

## **Densitometria de raios X em colmos de bambu *Dendrocalamus asper***

William Colatino Martins<sup>1</sup>; William Moreira de Oliveira<sup>1</sup>; Rafael Silveira Gomes Cardoso<sup>1</sup>; Caio Cesar Nemer Martins<sup>1</sup>; Vinicius Resende de Castro<sup>1</sup>; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), Departamento de Engenharia Florestal (DEF); Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa/MG, Brasil; – [lapem@uv.br](mailto:lapem@uv.br)

**Resumo:** O objetivo deste estudo foi avaliar a densidade de colmos de bambu utilizando a densitometria de Raios X. A espécie estudada foi *Dendrocalamus asper*, conhecido popularmente como “bambu gigante”. Foram coletadas sete varas de bambu na região de Viçosa-MG e foi realizada a amostragem dos colmos ao longo do caule nas posições base, meio e topo. A partir destes colmos, foram confeccionadas amostras radiais de 2 mm de espessura, as quais foram introduzidas em um equipamento de Raios X digital (Faxitron LX-60), gerando imagens em alta definição, que posteriormente foram analisadas com auxílio de software ImageJ. Os dados foram comparados ao método gravimétrico e evidenciaram que ao longo do fuste não ocorreu diferença estatística nos perfis de densidade do bambu, de modo que a região mais densa se localiza nas proximidades da casca.

**Palavras-chave:** Densidade aparente, Propriedades físicas, Metodologia não-destrutivas.

## **X-ray densitometry analysis in culms of *Dendrocalamus asper* bamboo**

**Abstract:** The objective of this study was to evaluate the density of bamboo culms using X-ray densitometry. The species studied was *Dendrocalamus asper*, popularly known as "giant bamboo". Seven bamboo poles were collected in the region of Viçosa-MG, and culm sampling was performed along the stem at the base, middle, and top positions. From these culms, radial samples with a thickness of 2 mm were prepared and introduced into a digital X-ray equipment (Faxitron LX-60), generating high-definition images, which were later analyzed with the aid of ImageJ software. The data were compared to the gravimetric method and showed that there was no statistical difference in the bamboo density profiles along the stem, with the denser region being located near the bark.

**Keywords:** Apparent density, Physical properties, Non-destructive methodology.

## **1. INTRODUÇÃO**

Originário do sudeste asiático, o *Dendrocalamus asper* é uma espécie de bambu cultivada no Brasil, sendo caracterizada pela boa adaptabilidade ao clima e alta produtividade (até 100 t/ha/ano) em áreas com altitudes na faixa de 400 a 500 metros e precipitação média anual aproximada a 2.400 milímetros, apresentando resultados superiores em solos bem drenados (Rusch *et al.*, 2018). Trata-se de uma

espécie de bambu de grande porte, capaz de atingir 25 metros de altura até a inserção de suas folhas. Seus colmos apresentam variação de diâmetro, variando de 20 centímetros na base até 8 centímetros na região superior (Mustafa *et al.*, 2021).

A densidade é uma propriedade fundamental para caracterizar madeiras e materiais lignocelulósicos, fornecendo informações necessárias para melhor aplicabilidade industrial como na produção de carvão vegetal, celulose e papel, painéis de madeira e, até mesmo, na construção civil. Sua determinação é acessível, de custo reduzido e está intimamente ligada às propriedades físicas e mecânicas do material (EMBRAPA, 2017).

Metodologias que empregam a radiação, para determinação da densidade, como a densitometria de Raios X, são reconhecidas como métodos não destrutivos aplicados na avaliação do lenho de madeiras (Tomazello Filho *et al.*, 2010), podendo também ser utilizada na análise de colmos de bambu.

A análise da densidade da madeira e de materiais lignocelulósicos oferece informações importante sobre sua qualidade, revelando variações em fatores como dimensões das fibras, espessura das paredes celulares, diâmetro e volume dos vasos e parênquimas, bem como a relação entre cerne e alburno no contexto da anatomia da árvore (Foelkel *et al.*, 1971). Essa análise pode detectar variações na direção radial, do centro para a casca, na vertical, ou até mesmo da base para o topo (Oliveira *et al.*, 2005).

O objetivo deste estudo foi utilizar o método de atenuação de Raios X, para determinar a densidade aparente de várias amostras, em diversas posições ao longo do colmo do bambu *Dendrocalamus asper*. Este método foi escolhido por possuir confiabilidade e simplicidade no processo, além de gerar informações adicionais como o fornecimento de imagens de alta resolução, podendo servir como base para diversos estudos.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Coleta e preparo das amostras**

Sete varas do bambu *Dendrocalamus asper*, aos 3 anos de idade, foram coletadas em um plantio localizado na “Mata da Silvicultura”, divisão pertencente ao setor de Silvicultura do curso de Engenharia Florestal (DEF) da Universidade Federal

de Viçosa (UFV); Viçosa – Minas Gerais, nas coordenadas 20°46'08.56"S e 42°52'32.61"O.

A partir da colheita dos colmos de bambu foi realizado uma amostragem, retirando amostras ao longo do seu caule, sendo elas da base (0% da altura), meio (50% da altura) e topo (100% da altura). Destas posições, foram confeccionadas amostras radiais com 2 milímetros de espessura utilizando uma serra circular destopadeira com o corte no sentido radial (miolo casca).

## **2.2 Acondicionamento e aferição de densidade**

As amostras foram acondicionadas em sala de climatizada a 25 °C, com a umidade relativa (UR) em 60% até atingirem o teor de umidade de aproximadamente 15% (base seca).

A densidade básica e aparente foram determinadas conforme a norma ABNT NBR 16.828-2 (2020), com amostras de dimensões de 2 cm de largura x 3 cm de comprimento x 3 mm espessura das posições, base, meio e topo.

## **2.3 Obtenção das imagens de raios 9x**

Para confecção dos perfis de densidade aparente das amostras de bambu *Dendrocalamus asper*, foi utilizado o equipamento digital Faxitron X-ray LX-60 calibrado para leitura automática (30 Kv, 19 segundos), conforme observado na Figura 1. Após o tempo estimado, o *software* do equipamento fornece imagens digitais com alta resolução e contraste, sendo salvas no formato DICOM e JPEG.

Os perfis de densidade aparente foram obtidos das imagens em escala de cinza. A calibração foi realizada utilizando uma escala de acetato de celulose com o auxílio do *software* ImageJ, em que as imagens foram processadas e analisadas pixel a pixel. Também foi possível avaliar as imagens em escala *Rainbow*.

**Figura 1:** Amostras de *D. asper*, confeccionadas com 2 mm de espessura (B) e o equipamento de raios X utilizado (A), modelo Faxitron LX-60.



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de densidade básica e aparente (gravimétrica e raios X) dos colmos de *D. asper* das posições longitudinais base, meio e topo são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Densidade básica ( $\rho_{\text{básica}}$ ), densidade aparente gravimétrica ( $\rho_{\text{aparente}}$ ) e densidade aparente por Raios X ( $\rho_{\text{raios-x}}$ ) dos colmos de *Dendrocalamus asper*.

Posição	$\rho_{\text{básica}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{\text{aparente}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{\text{raios-x}}$ (g/cm <sup>3</sup> )
Base	0,5375 Aa <sup>0,06</sup>	0,5780 Ab <sup>0,02</sup>	0,5690 Ab <sup>0,23</sup>
Meio	0,6270 Ba <sup>0,18</sup>	0,6877 Bb <sup>0,01</sup>	0,6784 Bb <sup>0,20</sup>
Topo	0,5645 Aa <sup>0,20</sup>	0,6635 Bb <sup>0,02</sup>	0,6316 Bb <sup>0,13</sup>

Médias seguidas verticalmente pela mesma letra maiúscula e médias seguidas horizontalmente pela mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ), para uma mesma variável, desvio padrão em sobrescrito.

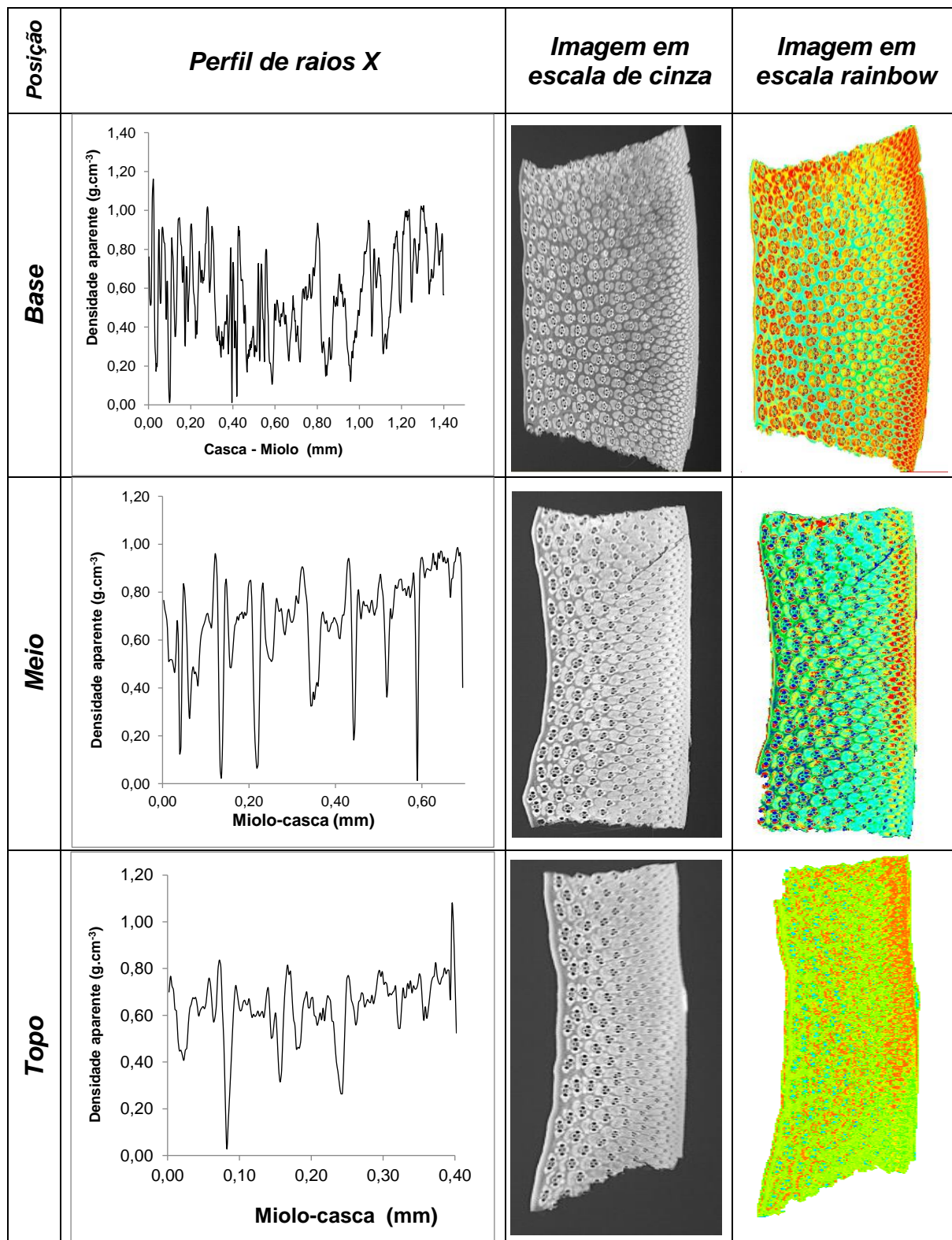
Os valores de densidade básica em todas as posições ao longo do colmo (variação longitudinal) foram semelhantes, e os valores de densidade aparente obtidos pelos métodos gravimétrico e de Raios X e não apresentaram diferença estatística significativas. Esses resultados estão de acordo com trabalhos anteriores realizados por De Vos (2010), Hamdan *et al.* (2009) e Tomak *et al.* (2012), em que os valores de densidade das amostras em diferentes posições não diferiram significativamente.

A figura 2 corresponde aos perfis de densidade aparente por densitometria de Raios X em diferentes posições longitudinais do colmo de *D. asper*. As imagens digitais das seções dos colmos de *D. asper* evidenciaram a importância do uso do método de Raios X para melhor entendimento da variação radial da densidade aparente nas diferentes posições longitudinais do colmo de bambu. A variação de cores variando do preto ao branco na escala cinza, indicam que as regiões mais escuras representam regiões com menor densidade e as regiões mais esbranquiçadas indicam pontos com maior densidade. As imagens utilizando a escala *Rainbow* indicaram regiões menos densas, sendo representadas com áreas azul-esverdeadas e nas porções mais densas a cor mais evidente foi predominantemente avermelhada.

Tanto nas amostras retiradas da região basal do colmo quanto na região média e de topo, verificou-se um padrão semelhante no perfil de densidade, aumentando do sentido interno do colmo (miolo) em direção a casca. Foi verificado que existe maior quantidade de regiões esbranquiçadas (escala cinza) e avermelhadas-alaranjadas (escala *Rainbow*) nos feixes de fibras próxima a casca, sendo indicativo de maior densidade. As regiões mais escuras (escala cinza) e azul-verde (escala *Rainbow*) no centro da região vascular indicaram menores valores de densidade.



**Figura 2:** Perfil de densidade aparente por raios x em escala de cinza e escala rainbow das posições base, meio e topo de colmos de *Dendrocalamus asper*.



#### 4. CONCLUSÃO

Neste estudo, a aplicação da atenuação de feixes de Raios X resultou em conclusões satisfatórias, permitindo comparações com análises de densitometria padrão como o método gravimétrico, e fornecendo dados similares a esse procedimento. Essa metodologia não destrutiva resulta na praticidade e capacidade de gerar imagens de alta resolução, viabilizando estudos adicionais como por exemplo, para a análise anatômica do bambu *Dendrocalamus asper*.

Todos os dados fornecidos pelas diferentes técnicas não apontaram variação nos perfis de densidade ao longo das três posições longitudinais (base, meio e topo) no *Dendrocalamus asper*, o que garante uma distribuição uniforme dos elementos anatômicos do bambu como suas fibras e vasos, capacitando assim essa espécie para diversos tipos de consumo no setor florestal.

A utilização de métodos não destrutivos para estudos analíticos devem enfatizadas, em função da introdução de novas tecnologias e a crescente demanda do mercado florestal por análises e controle de qualidade de sua matéria-prima visando aprimorar o produto final e/ou simplificar a cadeia produtiva.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da Universidade Federal de Viçosa (UFV/Brasil), da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Florestal (EMBRAPIL), da Sociedade de Investigações Florestais (SIF), do Laboratório de Celulose e Papel (LCP), do Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM) e do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) pertencentes à UFV.

#### 6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 16828**: Estruturas de Bambu Determinação das Propriedades físicas e mecânicas do bambu. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

DE VOS, V. **Bamboo for exterior joinery**. 2010. Tese de Doutorado. BSc Thesis, International Timbertrade, Larenstein University, The Netherlands.

HAMDAN, H.; ANWAR, U. M. K.; ZAINDON, U. M. K.; TAMIZI, M.M. Mechanical properties and failure behaviour of *Gigantochloa scortechinii*. **Journal of Tropical Forest Science**. p. 336-344, 2009.

EMBRAPA Florestas. **Cultivos de Pínus**. Sistemas de produção EMBRAPA, 2014.

FOELKEL, C. E. B.; Brasil, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. **Métodos Para Determinação da Densidade Básica de Cavacos Para Coníferas e Folhosas**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. v. 2, n. 3, p. 67- 74, 1971.

MUSTAFA, A. A.; DERISE, M. R.; YONG, W. T. L.; RODRIGUES, K. F. A Concise Review of *Dendrocalamus asper* and Related Bamboos: Germplasm Conservation, Propagation and Molecular Biology. **Plants**. v.10, n. 9, p.1897, 2021.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do Teor de Umidade e da Densidade Básica na Madeira de Sete Espécies de Eucalipto. **Revista Árvore**. v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005.

RUSCH, F.; HILLIG, E.; CEOLIN, G. B. Anatomia de hastes adultas de bambu: uma revisão. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 38, 2018.

SANTOS, D. R. D. S.; JUNIOR, C. R. S.; DA SILVA, M. F.; YAMAJU, F. M.; ALMEIDA, R. D. A. Potencial de espécies de Bambu como fonte energética. **Scientia Forestalis**. v. 44, p. 751–758, 2016

SATHITSUKSANO, N. ZHU, Z.; TEMPLETON, N.; ROLLIN, J. A.; HARVEY, S. P. ZHANG, Y. P. Saccharification of a potential bioenergy crop, *Phragmites australis* (common reed), by lignocellulose fractionation followed by enzymatic hydrolysis at decreased cellulase loadings. **Industrial & Engineering Chemistry Research**. v. 48, p. 6441–6447, 2009

TOMAK, E. D.; TOPALOGLU, E.; AY, N.; YILDIZ, U. C. Effect of accelerated aging on some physical and mechanical properties of bamboo. **Wood science and technology**. v. 46, p. 905-918, 2012.

TOMAZELLO FILHO, M. et al. Avaliação tecnológica da madeira e de painéis MDF de eucalipto por densitometria de raios X. **Madeira: Arquitetura & Engenharia**. v. 11, n. 27, p. 45-58, 2010.

ZHANG, Y. P. Reviving the carbohydrate economy via multi-product lignocellulose biorefineries. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**. v. 35, p. 367–375, 2008.