

Caracterização física e mecânica de colmos de bambu para aplicação em elementos estruturais

Physical and mechanical characterization of bamboo culms for application in structural elements

RESUMO

Para reduzir o impacto ambiental da construção civil, têm-se pesquisado materiais não convencionais e renováveis, como o bambu. Este estudo tem como objetivo a caracterização física e mecânica de colmos de bambu das espécies *Bambusa tuldooides* (BT) e *Phyllostachys aurea* (PA). Realizaram-se os ensaios de compressão e tração paralelos às fibras e flexão estática embasados em normas internacionais e trabalhos acadêmicos, pois não existem normas brasileiras para caracterização do bambu. Para a espécie BT obtiveram-se os valores médios de resistência à compressão de 72,31 MPa e à tração de 319,18 MPa. Os módulos de elasticidade médios foram de 4,31 GPa à compressão, 4,6 GPa à tração e 13,61 GPa à flexão. A espécie PA apresentou o valor médio de resistência à compressão de 80,47 MPa e 210,67 MPa para tração. Os módulos de elasticidade médios da espécie foram: 3,89 GPa à compressão; 4,57 GPa à tração e 9,96 GPa para flexão. Para ambas espécies, o teor de umidade ficou próximo de 12%, exceto no ensaio de flexão. Com isso, conclui-se que a espécie PA se destaca apenas na compressão, sendo superada pela BT nas demais propriedades, e que a resistência à tração é superior à de compressão em ambas espécies.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência dos materiais. Tensões. Elasticidade.

ABSTRACT

The unconventional and renewable materials research, such as bamboo, is an alternative to reduce the negative environmental impact of civil construction. This study aims the physical and mechanical characterization of bamboo culms of the species *Bambusa tuldooides* (BT) and *Phyllostachys aurea* (PA). It were done compression and tension tests parallel to the fibers and static bending based on international standards and academic works, since there are no Brazilian standards for the characterization of bamboo. For the BT species, the mean compressive strength values of 72.31 MPa and tensile strength of 319.18 MPa were obtained. The average modules of elasticity were 4.31 GPa to compression, 4.6 GPa to tensile and 13.61 GPa to bending. The PA species had an average compressive strength of 80.47 MPa and 210.67 MPa for tensile. The average elasticity modules of the species were: 3.89 GPa to compression; 4.57 GPa for tensile and 9.96 GPa for bending. For both species, the moisture content was close to 12%, except in the bending test. It is concluded that the PA species stands out only in compression, being surpassed by BT in the other properties, and that the tensile strength is superior to that of compression one in both species.

KEYWORDS: Strength of materials. Stresses. Elasticity.

Leonardo Müller Portes
leoportes@live.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Paôla Regina Dalcanal
paolardalcanal@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é um dos principais responsáveis pelo crescimento econômico e social no mundo. Por isso, está ligado diretamente ao alto consumo de energia e matéria-prima nos processos de produção, bem como na excedente geração de resíduos sólidos. Estes resíduos, segundo o diagnóstico realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em 2012, representam cerca de 31 milhões de toneladas/ano de resíduos de construção e demolição só no Brasil, podendo ser quantificado em torno de 230 a 760 kg/habitante por ano. Nesse contexto, a busca por alternativas para atenuar o impacto causado pelo setor torna-se imprescindível, sendo uma delas a possibilidade do uso de materiais não-convencionais e recursos renováveis, como o bambu.

O bambu é uma planta da família das gramíneas (*Poaceae* ou *Gramineae*) e subfamília *Bambusoidea*, com aproximadamente 1300 espécies espalhadas pelo mundo, sendo predominantemente encontradas nos continentes da América e Ásia. Na América do Sul, o Brasil se destaca pela quantidade de espécies, apresentando cerca de 250 tipos. Suas propriedades físicas e mecânicas se assemelham àquelas encontradas em materiais convencionais da construção civil, como o aço e a madeira, devido aos seus atributos de durabilidade e resistência, (FILGUEIRAS E VIANA, 2017).

Como material para a construção civil, Carbonari *et al.* (2017) cita que na América do Sul, países como a Colômbia, Venezuela e Peru são grandes investidores da planta no setor construtivo. No Brasil, há uma carência de parâmetros representativos no meio técnico para favorecer o uso adequado do bambu nas construções.

Com esse panorama, a utilização do bambu mostra-se como uma boa alternativa, mas necessita do investimento em conhecimento técnico e amparo normativo. O objetivo desta pesquisa é contribuir para esse conhecimento técnico, estudando o comportamento dos colmos de bambu por meio da sua caracterização física e mecânica. Esse trabalho faz parte da dissertação “Análise das propriedades estáticas e dinâmicas das espécies de bambu *Bambusa tuldoidea* e *Phyllostachys aurea*”, realizada pela aluna de mestrado Ana Claudia Dal Prá Vasata, do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB) em 2020 (VASATA, 2020).

MATERIAIS E MÉTODOS

As espécies utilizadas neste estudo foram a *Bambusa tuldoidea* (BT) e a *Phyllostachys aurea* (PA), que são comuns na região do sudoeste do Paraná. As propriedades dos bambus variam ao longo do seu comprimento, portanto os colmos são divididos em base, meio e topo. Para esta pesquisa, analisou-se apenas a base e o meio, marcados nas amostras com B (base) ou M (meio).

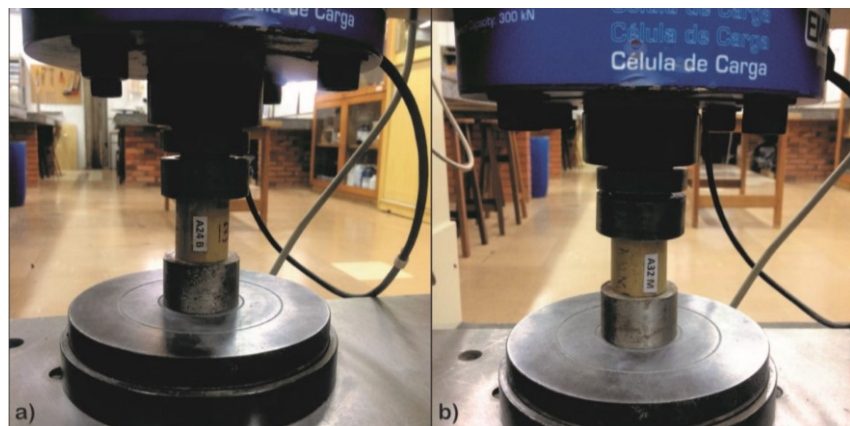
Os colmos do bambu da espécie BT foram coletados no município de Campo Largo - PR, no mês de outubro de 2018, e os da espécie PA na cidade de Pato

Branco - PR, em novembro de 2018. Os colmos de ambas as espécies foram armazenados em local seco, sem luminosidade e livre de contato com o solo, protegidos da chuva e sol, até atingirem um teor de umidade próximo à 12%, conforme especifica a norma internacional ISO N314 22157:2019 – *Determinaton of physical and mechanical properties of bamboo*, que também serviu de base para os ensaios de caracterização (ISO, 2019).

O número mínimo de amostras para ensaios estáticos deve ser de 12 por espécie, categoria (base e meio) e teste, conforme a ISO N314 22157 (2019). Então, para cada ensaio foram utilizadas 24 amostras de cada espécie, sendo 12 amostras para base e 12 amostras para meio. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia Civil da UTFPR-PB, na máquina universal INSTRON/EMIC, modelo 23300. Após a execução de cada ensaio, as amostras foram preparadas para a determinação do teor de umidade (MC), seguindo a orientação da norma internacional.

O ensaio de compressão paralelo às fibras foi realizado conforme a ISO N314 22157 (2019), com as amostras feitas das partes entre nós e com o seu comprimento igual ao diâmetro externo do colmo, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Execução do ensaio de compressão paralelo às fibras



Fonte: Vasata (2020)

Com os dados obtidos pelo programa Tesc[®], foram elaborados os diagramas de tensão-deformação de cada amostra, para assim obter o módulo de elasticidade à compressão (E_c), por meio da Lei de Hooke, na região contida entre 20% a 80% da carga máxima (F_{ult}), na qual a amostra falha.

A tensão última de compressão (σ_c) foi calculada pela Eq. (1):

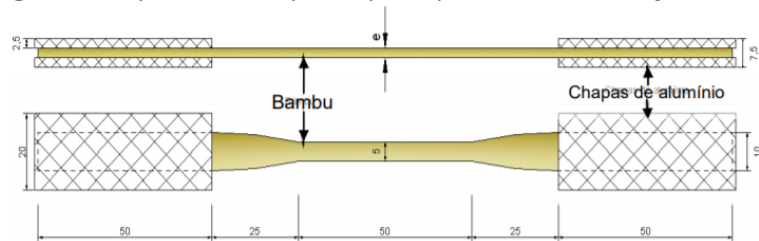
$$\sigma_c = \frac{F_{ult}}{A} \quad (1)$$

em que: F_{ult} é a carga máxima e A é a área da seção transversal da amostra.

O ensaio de tração paralela às fibras foi adaptado do estudo de Chamorro (2011), no qual foram coladas, com cola epóxi, chapas de alumínio de 2,5 mm de espessura nas bordas das amostras em contato com as garras da máquina de ensaio, evitando-se o esmagamento e escorregamento (Figura 2). Os corpos de prova possuíam um comprimento total de 200 mm, onde 50 mm correspondiam às extremidades em contato com as garras, outros 50 mm pertenciam à zona de estrição (onde ocorre o rompimento) e 25 mm às zonas de transição, onde a seção

transversal do corpo de prova varia. A largura das extremidades em contato com a garra da máquina era de 10 mm e para a zona de estrição aproximadamente 5 mm.

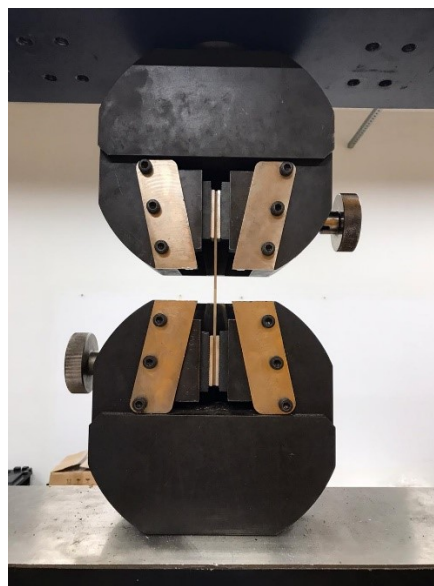
Figura 2 – Esquema dos corpos de prova para o ensaio de tração, em mm



Fonte: Chamorro (2011)

A execução do ensaio ocorreu conforme a ISO N314 22157 (2019), como mostra a Figura 3, e as amostras que romperam fora da zona de estrição foram descartadas como orientado pela norma internacional, sendo substituídas por uma nova amostra idêntica. Com os dados obtidos, de forma análoga ao ensaio de compressão, foi possível obter o módulo de elasticidade à tração (E_T) e calcular a tensão última de tração (σ_T).

Figura 3 – Execução do ensaio de tração paralela às fibras



Fonte: O autor (2020)

O ensaio de flexão estática foi adaptado de Armandei *et al.* (2015), pois o equipamento usual para a realização do ensaio em condição de viga biapoiada, como é orientado pela norma internacional, estava danificado. Dessa forma, foi utilizado um sistema em balanço, engastado em uma das extremidades por uma garra metálica, com o carregamento aplicado na extremidade livre como carga concentrada (Figura 4). Os colmos utilizados possuíam de 2 a 3 nós e foram cortados ao meio no sentido do eixo longitudinal, separados em fatias internas e externas, as quais possuíam um comprimento total de 100 cm, sendo 30 cm engastados e 70 cm de vão livre. Para o ensaio de flexão estática, foram necessárias 12 amostras por fatia do colmo para cada espécie, identificadas como fatia interna (FI) e fatia externa (FE), totalizando 96 corpos de prova.

Figura 4 – Esquema para ensaio à flexão - a) vista superior b) vista lateral



Fonte: O autor (2020)

Com os dados obtidos, foi possível construir os gráficos que relacionam carga-deslocamento, e assim definir o módulo de elasticidade à flexão (E_f) pela Eq. (3):

$$E_f = \frac{PL^3}{3\delta I} \quad (3)$$

em que: L representa o comprimento do vão livre da amostra, em mm; a relação P/δ é a tangente da curva carga-deslocamento (N/mm) e I é o momento de inércia da seção transversal (mm^4). O momento de inércia da seção transversal (I) foi obtido por meio do Teorema dos Eixos Paralelos considerando uma seção de semicírculo vazado.

Devido à pandemia de COVID-19, não foi possível concluir a caracterização mecânica quanto ao cisalhamento paralelo às fibras, bem como realizar a aplicação do bambu estudado em um protótipo estrutural. O ensaio de cisalhamento seguiria as especificações da ISO N314 22157 (2019), à princípio sem alterações na metodologia. O protótipo seria uma tesoura simples, baseado no estudo realizado por Lana (2016) e dimensionamento seguindo a norma de construções em madeira NBR 7190 (ABNT, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

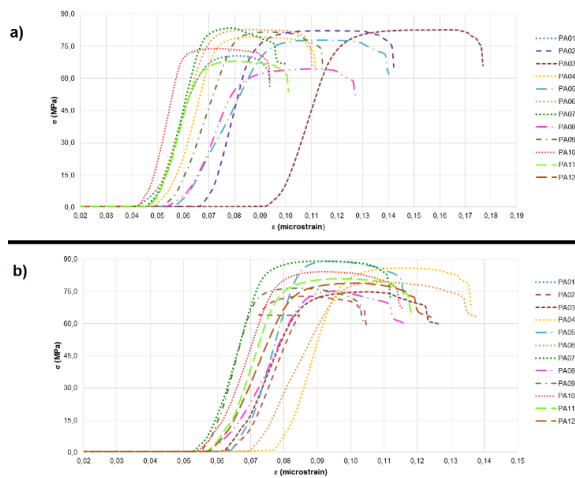
Os valores médios de teor de umidade (MC), tensão última (σ_c) e módulo de elasticidade (E_c) do ensaio de compressão paralela às fibras, para as espécies BT e PA, base (B) e meio (M), podem ser observados na Tabela 1. E, na Figura 5 podem ser observados os diagramas tensão x deformação desses ensaios.

Tabela 1 – Valores médios das propriedades físicas e mecânicas no ensaio de compressão

Amostra	MC (%)	σ_c (MPa)	E_c (GPa)
BTB	13,45	71,39	4,21
BTM	13,97	73,22	4,41
PAB	13,81	78,75	3,74
PAM	13,71	82,18	4,03

Fonte: Vasata (2020)

Figura 5 – Diagrama de $\sigma \times \varepsilon$ do ensaio de compressão da espécie *Phyllostachys aurea*: a) Base do colmo b) Meio do colmo



Fonte: Vasata (2020)

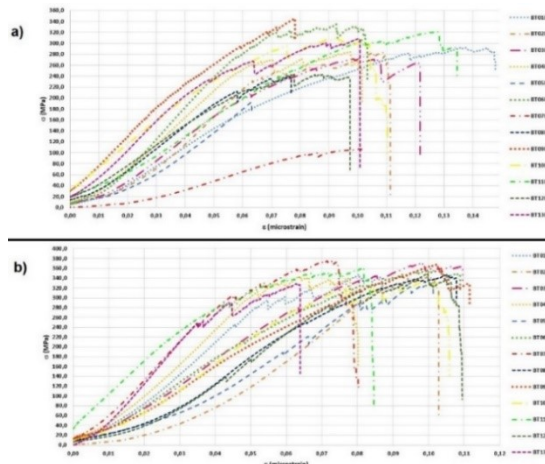
De forma análoga, os resultados de teor de umidade (MC), tensão última (σ_T) e módulo de elasticidade (E_T) das amostras do ensaio de tração paralela às fibras, para ambas as espécies e partes do colmo, encontram-se na Tabela 2. Os gráficos tensão x deformação são apresentados na Figura 6. É possível perceber uma queda abrupta no fim de cada curva, que representa o momento da ruptura das amostras. Nota-se que, tanto no ensaio de compressão quanto no de tração, os valores de umidade ficaram próximos à 12%, valor recomendado pela ISO N314 22157 (2019).

Tabela 2 – Valores médios das propriedades físicas e mecânicas no ensaio de tração

Amostra	MC (%)	σ_T (MPa)	E_T (GPa)
BTB	12,91	288,30	3,83
BTM	13,37	350,05	5,37
PAB	13,01	215,64	3,61
PAM	12,87	205,69	5,52

Fonte: Vasata (2020)

Figura 6 – Diagrama de $\sigma \times \varepsilon$ do ensaio de tração da espécie *Bambusa tuldooides*: (a) Base do colmo b) Meio do colmo



Fonte: Vasata (2020)

A Tabela 3 mostra os valores médios encontrados no ensaio de flexão estática para teor de umidade (MC), momento de inércia (I) e o módulo de elasticidade à flexão (EM) das amostras. Neste ensaio, diferente dos demais, foram obtidos valores mais altos de umidade do que o recomendado pela norma internacional. Isso ocorreu devido ao ensaio ter sido feito em uma época chuvosa durante o inverno, o que pode ter influenciado nos resultados finais.

Tabela 3 – Valores médios das propriedades físicas e mecânicas no ensaio de flexão

Amostra	MC (%)	I (mm ⁴)	E _M (GPa)
BTBFI	12,75	18.311,56	16,42
BTBFE	14,11	18.631,47	14,58
Média BTB	-	-	15,50
BTMFI	15,51	16.411,03	13,62
BTMFE	14,65	18.225,00	9,82
Média BTM	-	-	11,72
PABFI	13,19	28.014,22	10,08
PABFE	14,83	27.037,73	10,63
Média PAB	-	-	10,36
PAMFI	15,02	25.634,62	10,04
PAMFE	15,61	25.906,02	9,06
Média PAM	-	-	9,55

Fonte: Vasata (2020)

CONCLUSÕES

Com esta pesquisa, determinaram-se as propriedades físicas e mecânicas dos bambus das espécies *Bambusa tuldoides* (BT) e *Phyllostachys aurea* (PA), utilizando a norma internacional e adaptações de outros estudos. Para a espécie BT, a partir dos resultados dos ensaios de resistência à tração e compressão, pode-se concluir que a parte intermediária do colmo é mais resistente a esses esforços que a base. Já para a espécie PA, o mesmo comportamento não é notado. Apesar da resistência à compressão na parte intermediária ser maior, no ensaio à tração a parte basal se destacou, não mostrando um padrão de comportamento. Comparando-se as duas espécies, no geral a espécie BT tem os maiores módulos de elasticidade para os três esforços abordados, destacando-se principalmente naquele que se refere ao esforço de flexão. Com isso, conclui-se que a mesma possui menor capacidade de deformação que a PA. O único ensaio em que a espécie PA se destaca é o de resistência à compressão, sendo superada pela espécie BT nas outras caracterizações.

Dessa forma, pode-se concluir que esta pesquisa contribui para a disseminação das características e propriedades do bambu no meio técnico, ajudando na viabilização da utilização de materiais não-convencionais, como alternativa na construção civil.

É importante destacar a necessidade de uma norma nacional que forneça a padronização do modo de caracterização da planta, bem como as suas condições de utilização em projetos estruturais, proporcionando o seu uso adequado e corriqueiro nas construções.

REFERÊNCIAS

ARMANDEI, M.; DARWISH, I. F.; GHAVAMI, K. Experimental study on variation of mechanical properties of a cantilever beam of bamboo. **Construction and Building Materials**, Elsevier, v. 101, p. 784–790, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

CARBONARI, G. et al. Bambu–o aço vegetal. **Mix Sustentável**, v. 3, n. 1, p. 17–25, 2017.

CHAMORRO, L. J. C. **Análise estrutural dinâmica de um pórtico plano de bambu da espécie *Phyllostachys aurea***. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2011.

FILGUEIRAS, T. S.; VIANA, P. L. Bambus brasileiros: morfologia, taxonomia, distribuição e conservação. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**, 1 ed, p. 10-27, Rio de Janeiro: ICH, 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA E APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Brasília: IPEA, 2012.

LANA, C. A. C. **Desenvolvimento de treliças planas de bambus de pequeno diâmetro com bioconexões compósitas**. Orientador: Luís Eustáquio Moreira. 2016. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

Standard, ISO DIS - 22157: **Determination of physical and mechanical properties of bamboo**. Geneva, CH: [s.n.], 2019.

VASATA, A. C. D. P. **Análise das propriedades estáticas e dinâmicas das espécies de bambu *Bambusa tuldoides* e *Phyllostachys aurea***. Orientador: Paulo Rogério Novak. 2020. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020.