruturas na arquitetura, principalmente de estruturas em madeira, ainda é pouco explorado nas universidades, sendo que, um dos principais gargalos neste curso é a difícil compreensão dos sistemas estruturais em um ambiente predominantemente teórico, muito comum entre os estudantes, deste modo, adotar elementos que os motivem a resolver situações práticas de concepção estrutural devem ser adotados nos cursos de arquitetura. Na prática proposta neste trabalho, os estudantes utilizam colmos de bambu e uniões metálicas para confeccionar treliças planas do tipo domos geodésicos, entre outras estruturas treliçadas. O material bambu é ideal para esse tipo de atividade, pois, apresenta características que favorecem seu uso nesta prática, tais como, leveza, flexibilidade e resistência elevada além de ser o material de construção mais sustentável disponível na natureza. Esta atividade foi adaptada pelo autor a partir da experiência prática adquirida ao longo de 12 anos ministrando cursos de capacitação de construção com bambu onde pode perceber a facilidade de compreensão dos sistemas estruturais quando os participantes das oficinas constroem as estruturas, mesmo não tendo nenhum tipo de formação na área. Com esta atividade, os estudantes conseguem perceber na prática os sistemas de apoio em uma estrutura, a distribuição das cargas, o comportamento das peças quando submetidas a esforços de compressão, tração e flexão. De forma lúdica e divertida, os estudantes são capazes de aplicar na prática os conceitos aprendidos em sala de aula. Em cada prática realizada é possível observar a capacidade dos alunos de entender a estrutura que está sendo construída, com isso, os conceitos teóricos são compreendidos com maior facilidade, possibilitando a aplicação direta nos projetos estruturais.

**Palavras-chave:** Bambu; treliças planas; sistemas estruturais

#### **ABSTRACT**

*This paper presents the development of a workshop using didactic material, part of the discipline of structural systems in wood, in the Catholic University of Brasilia, within the scope of the graduation in Architecture and Urbanism. The teaching of structures in architecture, especially wood structures, is still little explored in universities, and one of the main hole in this course is the difficult understanding of structural systems in a predominantly theoretical environment, very common among students, in this way, to adopt elements that motivate them to solve practical situations of structural design must be adopted in the courses of architecture. In the practice proposed in this paper, students use bamboo poles and ruber joints to make flat trusses. Bamboo material is ideal for this type of activity because it has characteristics that aloys its use in this practice, such as lightness, flexibility and high resistance, besides being the most sustainable building material available in nature. This activity was adapted by the author from the practical experience acquired over the course of 12 years providing construction training courses with bamboo where is possible to perceive the easy understanding of the structural systems when the workshop participants construct the structures, even though they do not have any type of Training in the area. With this activity, students can perceive in practice the support systems in a structure, the distribution of the loads, the behavior of the pieces when subjected to compression, traction and flexion efforts. In a playful and fun way, students are able to apply in practice the concepts learned in the classroom. In each practice, it is possible to observe the students ability to understand the structure being constructed, with this, the theoretical concepts are understood with greater easy, allowing the direct application in the structural projects.*

**Keywords:** bamboo; plan truss; structural system

## 1. INTRODUÇÃO

Conceber a estrutura para uma edificação é função do arquiteto, para tanto, o entendimento dos sistemas estruturais, caminhamento de cargas, ligações, inércia, deformações máximas, métodos de pré dimensionamento, processo construtivo, propriedade dos materiais, custo de execução e manutenção, devem ser intensificados nos cursos de arquitetura.

Não é incomum projetos de arquitetura serem elaborados sem o lançamento do sistema estrutural, principalmente em se tratando de estruturas de concreto armado, onde, em sua estrutura geralmente encontra-se oculta na edificação.

É notório o desinteresse de grande parte dos estudantes de arquitetura nas disciplinas de sistemas estruturais, embora, segundo (REBELLO, 1992), pesquisas comprovam que:

“surpreendentemente, a maioria dos alunos de arquitetura gosta de matemática e das matérias técnicas... o que parece negar um verdadeiro preconceito arraigado de que o aluno de arquitetura é avesso a essas matérias. Esta situação nos leva a crer que o aluno aprende mal as matérias que envolvem matemática ou técnicas, devido a forma como essas disciplinas lhe são apresentadas, não relacionando estas informações com o mundo prático e visível” (REBELLO, 1992).

O desafio é como melhorar este entendimento por parte dos estudantes, como associar a concepção estrutural ao desenvolvimento do projeto arquitetônico, e principalmente, estimular o interesse por estas disciplinas, para tanto, adotar práticas complementares onde o aluno pode aplicar na prática os conhecimentos adquiridos, ou até, despertar para esta necessidade, portanto, ressalta-se que:

“Ver como um fenômeno ocorre, simplifica de maneira substancial o aprendizado” (REBELLO, 2005)

Propostas para a melhoria do ensino de estruturas vem sendo discutidas há alguns anos, podemos citar como um marco desta discussão no Brasil, o primeiro encontro de professores de estrutura para escolas de arquitetura, realizado em 1974 na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, no qual, diversos trabalhos relacionados ao tema foram publicados nos Anais, contudo, observa-se que pouco tem avançado desde então.

SARAMAGO considera a importância nas escolas de arquitetura, do uso de modelos físicos como recursos para o aprendizado intuitivo do funcionamento das Estruturas, e que existem diversas ferramentas para esta finalidade, e ressalta ainda a necessidade de exercícios de experimentação construtiva, considerados como ferramentas mais apropriadas à compreensão do Comportamento Estrutural (SARAMAGO, 2011).

Isto reforça de forma significativa a necessidade de se desenvolver métodos práticos para o entendimento dos sistemas estruturais, no caso do presente estudo, o uso de modelos estruturais em pequena escala utilizando varas de bambu como elemento principal para a simulação de sistemas compostos por ligações flexíveis, se apresenta como uma oportunidade de executar, perceber o funcionamento e corrigir os erros, despertando a real necessidade de entender os sistemas estruturais para o desenvolvimento de projetos

arquitetônicos mais integrados com a engenharia

## 2. MÉTODOS

Foi criado em 2016, na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Católica de Brasília, um grupo de estudo denominado, Grupo de pesquisa em Tecnologia e Sustentabilidade. Este grupo tem como a finalidade o desenvolvimento de pesquisas ligadas a esta área, e por consequência, estimular os estudantes à produção científica, sendo que, uma das pesquisas em desenvolvimento pelo grupo é o uso de modelos para o ensino de estruturas nos cursos de arquitetura.

Ministrando as disciplinas de estruturas de madeira e aço no curso de arquitetura e urbanismo, o autor pode observar a dificuldade de compreensão dos esforços envolvidos em uma estrutura por parte dos alunos de arquitetura, tanto no caminhamento das cargas quanto no comportamento estrutural. Diante disto, foi proposto uma forma prática para este entendimento, uma oficina de estruturas em pequena escala, na qual utiliza-se o bambu para a produção de estruturas em treliças planas e sistemas basicamente compostos por uniões flexíveis.

As ligações flexíveis, mais comuns em estruturas de madeira e aço necessitam necessariamente de triangulações ou contraventamentos que possibilitam que uma estrutura se torne isostática conforme observamos nas figuras de 1 a 5

Figura 1 : Sistema em treliça ao aplicar a força a mesma não se desloca.

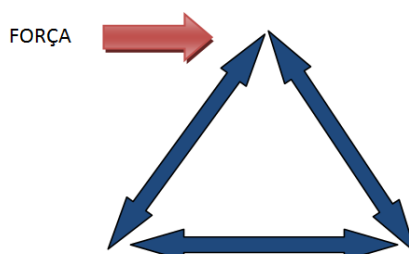


Figura 02 : Sistema composto de pilar e viga sem travamento, neste caso a força aplicada fará com que a estrutura se desloque horizontalmente.

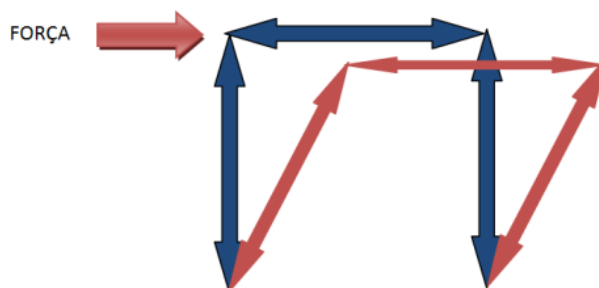


Figura 03: Sistema composto de pilar e viga com travamento em mão francesa, auxiliando no travamento da estrutura e na redução do vão da viga.

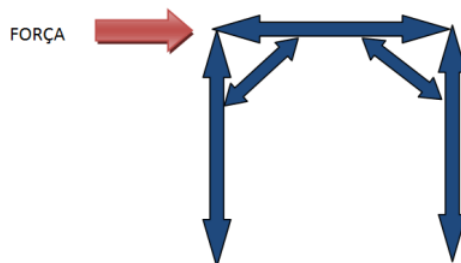


Figura 04: Uma barra na diagonal rígida faz a função do travamento da estrutura

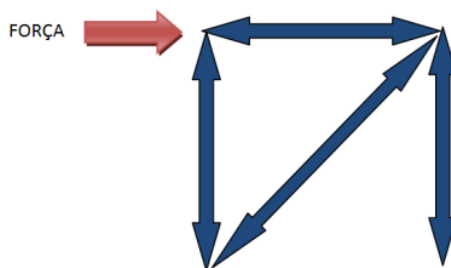
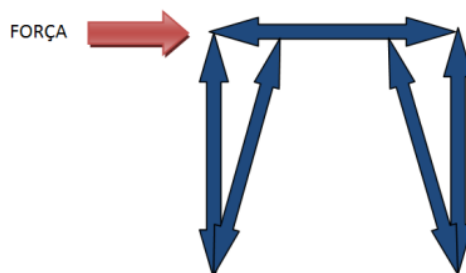


Figura 05 : Duas barras diagonais fazem a função do travamento da estrutura



## 2.1 O material

A escolha do bambu para ser utilizado nas práticas se dá pelo fato de ser um material resistente e flexível ao mesmo tempo, sua resistência a tração pode chegar a 2,34 vezes a do aço CA 50 se considerarmos o peso específico dos materiais comparados (Ghavami 2002). Trata-se de um material leve e de fácil manuseio, sem mencionar suas inúmeras características que o enquadram como o material de construção mais sustentável disponível na natureza.

Quadro 01: Razão entre tensão de tração e o peso específico de alguns materiais

Tipo de Material	Resistência a tração $\sigma_t$ (Mpa)	Peso específico ( $N/mm^3 \times 10^{-1}$ )	$R=(\sigma_t/\gamma) \times 10$	R aço
Aço CA 50	500	7,83	0,64	1
Alumínio	300	2,79	1,07	1,67
Ferro Fundido	280	7,7	0,39	0,61
Bambu	120	0,8	1,5	2,34

Fonte: Ghavami 2002

A larga experiência do autor em utilizar o bambu em construções de diversos portes, desde pequenos gazebos até coberturas de grandes vãos, assegurou que a opção de utilizar o bambu para esta prática seria a mais indicada.

O bambu selecionado para o uso na oficina é da espécie *Phyllostachys bambuzóides*, esta espécie pode chegar a 15 cm de diâmetro, porém, para a oficina, utilizamos colmos de diâmetro médio de 2,5 cm. De origem asiática é do tipo alastrante, ou seja, uma única muda pode tomar grandes áreas, pois, seu rizoma busca no subsolo as regiões com mais condições para brotação e com isso se alastra facilmente. É um bambu cultivado no Brasil a mais de 200 anos e pode ser encontrado em diversas regiões do Brasil, com baixíssimo custo de aquisição.

Figura 06 – bambu da espécie *Phyllostachys bambuzóides*



Fonte: Os autores, 2017.

É possível utilizar qualquer espécie de bambu, contudo, o workshop deve ser adaptado ao diâmetro do bambu selecionado para que o aprendizado seja mais adequado ao material.

As espécies mais recomendadas para esta prática, e que são encontrados em diversas regiões do Brasil são o *Phyllostachys áurea* (bambu caninha ou jardim) e o *Bambusa tulldóides* (bambu taquara).

As ligações são feitas com tiras de câmara de ar, medindo aproximadamente 2,5 cm de largura e 40 cm de comprimento. A escolha deste material para realizar as ligações é devido a facilidade em unir as peças de bambu, um material elástico e aderente, portanto, não permite que as peças escorreguem entre si, aplicando a tensão necessária para a união. Outro fator é o custo zero para a aquisição deste material, facilmente adquirido em borracharias sem custo, contudo, é um material efêmero, pois com o tempo as tiras ressecam e se partem.

Figura 07 – bambu da espécie *Phyllostachys bambuzóides*



Fonte: Os autores, 2017.

Para a simulação dos contraventamentos com cabos de aço foi utilizado cordinha de algodão, podendo ser qualquer tipo de cordinha, sisal, nylon, entre outras.

## 2.2 A oficina

O objetivo era realizar uma oficina onde os estudantes inicialmente percebem as características do material, principalmente a flexibilidade de resistência, aprendem as formas de ligação entre os bambus, sempre ressaltando a característica principal destas ligações, como flexíveis de segunda ordem, ou seja, o contraventamento da estrutura era algo imprescindível para a estabilidade de qualquer solução adotada.

A oficina inicia com uma primeira explanação sobre os sistemas estruturais que seriam possíveis de serem executados utilizando as peças de bambu disponibilizadas, os tipos de ligações e o objetivo da oficina.

Posteriormente os orientadores e monitores executam uma primeira estrutura apresentando todos os conceitos da isostática e hipoestática, das ligações e contraventamentos no plano vertical e horizontal, orientando como realizar a união entre as peças e demais elementos, de modo a garantir um perfeito entendimento do sistema.

Após o entendimento da turma de como realizar as ligações entre os bambus e como funcionam os sistemas estruturais com ligações flexíveis, são divididos grupos de no máximo 6 estudantes de forma aleatória, para cada grupo são fornecidos os seguintes materiais:

- 12 peças de 95 cm cm;
- 6 peças de 1,34 cm;
- tiras de câmaras de ar; e
- cordinha de algodão.

Cada grupo tinha 20 minutos para pensar e projetar em conjunto, uma estrutura utilizando todas as peças, com o mesmo sistema de ligação ensinado no primeiro modelo, o objetivo é deixar que os estudantes criem sistemas estruturais, percebam os esforços envolvidos e estabilizem a estrutura com barras de bambu ou com as cordas de algodão, simulando um contraventamento com barras e cabos de aço.

As regras gerais para a construção das estruturas são:

- A estrutura deverá ser estável;
- Deverá funcionar como um abrigo;
- Todas as barras devem ser utilizadas;

Na sequência, os grupos partem para a execução das estruturas projetadas, tendo 60 minutos para cumprir a tarefa. Durante o período da execução das estruturas, não é dado por parte do orientador, nenhuma orientação, tudo é realizado intuitivamente deixando os estudantes livres para acertar ou errar, possibilitando assim, o entendimento da problemática.

Ao final do tempo estipulado, com todo os grupos juntos, percorremos cada estrutura elaborada e analisamos uma por uma, observando e discutindo com os estudantes se os objetivos foram atendidos, tais como: A estrutura está estável? Se não, o que deveríamos fazer para que fique estável? Foi utilizado todas as barras? funciona como abrigo?

### **3. RESULTADOS**

A oficina piloto realizada em abril de 2007 no campus da Universidade Católica de Brasília com a turma da disciplina de Sistemas Estruturais em Madeira. Nesta disciplina, uma das principais questões estudadas é a condição de vínculo das estruturas de madeira, em sua maioria vínculos flexíveis de segunda ordem, deste modo, a oficina prática iria refletir a lógica dos sistemas estruturais estudados na disciplina.

A oficina iniciou com a montagem de uma estrutura onde os alunos podiam observar as ligações, entender o sistema de contraventamento vertical e horizontal com barras e cordas (figura 2). O objetivo era a compreensão de como uma estrutura hipoestática com ligações flexíveis se torna estável com o uso de contraventamentos.



Figura 8 – Estrutura desenvolvida pelo orientador



Fonte: Os autores, 2017.

Após o entendimento dos processos com o modelo construído pelo orientador, foram formados 5 grupos, todos os integrantes participaram intensamente e foram capazes de desenvolver as estruturas de acordo com os critérios pré estabelecidos.

Figura 9 – Estudantes desenvolvendo seus projetos



Fonte: Os autores, 2017.

No decorrer da oficina foi possível observar que não existe um nivelamento entre os estudantes a cerca da compreensão dos sistemas estruturais, deste modo, enquanto alguns grupos desenvolveram estruturas que atendiam todos as condições de estabilidade, outros não conseguiram desenvolver estruturas que atendessem o este critério. Contudo, após a discussão e análise da estrutura instável, os estudantes puderam ampliar o entendimento do sistema e quais as ações deveriam ser tomadas para que a mesma atingisse uma condição isostática, ações estas propostas pelo próprio grupo após uma análise mais criteriosa.

Figura 10- Grupo executando a estrutura



Fonte: Os autores, 2017.

Figura 11 - Grupo executando a estrutura



Fonte: Os autores, 2017.



Figura 12 – Grupo executando a estrutura



Fonte: Os autores, 2017.

Figura 13 – Estrutura pronta sendo verificada sua funcionalidade



Fonte: Os autores, 2017.

Figura 13 – Professor passando orientação sobre a estabilidade das estruturas executadas pelos estudantes.



Fonte: Os autores, 2017.

Figura 15 – Turma da primeira oficina



Fonte: Os autores, 2017.

#### 4. CONSIDERAÇÕES

Foi possível observar ao final da oficina piloto, o entendimento por parte dos estudantes, dos sistemas estruturais com ligações flexíveis, uma prática lúdica e divertida onde todos puderam experimentar, errar e aprender com os erros. Quando se aprende apenas na teoria, o conhecimento pode não ser absorvido e fixado, porém, quando passamos para a prática, certamente a compreensão é muito maior.

O uso do bambu nesta prática foi determinante para o seu sucesso, possibilitando além da facilidade de manuseio pela sua resistência, flexibilidade e leveza, o custo zero para a produção das peças e elementos de ligação, no caso tiras de câmara de ar. Deste modo, a oficina pode ser realizada e aprimorada por outras universidades sem a necessidade de recursos financeiros, mas tão somente a disponibilidade de ação dos docentes e estudantes.

A oficina nos surpreendeu com a quantidade de formas desenvolvidas pelos grupos, destacando a ilimitada possibilidade de estruturas que podem ser desenvolvidas nesta prática utilizando o bambu, tiras de câmara de ar e corda (simulando cabos de aço).

### AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial aos integrantes do Grupo de Pesquisa em Tecnologias Sustentáveis da Universidade Católica de Brasília, ao alunos da disciplina de Sistemas Estruturais em Madeira e a todos que acreditaram que esta oficina seria realmente produtiva e atingiria os objetivos propostos.

Ao Mestre Marcelo Rio Branco, grande inspirador e difusor do uso do bambu

### REFERÊNCIAS

PEREIRA, Marco A.R, **Bambu de Corpo e Alma**, Bauru, SP 2008

Ripper, José L.M, **Jogo das Formas, Lógica do Objeto Natural**, Rio de Janeiro, RJ, 2014

REBELLO, Yopanan C. **Considerações sobre o Ensino e Aprendizagem de Estrutura nas Escolas de Arquitetura**. YCON Engenharia Ltda, São Paulo, Brasil

FRANCO, M. O papel da história no ensino da teoria das estruturas. In: ENCONTRO DE PROFESSORES DE ESTRUTURA PARA ESCOLAS DE ARQUITETURA, 1., 1974, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FAUUSP, 1974. p.1-7.

LEITE, M. A. D. F. A. **A aprendizagem tecnológica do arquiteto**. 2005. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

POLILLO, A. **Considerações sobre o ensino de estruturas nos cursos de formação de arquitetos**. 1968. Tese (Concurso para a Cátedra de Concreto Armado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1968.

SARAMAGO, R. C. P. **Ensino de estruturas nas escolas de Arquitetura do Brasil**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.