

## Artigos

# Biomassa de *Dendrocalamus giganteus* como recurso bioenergético

Biomass of *Dendrocalamus giganteus* as bioenergetic resource

Gustavo Vargas da Silva<sup>1</sup> 

Daniel Tavares de Farias<sup>1</sup> 

Rodrigo Coldebella<sup>1</sup> 

Wanessa Lunardi Wacht<sup>1</sup> 

Cristiane Pedrazzi<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

## RESUMO

Buscar alternativas sustentáveis para diversificar a matriz energética tornou-se uma meta a ser alcançada por todas as nações. A biomassa de bambu pode ser uma dessas alternativas por ser uma fonte de energia neutra em CO<sub>2</sub> com a possibilidade de uso como combustível na forma sólida, líquida ou gasosa. Neste estudo objetivou-se avaliar o efeito da idade de 12 e 7 anos nas propriedades químicas e energéticas de colmos de *Dendrocalamus giganteus*. Para isso, foram determinados os teores de extrativos totais, de lignina, de materiais voláteis, de cinzas e de carbono fixo, além da densidade básica, poder calorífico superior e densidade energética dos colmos. Também foram realizadas as avaliações de rendimento gravimétrico do carvão vegetal e do licor pirolenhoso produzidos a partir da carbonização do material. Os bambus com 12 e 7 anos de idade apresentaram boas propriedades químicas para fins energéticos. Os valores de teor de lignina, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas foram semelhantes entre as idades. Entretanto, o poder calorífico líquido, densidade energética, rendimento gravimétrico do carvão vegetal e ácido pirolenhoso aumentaram com o aumento da idade, e os maiores valores foram verificados para os colmos com 12 anos. A espécie *Dendrocalamus giganteus* apresentou propriedades físico-químicas e energéticas, e atendem aos critérios de qualidade esperados para o aproveitamento dessa biomassa para produção de energia térmica.

**Palavras-chave:** Bioenergia; Conversão termoquímica; Carvão vegetal; Combustão; CO<sub>2</sub> neutro

## ABSTRACT

---

Seeking sustainable alternatives to diversify the energy matrix has become a goal to be achieved by all nations. Bambo biomass can be one of these alternatives because it is a CO<sub>2</sub>-neutral energy source with the possibility of use as a fuel in solid, liquid or gaseous form. This study aimed to evaluate the effect of age of 12 and 7 years on the chemical and energetic properties of *Dendrocalamus giganteus* stems. For this, the contents of total extractives, lignin, volatile materials, ash and fixed carbon were determined, in addition to the basic density, higher calorific value and energy density of the stems. Evaluations of gravimetric yield of charcoal and pirolenhoso liquor produced from the carbonization of the material were also performed. Bamboos aged 7 and 12 years showed good chemical properties for energy purposes. The values of lignin content, volatile materials, fixed carbon and ash were similar between ages. However, the net calorific value, energy density, gravimetric yield of charcoal and pyroligneous acid expanded/rose with increasing age, and the highest values were found in 12-year-old colm. The species *Dendrocalamus giganteus* presented physical-chemical and energetic properties and they meet the expected quality criteria for the use of this biomass to generate thermal energy.

**Keywords:** Bioenergy; Thermochemical conversion; Charcoal; Combustion; CO<sub>2</sub> neutral

## 1 INTRODUÇÃO

O constante crescimento populacional traz consigo algumas demandas, como o aumento da necessidade de matrizes energéticas renováveis. A queima de combustíveis fósseis, que hoje é a maior fonte de energia do planeta, gera poluição e conseqüentemente mudanças climáticas em decorrência da emissão de gases de efeito estufa. Os danos ambientais e o esgotamento das fontes de combustíveis fósseis tornaram o desenvolvimento de energia sustentável uma temática complexa, holística e que considera crescimento econômico, sociedade e meio ambiente na transição para fontes alternativas de energia uma meta a ser alcançada pelas nações (GUNNARSDÓTTIR *et al.*, 2021).

De acordo com a Agência Internacional de Energia (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY*, 2021), a transição de fontes de eletricidade não renováveis para fontes alternativas e renováveis acelerou em um ritmo inesperado no ano de 2020, e estima que haja uma expansão muito maior desse cenário após a pandemia da COVID-19 pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2). Dessas fontes renováveis de energia, a biomassa representa uma fonte de energia térmica usada em praticamente todos os setores, tornando-se uma alternativa para a diversificação da matriz energética mundial, diminuindo a dependência de combustíveis de origem fóssil (ARAGÃO PEDROSSO *et al.*, 2018).

Nesse sentido, o Brasil é destaque no uso de energias renováveis. Além de sua capacidade hídrica, apresenta alto potencial para outras fontes alternativas de energia, considerando sua extensa área territorial e clima favorável. É um país com excelentes condições edafoclimáticas que favorecem a produção de biomassa vegetal, com enorme vantagem, de não competir com a agricultura tradicional e sem divergências em relação aos impactos ambientais (BORGES *et al.*, 2016).

Dentre as biomassas vegetais promissoras para energia, as espécies de bambu, devido às suas características químicas e morfológicas, seu crescimento rápido e elevada produção por unidade de área, torna essa gramínea uma ótima opção para geração de energia. De acordo com Anunciato *et al.* (2020), esses fatores, se bem aproveitados, fazem do bambu uma forte concorrente, em detrimento a outras fontes de biomassa tradicionalmente utilizadas para produção de energia térmica. Porém, fatores inerentes à espécie, segundo Guarnetti (2013), como por exemplo as características térmicas e químicas, são importantes para o entendimento da aptidão energética do material, e a análise dessas propriedades são essenciais para compreensão do comportamento do bambu durante o processo de pirólise. Tendo-se assim, em mãos, os indicadores para tomadas de decisões ou, até mesmo, otimizar as técnicas da carbonização.

O processamento e a utilização do bambu são históricos nas sociedades, justificada pela diversidade de espécies que devido suas características intrínsecas geram emprego e fonte de renda em países que exploram suas propriedades como fonte de alimento (brotos comestíveis), projetos de movelaria, material de construção, artesanato e paisagismo, energia e matéria-prima industrial em produtos como etanol, compósitos, painéis, têxteis e celulose (RUSCH *et al.*, 2019). Nesse contexto, a China e a Índia são destaque internacional, pois cada um processa cerca de 5 milhões de toneladas de bambu anualmente (SANTI, 2015).

No Brasil, a produção anual de bambu é estimada em 150 mil toneladas, cultivados em todas as regiões, sendo a biomassa cultivada nos estados do Maranhão,

PiauÍ, Pernambuco, Paraíba e Bahia destinada principalmente à geração de energia para o setor industrial, e celulose e papel para embalagens, enquanto os cultivos comerciais de São Paulo, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Bahia e Paraná são destinados à produção de painéis, brotos e fitocosméticos (EMBRAPA, 2018).

Das espécies que ocorrem no Brasil, *Dendrocalamus giganteus* (bambu gigante) é amplamente utilizada em aplicações tradicionais, tais como: material para construção de habitações, rústicas ou modernas, suportes e tutores na horticultura. No entanto, considerando a conversão em bioenergia, há uma certa escassez de trabalhos na literatura, dificultando a escolha das diretrizes do planejamento e manejo desta espécie. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades físico-químicas de colmos de *Dendrocalamus giganteus* com idades de 12 e 7 anos e verificar sua influência no processo de pirólise e na qualidade do carvão vegetal.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com amostras de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* coletadas de duas touceiras distintas, sendo uma com 12 e outra com 7 anos de idade. Ambos os plantios não sofreram nenhum tipo de interferência ou manejo no seu ciclo. O bambuzal está localizado em uma propriedade rural familiar na cidade de Júlio de Castilho – RS, Brasil (29°13'47,5" S, 53°35'17,32" O). Com auxílio de motosserra, colmos com 12 e 7 anos, B12 e B7 respectivamente, foram selecionados e acondicionados em local seco, com ventilação natural durante o período de abril a dezembro de 2019.

As amostras foram levadas ao Laboratório de Química da Madeira (LAQUIM) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), *Campus* Santa Maria, e todos os colmos coletados foram seccionados com auxílio de serra circular e reduzidos a colmos com aproximadamente 5 cm de altura.

A densidade básica foi determinada de acordo com o método de imersão em água, como descrito por Vidal (1984). Os colmos com 5 cm de altura foram imersos em água até a completa saturação das fibras para obter o volume saturado pelo princípio

de Arquimedes. Em seguida, a massa a 0% de umidade foi determinada secando as amostras em estufa a 105°C.

Para a caracterização química e energética, os colmos seccionados foram transformados em cavacos e em seguida convertidos em serragem em moinho do tipo Willey. A serragem foi classificada em peneiras acopladas a agitador eletromagnético, e a fração 40/60 mesh foi utilizada para determinar o teor de umidade (TAPPI T210 cm-93), extrativos totais (T204 cm-97) e lignina insolúvel (T222 om-02). A análise química imediata foi realizada seguindo a norma técnica NBR 8112 (ABNT, 1983), em que se determinaram os teores de material volátil, o teor de cinza e o teor de carbono fixo.

A determinação do poder calorífico superior (PCS), em kcal kg<sup>-1</sup>, foi realizada no Laboratório de Bromatologia e Nutrição de Ruminantes (LABRUMEN) da Universidade Federal de Santa Maria, *Campus* Santa Maria, com utilização de uma bomba calorimétrica, seguindo a NBR 8633 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984). O poder calorífico inferior (PCI) foi calculado utilizando a Equação (1) elaborada por Doat (1977), citada por Silva *et al.* (2015). O poder calorífico líquido (PCU) foi calculado de acordo com a Equação (2), segundo Souza (2010). E a densidade energética pela Equação (3) (JESUS *et al.*, 2017).

$$PCI = PCS - 600 * \left(\frac{9*6}{100}\right) \quad (1)$$

$$PCU = \left(\frac{PCI-6*U}{100+U}\right) * 100 \quad (2)$$

$$De = PCS * Db \quad (3)$$

Em que: PCI= poder calorífico inferior (kcal kg<sup>-1</sup>); PCS= poder calorífico superior (kcal kg<sup>-1</sup>); PCU= poder calorífico líquido (kcal kg<sup>-1</sup>); U= teor de umidade base úmida (%); De= densidade energética (kcal m<sup>-3</sup>); Db= densidade básica (g cm<sup>3</sup>).

As amostras usadas para determinação da densidade básica foram transformadas em cunhas de tamanhos variados, secas em estufa a 105°C, e carbonizadas em forno do tipo mufla. O controle de temperatura da carbonização foi realizado manualmente, com temperatura inicial de 100°C e taxa de aquecimento de 50°C/30 min, até 300°C. Em seguida, com aumento da taxa para 50°C/60 min, de 350°C até 450°C. O tempo total de carbonização foi de 4h30min. Para determinar a quantidade de ácido pirolenhoso, durante a carbonização, os gases produzidos foram conduzidos da saída do forno mufla para um sistema de recuperação de licor, constituído de um sistema de resfriamento com água em condensador de gases acoplado a um recipiente coletor e pesado para determinar o rendimento. O rendimento gravimétrico da carbonização foi determinado pela razão entre o peso seco do carvão e o peso absolutamente seco das cunhas secas a 105°C antes da carbonização. Partículas do carvão moído foram usadas para determinar o teor de umidade e cinzas de acordo com a norma TAPPI T210 cm-93 e NBR 8112 (ABNT, 1983) respectivamente.

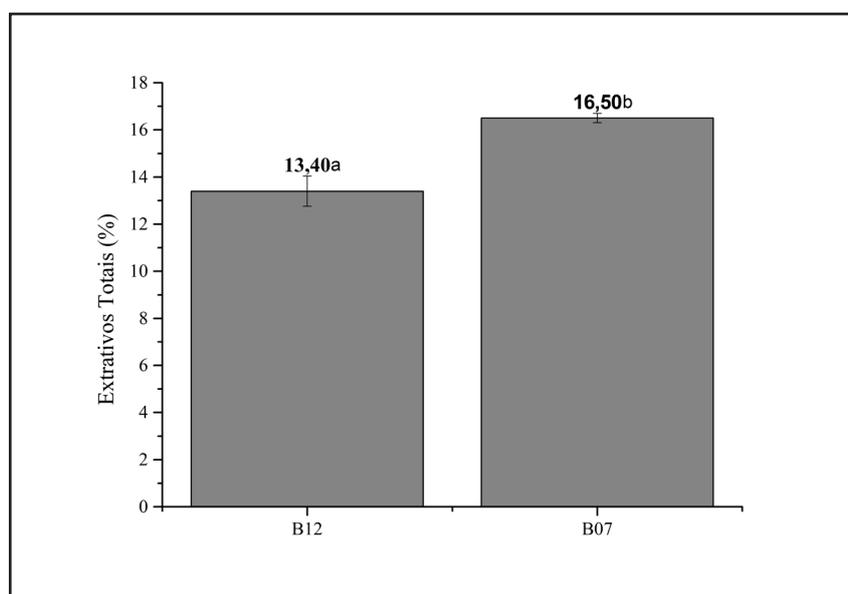
Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de significância e, quando os dados foram significativos, foi empregado o teste de Tukey a 5% de significância para a comparação de médias. As análises dos dados foram processadas no software estatístico OriginLab, sendo considerado como tratamento as idades dos colmos.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A média dos resultados obtidos nas análises químicas de extrativos totais dos colmos *in natura* do *Dendrocalamus giganteus* com idades de 12 e 7 anos são apresentados na Figura 1. A análise de variância mostrou que houve variação significativa para o percentual médio de extrativos totais, sendo observado valores médios de 13,40% e 16,50% para os colmos com 12 e 7 anos, respectivamente.

Ainda conforme a Figura 1, os maiores teores de extrativos totais foram obtidos nas análises dos colmos mais jovens, com 7 anos de idade. Resultados semelhantes foram encontrados por Marinho *et al.* (2012), que, ao analisarem amostras de *Dendrocalamus giganteus* com idade entre 2 e 6 anos, verificaram redução do teor de extrativos totais com o incremento da idade, observando valores de 12,91% e 7,87% para colmos com 2 e 6 anos, respectivamente. Vale *et al.* (2017) também verificaram a tendência de decréscimo no teor de extrativos totais para amostras de *Bambusa vulgaris* Var. *vulgaris* à medida que os colmos envelhecem, observando valores de 6,33%, 5,59% e 3,85% para as idades 1, 2 e 3, respectivamente.

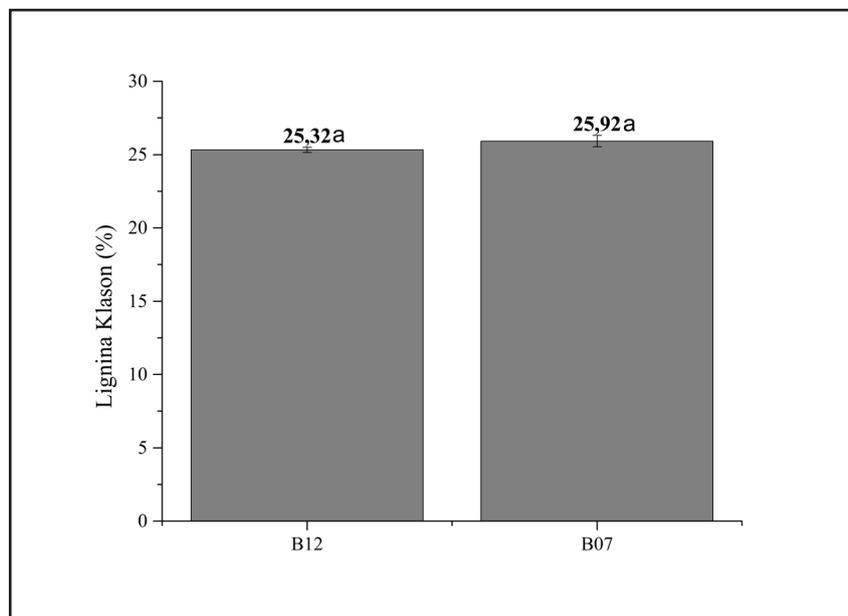
Figura 1 – Valores percentuais médios e erro padrão dos teores de extrativos totais dos colmos *in natura* de *Dendrocalamus giganteus* com idades de 12 (B12) e 7 (B07) anos



Fonte: Autores (2022)

Foram obtidos teores médios de lignina de 25,32% e 25,91% para os colmos com 12 e 7 anos de idades. Não houve diferença estatística em nível de 5% de probabilidade entre as idades, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Valores percentuais médios e erro padrão dos teores de lignina klason dos colmos *in natura* de *Dendrocalamus giganteus* com idades de 12 (B12) e 7 (B07) anos



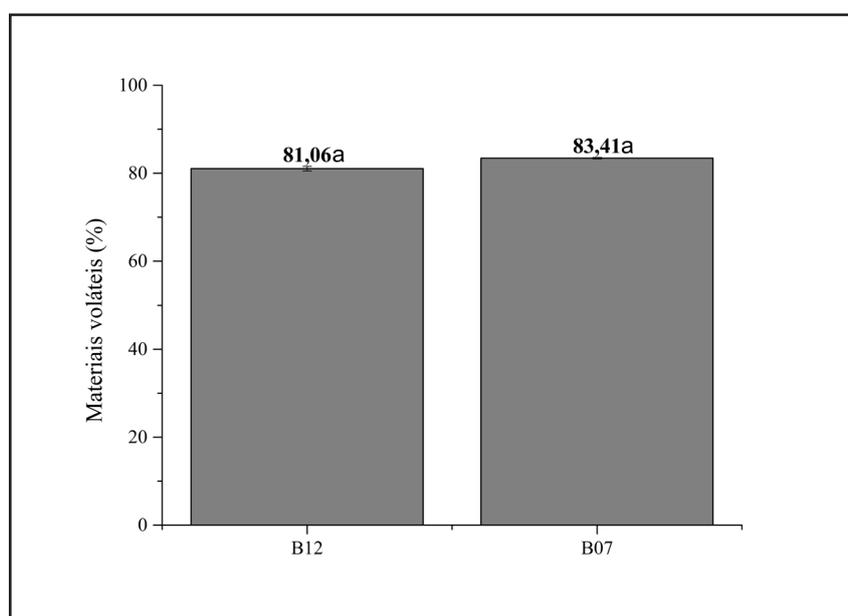
Fonte: Autores (2022)

Realizando estudo comparativo entre idades de 2 a 6 anos, Marinho *et al.* (2012) obtiveram valores de 22,66% e 23,28% para as análises de lignina klason de *Dendrocalamus giganteus*. Analisando apenas o efeito da idade, Wang *et al.* (2016) encontraram valores de lignina klason de 27,01%, 23,88% e 21,65% para idades 1, 2 e 3, respectivamente, para a mesma espécie estudada neste trabalho.

É desejável que a composição química da biomassa seja expressiva em valores percentuais de extrativos e lignina, em comparação com hemicelulose e celulose, esses componentes representam ganhos na produção do carvão vegetal e poder calorífico (JÚNIOR *et al.*, 2016; ARAÚJO *et al.*, 2016; CHEN *et al.*, 2018). Tendo em vista a importância do teor de extrativos para aumento do poder calorífico e o efeito significativo da idade sob esse parâmetro neste estudo e, considerando os altos teores de lignina encontrados, a biomassa de *Dendrocalamus giganteus* com 7 anos de idade apresenta excelentes características para uso como recurso bioenergético.

Em relação aos teores de materiais voláteis, foram observados valores médios de 83,41% e 81,06% para os colmos com 7 e 12 anos, respectivamente. A avaliação do efeito da idade mostra que não houve diferença ao nível de 5% de significância entre as idades para esse parâmetro, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Valores percentuais médios e erro padrão dos teores de materiais voláteis dos colmos *in natura* de *Dendrocalamus giganteus* com idades de 12 (B12) e 7 (B07) anos



Fonte: Autores (2022)

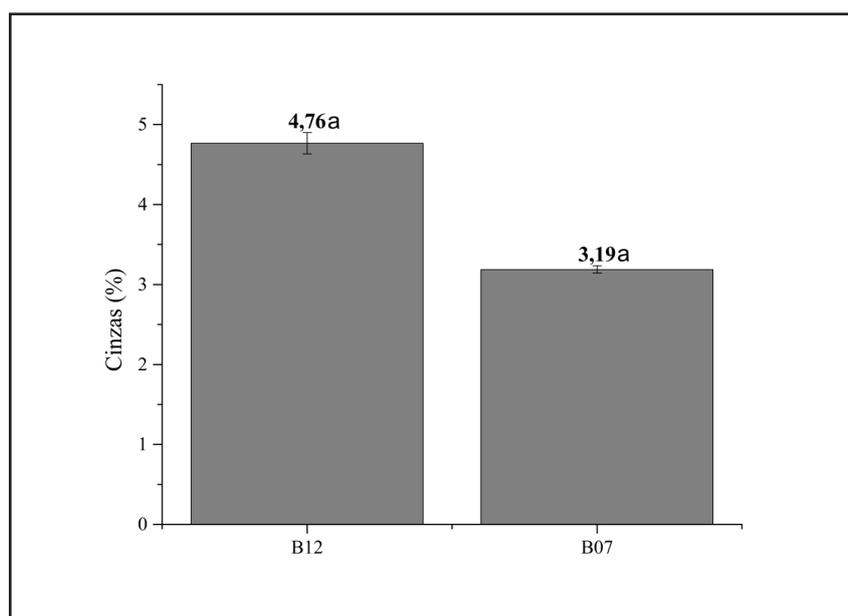
Esses resultados são superiores aos encontrados por Rusch, Moraes e Campos (2020), que encontraram 70,31% de materiais voláteis para biomassa de *Dendrocalamus giganteus*. Os resultados obtidos neste estudo, corroboram com encontrados por Balduino Junior *et al.* (2016) que encontraram valores entre 81,98% e 82,54% de materiais voláteis para colmos da espécie *Bambusa vulgaris*.

Valores elevados de materiais voláteis podem favorecer a conversão termoquímica e elevar os ganhos de poder calorífico líquido da biomassa vegetal no processo de combustão. Por outro lado, para Chaves *et al.* (2013), esses materiais

se volatilizam rapidamente durante a queima da biomassa, diminuindo o tempo de residência do combustível dentro do aparelho de combustão, podendo contribuir para uma baixa eficiência energética.

O teor de cinzas dos colmos *in natura* com 12 anos (4,76%) e 7 anos (3,19%) são apresentados na Figura 4 e estão acima dos resultados reportados por Brand *et al.* (2020) para biomassa de *Phyllostachys bambusoides* (0,9%), Marinho *et al.* (2012) para *Dendrocalamus giganteus* (1,09%) e Balduino Junior *et al.* (2016) para *Bambusa vulgaris* (2,49%). Os teores de cinzas ligeiramente elevados encontrados para os colmos *in natura* do *Dendrocalamus giganteus* neste trabalho podem ser explicados pela idade dos colmos. Segundo Chaves *et al.* (2013), as cinzas são substâncias compostas de material inorgânico e têm relação inversa com o poder calorífico, tornando-se um parâmetro importante para avaliar o comportamento da biomassa durante o processo de carbonização, uma vez que elevados teores de cinzas podem prejudicar o desempenho operacional das caldeiras.

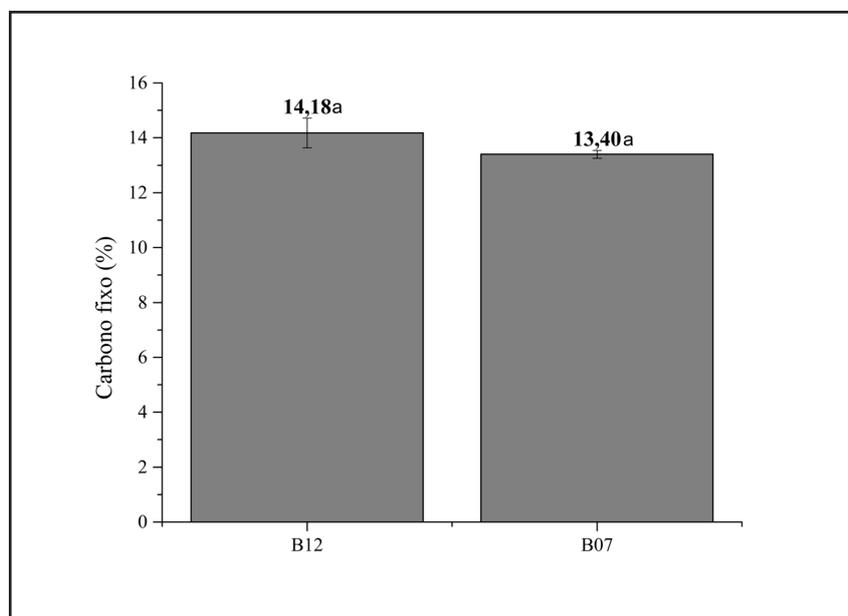
Figura 4 – Valores percentuais médios e erro padrão dos teores de cinzas dos colmos *in natura* de *Dendrocalamus giganteus* com idades de 12 (B12) e 7 (B07) anos



Fonte: Autores (2022)

O carbono fixo tem relação direta com o poder calorífico. Maiores teores implicam em maior tempo de residência dentro do aparelho de queima (CHAVES *et al.*, 2013). Para Rusch *et al.* (2021), o teor de carbono fixo pode indicar o potencial energético e o comportamento de combustão da biomassa. O aumento desse percentual melhora a qualidade da combustão, levando à queima mais prolongada da biomassa. Neste estudo, conforme apresentado na Figura 5, os teores de carbono fixo encontrados nas amostras de colmos *in natura* de *Dendrocalamus giganteus* com 12 (14,18%) e 7 anos (13,40%) não diferiram estatisticamente em nível de 5% de probabilidade. Hernandez-Mena, Pécoraa, Beraldob (2014) analisando o potencial energético de colmos de *Dendrocalamus giganteus* com 5 anos idade encontraram 17,50% de carbono fixo. Amoah *et al.* (2019) obtiveram 23,20% para colmos de *Bambusa vulgaris* para a mesma análise.

Figura 5 – Valores percentuais médios e erro padrão dos teores de carbono fixo dos colmos *in natura* de *Dendrocalamus giganteus* com idades de 12 (B12) e 7 (B07) anos



Fonte: Autores (2022)

Para a densidade básica, os valores médios obtidos foram muito próximos entre as idades, com médias de 424,4 kg/m<sup>3</sup> e 402,4 kg/m<sup>3</sup> para os colmos 12 anos

e 7 anos, respectivamente. A diferença entre esses valores não foi significativa estatisticamente, indicando que a idade não teve efeito sob esse parâmetro. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos *et al.* (2016), ao avaliarem colmos com 5 anos, e observaram valores de 462 kg/m<sup>3</sup> e 421 kg/m<sup>3</sup> para *Bambusa vulgaris* var. *vittata* e *Bambusa tuldooides*, respectivamente.

Segundo Vale *et al.* (2017), do ponto de vista energético, a densidade básica deve ser um fator a ser considerado na escolha da biomassa vegetal. Para os autores, há um ganho na produção de calor por unidade de volume com o aumento da densidade básica, além de proporcionar maior resistência mecânica ao carvão vegetal.

Os resultados do poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI), poder calorífico líquido (PCL) e densidade energética (De) dos colmos *in natura* de *Dendrocalamus giganteus* com 12 (B12) e 7 (B07) anos de idade e análise estatística para estes parâmetros podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Médias de poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI), poder calorífico líquido (PCL) e densidade energética (De) de colmos *in natura* de *Dendrocalamus giganteus* com 12 (B12) e 7 (B07) anos de idade

Biomassa	PCS	PCI	PCL	De
	(Kcal Kg <sup>-1</sup> )			(Mcal m <sup>-3</sup> )
B12	4495,25a ±4,72	4171,25a ±4,72	3679,92a ±4,24	1907,68a ±2,00
B07	4691,71b ±3,98	4367,71b ±3,98	3853,74b ±3,57	1888,11b ±1,60

Fonte: Autores (2022)

Em que: Médias seguidas do erro padrão. Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Ao analisar a Tabela 1, observa-se que houve efeito significativo da idade para as análises PCS, PCI, PCL e De. A diferença significativa entre as médias dessas variáveis sugere que há uma idade adequada para colheita dos colmos, em que a biomassa produzida apresenta qualidade superior para fins energéticos.

O maior PCS foi encontrado nos colmos com 7 anos (4691,71 kcal kg<sup>-1</sup>). Resultados semelhantes foram verificados para *Phyllostachys aurea* (4403,52 kcal kg<sup>-1</sup>) (SETTE JÚNIOR *et al.*, 2017a), *Dendrocalamus asper* (4526,20 kcal kg<sup>-1</sup>) (SETTE JÚNIOR *et al.*, 2016b), *Bambusa vulgaris* (4571,00 kcal kg<sup>-1</sup>) (BALDUINO JUNIOR *et al.*, 2016) e para *D. giganteus* (MARAFFON; AMARAL; LEMOS, 2019). Também não houve ganho do PCL com o aumento da idade. Aos 7 anos, os colmos apresentaram PCL de 3853,74 kcal.kg<sup>-1</sup> e, aos 12 anos, o PCU foi de 3679,92 kcal.kg<sup>-1</sup> (Tabela 1). Quanto à densidade energética (*De*), foram obtidos valores na ordem de 1888,11 Mcal m<sup>-3</sup> para os colmos com 7 anos, e 1907,68 Mcal m<sup>-3</sup> para os colmos com 12 anos.

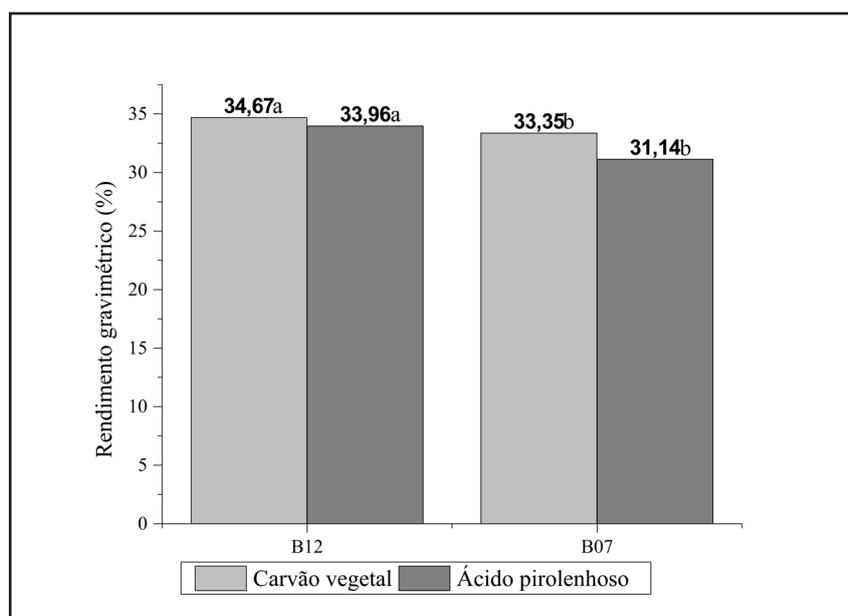
Poder calorífico e densidade básica são importantes características que servem para indicar a escolha da biomassa mais adequada para fins energéticos e, a partir do conhecimento destas, é possível evitar equívocos na escolha da biomassa ou idade de corte mais adequada (VALE; MOREIRA; MARTINS, 2017). Neste caso, a *De* seria uma das variáveis mais adequadas para determinar a época de colheita dos colmos e para aumentar a viabilidade energética a partir da escolha da biomassa, pois está relacionada a quantidade de energia contida num dado volume de biomassa, levando em consideração a densidade básica e o poder calorífico. Desse modo, o efeito significativo da idade sob a *De* ao nível de 5% de probabilidade induz a escolha dos colmos com 12 anos como material com maior densidade energética.

A partir do processo de carbonização dos colmos *in natura* de *Dendrocalamus giganteus*, foram avaliados dois produtos resultantes: o carvão vegetal e o ácido pirolenhoso. Os valores percentuais de rendimento gravimétrico do carvão vegetal e do ácido pirolenhoso são apresentados na Figura 6.

De acordo com a análise de variância, o rendimento gravimétrico do carvão vegetal de 34,67% para os colmos com 12 anos foi significativamente maior, ao nível de 5% de probabilidade, em relação ao encontrado para os colmos com 7 anos (33,35%). Em relação ao licor pirolenhoso, os resultados obtidos foram de 33,96% e 31,14% para as amostras B12 e B7, respectivamente. Nas mesmas condições de carbonização,

Santos *et al.* (2016) obtiveram valores de 36,9% para o rendimento gravimétrico dos carvões de *Dendrocalamos asper*, 34,7% para *Bambusa vulgaris* e 34,1 % para *Bambusa tuldoides*. O rendimento gravimétrico do carvão vegetal das espécies de bambus geralmente é elevado, quando comparado com valores observados para espécies de eucaliptos, ou seja, entre 28,27% e 36,76% (SANTOS *et al.*, 2011). A tendência em maiores rendimentos em carvão vegetal de *D. giganteus* em relação à madeira de eucalipto está relacionada às variações nas quantidades de holocelulose, que é menos elevada em espécies de bambu (BRITO; TOMAZELLO FILHO; SALGADO, 1987).

Figura 6 – Rendimento gravimétrico do carvão vegetal e do ácido pirolenhoso dos colmos de *Dendroclamus giganteus* com 12 (B12) e 7 (B07) anos



Fonte: Autores (2022)

Durante a combustão é preferível que o carvão apresente baixo teor de umidade, evitando-se assim perdas excessivas na energia necessária para a remoção do conteúdo de água presente na biomassa. O teor de umidade verificado para o carvão produzido a partir dos colmos de *D. giganteus* com 12 anos (1,24%) foi significativamente menor em relação ao carvão proveniente dos colmos com 7 anos (1,24%). Entretanto, com base nos critérios de qualidade estabelecidos pelo *Selo Premium* (Resolução nº10 SAA,

de 11 de julho de 2003, no Estado de São Paulo, 2003), o teor de umidade verificado para ambas as idades está abaixo do valor máximo recomendado (<5%).

É importante mencionar que a quantidade de água presente no material combustível tem efeito significativo na produção de energia. De acordo com Vale *et al.* (2011), os valores percentuais de água da biomassa têm relação inversamente proporcional aos valores de poder calorífico. Além disso, afeta negativamente o armazenamento da biomassa em decorrência da proliferação de fungos e degradação do material e pode elevar os custos do transporte.

Para o teor de cinzas, as amostras apresentaram valores de 3,15% e 6,22% para o carvão produzido com os colmos com 12 e 7 anos, respectivamente. Foi constatado efeito significativo da idade em relação à quantidade de cinzas. Brand *et al.* (2020) encontraram valores semelhantes, na ordem de 1,65% a 5,12% para as espécies *Bambusa vulgaris*, *Phyllostachys bambusoides*, *Phyllostachys edulis*, *Phyllostachys nigra*. Os valores de cinzas obtidos nas análises do carvão vegetal são superiores a 1,5%, ou seja, acima da faixa estabelecida pelo *Selo Premium*, sendo a única característica desfavorável ao uso da biomassa de *D. giganteus* para produção de carvão vegetal em detrimento a espécies madeireiras já estabelecidas no mercado.

## 4 CONCLUSÕES

As propriedades químicas e energéticas de *Dendrocalamus giganteus* mostraram que essa biomassa é adequada para uso como recurso bioenergético, em sua forma *in natura* ou como carvão vegetal. Exibindo características semelhantes ou superiores a outras fontes de recurso bioenergético encontradas na literatura, como o eucalipto, biomassa comercialmente utilizada como fonte de energia térmica.

A biomassa constituída de colmos *in natura* de *Dendrocalamus giganteus* com 12 anos apresentou teor de lignina, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas semelhantes em relação aos colmos com 7 anos. Porém, os valores de densidade básica e densidade energética cresceram significativamente com o aumento da idade.

A qualidade do carvão vegetal também tem variação em relação à idade dos colmos. O rendimento gravimétrico do carvão vegetal e ácido pirolenhoso foi mais elevado nos colmos com 12 anos; para o mesmo material também foi verificado os menores teores de umidade.

## REFERÊNCIAS

- ANUNCIATO, V. M.; ROQUE, C. D.; BIANCHI, L.; PERISSATO, S. M.; GOMES, D. M. Bambu: Versatilidade para quem sabe lucrar. **Revista Campo e Negócios**, 2020. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/bambu-versatilidade-para-quem-sabe-lucrar/>. Acesso em: 19 jan. 2021.
- ARAGÃO PEDROSO, L. L.; SILVA, F. F.; SILVA, F. F.; MELO, Á. M.; JUNIOR, M. E.; SHIMOYA, A.; SOUZA, C. L. M. Demandas atuais e futuras da biomassa e da energia renovável no Brasil e no mundo. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 5, p. 1980-1996, 2018.
- ARAÚJO, A. C. C.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BRAGA, P. P. C.; LIMA, R. V.; PROTÁSIO, T. P. Efeito da relação siringil/guaiacil e de fenóis derivados da lignina nas características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 110, p. 405-414, 2016. DOI: [10.18671/scifor.v44n110.13](https://doi.org/10.18671/scifor.v44n110.13).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8112: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8633. Brasília, 1984.
- BALDUINO JUNIOR, A. L.; BALDUINO, T. Y.; FRIEDERICHS, G.; CUNHA, A. B. D.; BRAND, M. A. Potencial energético de colmos de bambu para uso industrial e doméstico na região sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 46, n. 11, p. 1963-1968, 2016. DOI: [10.1590/0103-8478cr20160233](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160233).
- BAMBU é alternativa de renda na produção familiar. **Embrapa**, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/34230725/bambu-e-alternativa-de-renda-na-producao-familiar>. Acesso em: 11 de mar. de 2020.
- BORGES, A. C. P.; SILVA, S. M.; ALVES, C. T.; *et al.* Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 2, p. 23-36, 2016.
- BRAND, M. A.; CUNHA, A. D.; CARVALHO, A. D.; BREHMER, D. R.; KÜSTER, L. C. Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido a partir da espécie *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na agricultura familiar. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 99, p. 401-410, 2013.
- BRAND, M. A.; GAA, A. Z. N.; BALDUINO JUNIOR, A. L.; CUNHA, A. B.; RIOS, P. D. Potencial do uso de quatro espécies de bambu para a produção de carvão vegetal para uso doméstico. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 60-71, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509827348>.

BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SALGADO, A. L. B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. **IPEF**, v. 36, n. 13, 1987.

CHAVES, A. M. B; VALE, A. T, MELIDO, R. C. N., ZOCH1, V. P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *eucalyptus spp.* **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 9, n. 17, 2013.

GUARNETTI, R. L. **Cogeração de eletricidade utilizando bambu no Brasil: aspectos técnicos econômicos e ambientais**. 2013. 153 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2013.

GUNNARSDÓTTIR, I.; DAVIDSDOTTIR, B.; WORRELL, E.; SIGURGEIRSDÓTTIR, S. Sustainable energy development: History of the concept and emerging themes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 141, 110770, 2021.

HERNANDEZ-MENA, L. E.; PÉCORAA, A. A.; BERALDOB, A. L. Slow pyrolysis of bamboo biomass: analysis of biochar properties. **The Chemical Engineering Journal**. v. 37, p. 115-120, 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA (2021), Global Energy Review 2021, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>.

JÚNIOR, A. F. D; JÚNIOR, D. S. C.; ANDRADE, A. M. D.; OLIVEIRA, E. D.; LANA, A. Q.; BRITO, J. O. Quality of Eucalyptus Wood Grown in Rio de Janeiro State for Bioenergy. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 3, p. 435-442, 2016. DOI: [10.1590/2179-8087.140315](https://doi.org/10.1590/2179-8087.140315).

MARAFON, A. C.; AMARAL, A. F. C.; LEMOS, E. E. P. Characterization of bamboo species and other biomasses with potential for thermal energy Generation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. e55282, 2019. DOI: [10.1590/1983-40632019v4955282](https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4955282).

MARINHO, N. P.; NISGOSKI, S.; KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. D.; MUÑIZ, G. I. B. D. Análise química do bambu-gigante (*Dendrocalamus Giganteus* Wall. ex Munro) em diferentes idades. **Revista Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 417-422, 2012.

RUSCH, F.; MORAES, D. L.; CAMPOS, R. F. Potencial de bambu para fins energéticos. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 7, p. e40973537-e40973537, 2020.

RUSCH, F.; ABREU NETO, R.; MORAES, D. L.; HILLING, É. Energy properties of bamboo biomass and mate co-products. **SN Applied Sciences**, v. 3, n. 6, p. 1-8, 2021. DOI: [10.1007/s42452-021-04584-7](https://doi.org/10.1007/s42452-021-04584-7).

RUSCH, F.; CEOLIN, G. B.; HILLING, É. Morphology, density and dimensions of bamboo fibers: a bibliographical compilation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, e55007, 2019.

SANTI, T. Bambu para toda obra. **O Papel**, v. 76, n. 4, p. 23-34, 2015.

SANTOS, D. D. S.; SETTE JUNIOR, C. R.; SILVA, M. F.; YAMAJI, F. M.; ALMEIDA, R. D. A. Bamboo species potential as energy source. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p. 751-758, 2016 DOI: [10.18671/scifor.v44n111.21](https://doi.org/10.18671/scifor.v44n111.21).

SANTOS, D. R. S.; JUNIOR, C. R. S.; SILVA, M. F.; YAMAJI, F. M.; ARAÚJO, R. A. Potencial de espécies de Bambu como fonte energética. **Revista Scientia Forestalis IPEF**, v. 44, n. 111, p. 751-758, 2016. DOI: [10.5902/1980509831387](https://doi.org/10.5902/1980509831387).

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. D. C. O.; CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; BIANCHE, J. J.; SOUZA, M. M.; CARDOSO, M. T. Correlation of quality parameters of wood and charcoal of clones of eucalyptus. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 90, p. 221-230, 2011.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo. Resolução nº10 SAA, de 11 de julho de 2003. São Paulo, 2003.

SETTE JUNIOR, C. R.; LIMA, P. A. F.; LOPES, D. M. M.; BARBOSA, P. V. G.; CONEGLIAN, A.; ALMEIDA, R. D. A. Characterization of biomass, charcoal and briquette of *Phyllostachys aurea* Carr. ex A. & C. Rivière. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 116, p. 619-628, 2017.

SETTE JUNIOR, C. R.; FREITAS, P. D. C.; FREITAS, V. P.; YAMAJI, F. M.; ALMEIDA, R. A. Production and characterization of bamboo pellets. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 4, p. 922-930, 2016.

SILVA, D. A.; MULLER, B. V.; KUIASKI, E. C.; ELOY, E.; BEHLING, A.; COLAÇO, C. M. Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 481-485, 2015.

SOUZA, M. M. **Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita florestal e do processamento de *Pinus taeda* L.77f.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) –Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TAPPI, Acid-insoluble lignin in wood and pulp. T222 om-98, "Technical Association of the Pulp and Paper Industry", Atlanta, USA, 1998.

TAPPI, T. 210 cm-93 (1993). Sampling and testing of wood pulp shipments and testing wood pulp shipments for moisture," Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, GA.

TAPPI, T. 222 om-02: Acid-insoluble lignin in wood and pulp. 2002–2003 TAPPI Test Methods, 2002.

TAPPI. T 204 cm-97. Solvent extractives of wood and pulp, 1997.

TAPPI. T 210 cm-97. Sampling and testing wood pulp shipments for moisture, 1997.

VALE, A. T; MOREIRA, A. C. O; MARTINS, I. S. Avaliação do Potencial energético de *Bambusa vulgaris* em função da idade. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 24, e00123314, 2017. DOI: [10.1590/2179-8087.123314](https://doi.org/10.1590/2179-8087.123314).

VIDAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Boletim Técnico SIF. Viçosa, v. 2, 1984. 21 p.

WANG, S., LIN, S., LI, W., & DING, Y. Variations in fiber morphology and chemical components of *Dendrocalamus giganteus*. **Forest Products Journal**, v. 66, n. (5-6), p. 319-325, 2016.

## **Contribuição de Autoria**

### **1 Gustavo Vargas da Silva**

Engenheiro Florestal

<https://orcid.org/0000-0002-7502-6139> • gustavo\_vsilva@hotmail.com

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Escrita – primeira redação

### **2 Daniel Tavares de Farias**

Engenheiro Florestal, Me., Pesquisador

<https://orcid.org/0000-0002-7621-3681> • danieltavaresf7@gmail.com

Contribuição: Investigação, Metodologia, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

### **3 Rodrigo Coldebella**

Engenheiro Florestal, Dr., Pós-doutorando

<https://orcid.org/0000-0002-7063-1874> • rodrigocoldebella@yahoo.com.br

Contribuição: Investigação, Metodologia, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

### **4 Wanessa Lunardi Wacht**

Graduanda em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0000-0002-2630-6783> • wanessalunardiw@hotmail.com

Contribuição: Investigação, Metodologia

### **5 Cristiane Pedrazzi**

Engenheira Florestal, Dra., Professora

<https://orcid.org/0000-0003-4976-467X> • cpedrazzi@terra.com.br

Contribuição: Análise Formal, Conceituação, Curadoria de dados, Escrita – primeira redação, Investigação, Metodologia, Supervisão

## **Como citar este artigo**

Silva, G. V.; Farias, D. T.; Coldebella, R.; Wacht, W. L.; Pedrazzi, C. Biomassa de *Dendrocalamus giganteus* como recurso bioenergético. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 4, p. 2244-2262, 2022. DOI 10.5902/1980509867680. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509867680>.