

PESQUISAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS

VOLUME VII

**ALAN MARIO ZUFFO
JORGE GONZÁLEZ AGUILERA**
ORGANIZADORES



2021

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Organizadores

Pesquisas agrárias e ambientais
Volume VII



Pantanal Editora

2021

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome	Instituição
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos	OAB/PB
Profa. Msc. Adriana Flávia Neu	Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois	UO (Cuba)
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior	IF SUDESTE MG
Profa. Msc. Aris Verdecia Peña	Facultad de Medicina (Cuba)
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia	ISCM (Cuba)
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva	UFESSPA
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo	UEA
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu	UNEMAT
Prof. Dr. Carlos Nick	UFV
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia	AJES
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos	UFGD
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva	UEMS
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos	IFPA
Prof. Msc. David Chacon Alvarez	UNICENTRO
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira	IFMT
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira	UFMG
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão	URCA
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves	ISEPAM-FAETEC
Prof. Me. Ernane Rosa Martins	IFG
Prof. Dr. Fábio Steiner	UEMS
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza	UFF
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez	(Colômbia)
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles	UNAM (Peru)
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira	IFRR
Prof. Msc. Javier Revilla Armesto	UCG (México)
Prof. Msc. João Camilo Sevilla	Mun. Rio de Janeiro
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales	UNMSM (Peru)
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski	UFMT
Prof. Msc. Lucas R. Oliveira	Mun. de Chap. do Sul
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela	IFPR
Prof. Dr. Leandro Argente-Martínez	Tec-NM (México)
Profa. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan	Consultório em Santa Maria
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann	UFJF
Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior	UEG
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos	FAQ
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla	UNAM (Peru)
Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira	SEDUC/PA
Profa. Msc. Núbia Flávia Oliveira Mendes	IFB
Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira	IFPA
Profa. Dra. Patrícia Maurer	UNIPAMPA
Profa. Msc. Queila Pahim da Silva	IFB
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty	UO (Cuba)
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke	UFMS
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva	UFPI
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes	UFG

Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo
Prof. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira
Prof. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

UEMA
IFB
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Esp. Tayronne de Almeida Rodrigues
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
P472	Pesquisas agrárias e ambientais [livro eletrônico] : volume VII / Organizadores Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera. – Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2021. 129p. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web ISBN 978-65-81460-04-4 DOI https://doi.org/10.46420/9786581460044 1. Ciências agrárias – Pesquisa – Brasil. 2. Meio ambiente. 3. Sustentabilidade. I. Zuffo, Alan Mario. II. Aguilera, Jorge González. CDD 630
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	



Pantanal Editora

Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

APRESENTAÇÃO

As áreas de Ciências Agrárias e Ciências Ambientais são importantes para a humanidade. De um lado, a produção de alimentos e do outro a conservação do meio ambiente. Ambas, devem ser aliadas e são imprescindíveis para a sustentabilidade do planeta. A obra, vem a materializar o anseio da Editora Pantanal na divulgação de resultados, que contribuem de modo direto no desenvolvimento humano.

O e-book “Pesquisas Agrárias e Ambientais Volume VII” é a continuação de uma série de volumes de e-books com trabalhos que visam otimizar a produção de alimentos, o meio ambiente e promoção de maior sustentabilidade nas técnicas aplicadas nos sistemas de produção das plantas e animais. Ao longo dos capítulos são abordados os seguintes temas: bambu como combustível sólido, teores de potássio no solo e produção da bananeira ‘Terra’, lixiviação do herbicida fluroxypyr+picloram em função do regime hídrico simulado, aspectos morfológicos dos frutos e tecnológicos das sementes de dez tipos de pimenta (*Capsicum* spp.) provenientes do Alto Rio Negro – Amazonas, desenvolvimento inicial de *Luffa cylindrica* M. Roem. (Cucurbitaceae) na presença de diferentes doses de bioproduto comercial à base de trichoderma, emprego de diferentes aditivos na silagem de *Pennisetum purpureum* Schum como alternativa para suplementação animal, *Moringa Oleífera* Lam como forrageira alternativa na alimentação animal, efeito residual de biocarvão de cama de aviário no solo e desenvolvimento inicial de mudas de meloeiro, crescimento e produção do pimentão amarelo com doses e fontes de potássio cultivado em ambiente protegido, fauna epígea sobre combinações de plantas de cobertura em decomposição na cultura do milho, análise ambiental do Faxinal Água Quente dos Meiras no município de Rio Azul — Paraná. Portanto, esses conhecimentos irão agregar muito aos seus leitores que procuram promover melhorias quantitativas e qualitativas na produção de alimentos e do ambiente, ou melhorar a qualidade de vida da sociedade. Sempre em busca da sustentabilidade do planeta.

Aos autores dos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos na área de Ciência Agrárias e Ciências Ambientais Volume VII, os agradecimentos dos Organizadores e da Pantanal Editora. Por fim, esperamos que este ebook possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias e avanços para as áreas de Ciências Agrárias e Ciências Ambientais. Assim, garantir uma difusão de conhecimento fácil, rápido para a sociedade.

Os organizadores

SUMÁRIO

Apresentação	5
Capítulo 1.....	7
Bambu como combustível sólido.....	7
Capítulo 2.....	18
Teores de potássio no solo e produção da bananeira ‘Terra’ decorrentes do uso agrícola do efluente de suinocultura.....	18
Capítulo 3.....	30
Lixiviação do herbicida fluroxypyr+picloram em função do regime hídrico simulado	30
Capítulo 4.....	37
Aspectos morfológicos dos frutos e tecnológicos das sementes de dez tipos de pimenta (<i>Capsicum spp.</i>) provenientes do Alto Rio Negro – Amazonas	37
Capítulo 5.....	50
Desenvolvimento inicial de <i>Luffa cylindrica</i> M. Roem. (Cucurbitaceae) na presença de diferentes doses de bioproduto comercial à base de <i>Trichoderma</i>	50
Capítulo 6.....	60
Emprego de diferentes aditivos na silagem de <i>Pennisetum purpureum</i> Schum como alternativa para suplementação animal.....	60
Capítulo 7.....	70
<i>Moringa Oleífera</i> Lam como forrageira alternativa na alimentação animal.....	70
Capítulo 8.....	80
Efeito residual de biocarvão de cama de aviário no solo e desenvolvimento inicial de mudas de meloeiro	80
Capítulo 9.....	94
Crescimento e produção do pimentão amarelo com doses e fontes de potássio cultivado em ambiente protegido.....	94
Capítulo 10	104
Fauna epígea sobre combinações de plantas de cobertura em decomposição na cultura do milho ..	104
Capítulo 11	117
Análise Ambiental do Faxinal Água Quente dos Meiras no município de Rio Azul — Paraná.....	117
Índice Remissivo	128
Sobre os organizadores.....	129

Bambu como combustível sólido

Recebido em: 24/08/2021

Aceito em: 26/08/2021

 10.46420/9786581460044cap1

Ailton Teixeira do Vale^{1*} 

Bruno Sant'Anna Chaves² 

INTRODUÇÃO

O consumo de energia no mundo sempre esteve associado principalmente ao desenvolvimento econômico, ficando as questões sociais e ambientais em segundo plano. Nas décadas recentes, no entanto, as questões ambientais e sociais ganharam relevância no âmbito do desenvolvimento econômico mundial, em função da urgência causada pelas alterações climáticas, da pressão de movimentos sociais e a celebração de metas e acordos internacionais em prol da redução das emissões de carbono. A substituição das matrizes energéticas predominantemente fósseis por alternativas renováveis tornou-se objetivo de diversos países para alcançar as metas de desenvolvimento sustentável.

A Agência Internacional de Energia (IEA) atesta que a bioenergia é a principal fonte renovável de energia térmica no mundo, com participação de cerca de 20% dentre as fontes térmicas renováveis. Contudo, o crescimento previsto para energias térmicas renováveis na matriz energética mundial ainda é tímido, com a participação prevista de 12% em 2024. Esse potencial sub explorado das fontes renováveis de energia térmica não se alinha com as metas climáticas globais, necessitando de maior intervenção de políticas públicas (IEA, 2019). O desenvolvimento das fontes energéticas renováveis, incluindo a biomassa, requer o aprimoramento das tecnologias de conversão e uso da energia, e maior diversificação das fontes, como o uso de biomassas alternativas.

Neste cenário o Brasil se destaque com 46,1% de participação de participação das fontes renováveis na matriz energética, muito acima da média global de 13,8% (IEA, 2020). No entanto, a participação de combustíveis fósseis ainda é superior a 50% na matriz energética brasileira e, portanto, há um longo caminho pela frente no sentido de tornar a matriz ainda mais limpa. Dentre as alternativas que se apresentam, a biomassa vegetal aparece com destaque e com expressivo horizonte de crescimento – há o enorme potencial territorial considerando áreas degradadas, pastagens abandonadas e terras agrícolas subutilizadas, que somam mais de 110 milhões de hectares (EMBRAPA, 2018). Grande parte dessas terras podem produzir culturas energéticas sem desmatamento e sem concorrência com agricultura

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.

² Laboratório de Produtos Florestais, Serviço Florestal Brasileiro, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

* Autor correspondente: ailton.vale@gmail.com

para alimentos. Ademais, ainda há espécies vegetais de alta produtividade e pouco utilizadas para fins energéticos. Dentre as biomassas de alta produtividade e baixo custo silvicultural., características desejáveis para combustíveis renováveis alternativos, destacam-se os bambus.

O cultivo do bambu apresenta alta produtividade e taxa de crescimento com grande produção de biomassa e sua exploração e corte não implica em morte da planta, e com isto o solo fica protegido de erosão (Lee et al., 2014). Um estudo na Índia mensurou a produtividade média de 49,6 ton ha⁻¹.ano⁻¹ de biomassa seca para espécies do gênero *Bambusa* em um ciclo de 6 anos (Shanmughavel et al., 2001). Esta produtividade é mais que o dobro da média para plantios de eucalipto no Brasil (IBÁ, 2017). O *Bambusa vulgaris* var. *vittata* Rivière & C. Rivière é originário da China, os colmos se formam em touceiras, não se alastra no terreno, tem como característica a coloração verde-amarelo, por isto é conhecido como brasileirinho, e pode chegar a 15 m de altura com diâmetro de 15 cm (Greco et al., 2011).

Além do uso na forma *in natura*, a biomassa em geral e o bambu em particular podem ser transformados em outros combustíveis como opção para melhorar suas propriedades energéticas, a partir de processos termo mecânicos de adensamento, como a briquetagem e a peletização e processos termoquímicos como a torrefação e a carbonização.

O adensamento facilita a manipulação e o armazenamento; possibilita maior controle sobre o processo de combustão e aumento da densidade energética do material., além de vantagens para o transporte, estocagem e facilidade para uso em mecanismos de combustão direta, co-combustão, gaseificação e pirólise (Kalilyan; Morey, 2009).

A torrefação é um processo em que a biomassa é submetida a temperaturas relativamente baixas, entre 180 °C e 280 °C (Chen et al., 2015), e o produto é um material intermediário entre a biomassa e o carvão vegetal. Dentro do gradiente de temperaturas dos tratamentos térmicos, a torrefação é, segundo Rodrigues (2010), o último processo de conversão endotérmica, e que produz um combustível com melhores propriedades energéticas. A carbonização, processo exotérmico, ocorre a temperaturas superiores às da torrefação e tem como objetivo a produção de carvão vegetal., produto com maior concentração de carbono e maior poder calorífico.

O uso de *Bambusa vulgaris* var. *vulgaris* na forma *in natura* em caldeiras na fabricação de papel reciclado (Vale et al., 2017) é um dos poucos registros do uso de bambu como insumo energético no Brasil. Neste sentido o objetivo desta pesquisa foi analisar a qualidade do *Bambusa vulgaris* var. *vittata* como combustível sólido nas formas *in natura*, torrificado, briquetes, *pellets*, e carvão vegetal.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta, secagem e ensaios do material in natura

A coleta dos colmos de *Bambusa vulgaris* var. *vittata* foi feita na Fazenda Água Limpa de propriedade da Universidade de Brasília, localizada na Vargem Bonita. Foram coletados 9 colmos de *Bambusa vulgaris* var. *vittata* divididos em 3 repetições, cada uma com 3 colmos. Após o abate os colmos

foram cortados em sete peças de 40 cm de comprimento e em seguida divididos em 6 ripas cada um (Figura 1). Cada tratamento (*in natura*, *pellets*, briquete, torreficado e carvão) foi composto por ripas provenientes de cada colmo e de cada peça. Assim, conforme Figura 2, a repetição 1 do tratamento 1: composto por ripas de número 1 de todos as peças (1A,1B,1C,1D,1E,1F e 1G) e de todos os colmos 1, 2 e 3, perfazendo um total de 21 ripas/repetição; a repetição 2 (grupo 2) do tratamento 1: composto por ripas de número 2 de todos as peças (2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F e 2G) e de todos os colmos 1, 2 e 3, perfazendo 21 ripas por repetição e assim por diante.

O material de cada repetição e de cada tratamento foi colocado para secagem em estufa a 60 °C para evitar ataques de fungos e de insetos durante o manuseio, e também para estabilizar a umidade, permanecendo por 5 dias, quando então foi retirado.

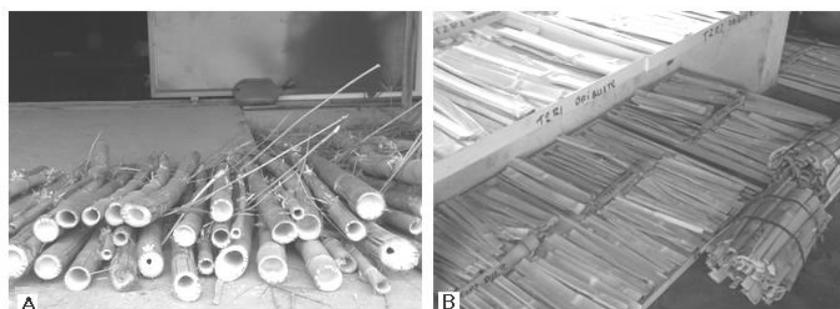


Figura 1. a) Material coletado, b) material processado na forma de ripas. Fonte: os autores (2019).

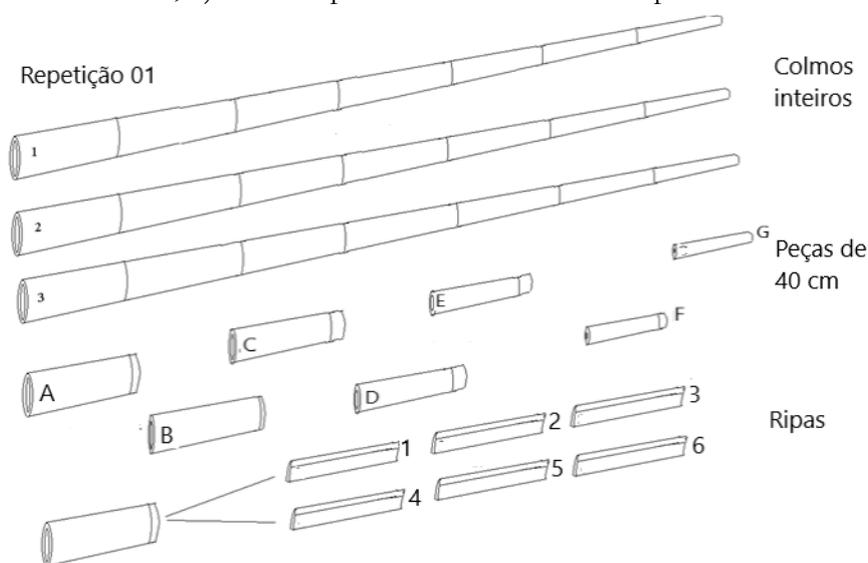


Figura 2. Representação de uma repetição com três colmos inteiros (1, 2 e 3), a divisão de cada colmo em peças de 40 cm A, B, C, D, F e G e o corte de cada peça em ripas (1, 2, 3, 4, 5 e 6).

Ensaio

Para determinação da umidade e da densidade foram retiradas amostras aproximadamente de 2 cm de comprimento cortadas na extremidade das ripas e seguidos os protocolos da norma NBR 7190 (ABNTa, 1997). Para a determinação da densidade do granel determinou-se a massa e o volume de ripas com dimensões variadas, empilhadas com auxílio de um gabarito. Após a moagem e classificação do bambu, determinou-se o poder calorífico superior com base na norma NBR 8633 (ABNT, 1984), o poder calorífico inferior (PCI em kcal kg⁻¹) conforme Equação 01, poder calorífico útil (PCU em kcal kg⁻¹)

conforme Equação 02, densidade energética sólida (DE_s em kcal m^{-3}) conforme Equação 03 e densidade energética do granel (DE_g em kcal m^{-3}) conforme Equação 04. A análise imediata foi realizada conforme as normas ISO 18122:2015 para teor de cinzas e ISO 18123:2015 para teor de matérias voláteis. O teor de carbono fixo em base seca foi calculado por diferença conforme a Equação 05.

$$PCI = PCS - 600(9h/100) \quad \text{onde } h - \text{teor de hidrogênio em base seca (\%)} \quad \text{Equação 01}$$

$$PCU = PCI(1-U) - 600U \quad \text{onde } U - \text{teor de umidade em base úmida (\%)} \quad \text{Equação 02}$$

$$De_s = PCU \times \rho_s \quad \text{onde } \rho_u - \text{densidade sólida} \quad \text{Equação 03}$$

$$De_g = PCU \times \rho_g \quad \text{onde } \rho_g - \text{densidade do granel} \quad \text{Equação 04}$$

$$CF = 100 - (CZ - MV) \quad \text{onde } CZ - \text{cinzas, } MV - \text{material volátil} \quad \text{Equação 05}$$

Briquetagem

Os briquetes foram produzidos a partir de amostras de 40 gramas de material moído em moinho de facas com granulometria abaixo de 40mesh. Utilizou-se uma briquetadeira de laboratório da marca LIPPEL e as amostras foram submetidas a uma pressão de 80 kgf cm^{-2} durante 5 minutos e a uma temperatura de $120 \text{ }^\circ\text{C}$, com resfriamento de 15 minutos. Foram produzidos 20 briquetes para cada repetição, perfazendo um total de 60 briquetes por tratamento. Os briquetes foram colocados em bancadas de laboratório para resfriamento e homogeneização da umidade, quando então foi determinada a densidade sólida e a umidade conforme a norma NBR 7190 (ABNTa, 1997). Para determinação da densidade do granel obteve-se a massa de briquetes colocada em um cilindro de alumínio com diâmetro e altura iguais a 15 cm. O material remanescente foi moído em moinho de facas com granulometria abaixo de 60 mesh, para os ensaios de análise imediata e poder calorífico superior, conforme descrito para material *in natura*.

Peletização

Uma carga de 5 kg da biomassa moída e classificada abaixo de 40 mesh foi utilizada para produção dos *pellets* de bambu em peletizadora da marca ENGMAQ. Por atrito a temperatura eleva-se a, aproximadamente, $90 \text{ }^\circ\text{C}$, suficiente para que a biomassa alcance o estágio vítreo da lignina, condição ideal para agregar as partículas e, após a produção, os *pellets* foram colocados em bancadas para resfriamento e endurecimento. Para determinar a umidade e a densidade sólida baseou-se na norma NBR 7190 (ABNTa, 1997), a partir de 50 unidades de *pellets* escolhidos ao acaso. Para determinação da densidade do granel obteve-se a massa de *pellets* colocados em um cilindro de alumínio com diâmetro e altura iguais a 15 cm. O material remanescente foi moído em moinho de facas com granulometria abaixo de 60 mesh, para os ensaios de análise imediata e poder calorífico superior, conforme descrito para material *in natura*.

Torrefação

As torrefações foram realizadas em um módulo composto por uma estufa adaptada, uma balança e um sistema de exaustão dos gases. A torrefação foi feita conforme protocolo do Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro em reator microcontrolado, com temperatura máxima de 220 °C, em patamar de 60 minutos, tempo total de torrefação de 140 minutos, a taxa de 3 °C min⁻¹. Após a torrefação determinou-se a densidade das ripas na condição de 0% de umidade com base na norma NBR 7190 (ABNTa, 1997). O material remanescente foi moído em moinho de facas com granulometria abaixo de 60 mesh, para os ensaios de análise imediata e poder calorífico superior, conforme descrito para material *in natura*. A determinação da densidade do granel seguiu as orientações do bambu *in natura*.

Carbonização

A carbonização foi realizada em forno mufla de laboratório submetendo uma carga média de 6 kg de bambu (ripas) na seguinte sequência de temperatura: rampa de 10 minutos a 100 °C e mais 50 minutos para atingir 450 °C, patamar de 240 minutos a 450 °C e rampa de resfriamento de 60 minutos. A densidade energética foi determinada conforme descrito anteriormente. A determinação da densidade do granel seguiu as orientações do bambu *in natura*.

Análise estatística

O delineamento considerado foi o inteiramente ao acaso e a análise estatística foi realizada para a conversão mecânica, entre os tratamentos: *in natura*, briquetes e *pellets*; e para a conversão térmica, entre os tratamentos: *in natura*, material torreficado e carvão vegetal., com 3 repetições. Os tratamentos foram comparados entre si pela análise de variância (ANOVA) e, em caso de diferença significativa a 5% de probabilidade, as médias foram analisadas pelo teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização dos combustíveis

Na Figura 3 estão apresentadas as biomassas de *Bambusa vulgaris* variedade *vittata*: colmos *in natura*, briquetes, *pellets*, material torreficado e carvão vegetal



Figura 3. *Bambusa vulgaris* var. *vittata* na forma *in natura* e transformados em briquetes, *pellets*, material torreficado e carvão vegetal (Fonte: os autores, 2019).

Análise dos combustíveis sólidos a 0% de umidade

Em geral as espécies de bambus apresentam densidade crescente no sentido longitudinal da base para o topo e no sentido transversal das partes internas para a externa do colmo em função da diferença estrutural entre as diversas camadas do colmo. Na base do colmo assim como nas camadas mais internas, ocorre maior quantidade de tecido parenquimatoso e menor quantidade de fibras. Em função deste arranjo anatômico o *Bambusa vulgaris* var. *vittata* apresentou densidade média a 0% de umidade de 680 kg m⁻³ (Tabela 1).

Tabela 1. Características dos colmos do *Bambusa vulgaris* var. *vittata* na forma *in natura* e transformados em briquete, *pellets*, material torreficado e carvão vegetal. $Q_{0\%}$ - densidade sólida a 0% de umidade, PCS – poder calorífico superior, $De_{0\%}$ - densidade energética a 0% de umidade ($Q_{0\%} \times PCS$), MV – matérias voláteis, Cz – cinzas, CF – carbono fixo.

Tratamento	$Q_{0\%}$	PCS	$De_{0\%}$	Análise imediata (%)		
	kg m ⁻³	kcal kg ⁻¹)	Mcal m ⁻³	MV	Cz	CF
<i>In natura</i>	680	4.545	3.091	82,61	2,41	14,99
Briquetes	1.175	4.599	5.403	82,61	2,41	14,99
<i>Pellets</i>	1.266	4.593	5.814	82,61	2,41	14,99
Torrificada	751	4.830	3.629	76,43	2,08	21,48
Carvão	350	7.234	2.535	14,92	6,62	78,47

Para a biomassa *in natura*, o valor do poder calorífico superior ficou abaixo do encontrado por Santos et al. (2016) (4.662 kcal kg⁻¹) e Brito et al. (1987) (4.750 kcal kg⁻¹), provavelmente porque os autores trabalharam com colmos maduros de 5 anos e entre 3 e 4 anos, respectivamente, ao contrário deste trabalho em que se trabalhou com uma mistura de colmos jovens e maduros. Comparando com outras espécies o poder calorífico superior da biomassa *in natura* ficou acima dos 4.100 kcal kg⁻¹ encontrado por Hernández Mena (2014) para *Dendrocalamus giganteus* e semelhantes aos valores de 4.515 kcal kg⁻¹ e 4.526 kcal kg⁻¹ encontrados por Santos et al. (2016) para *Bambusa tuldoides* e *Dendrocalamus asper*, respectivamente.

Dahal et al. (2020) mencionam que o poder calorífico determinado para *Bambusa balcooa* ($4.352 \text{ kcal kg}^{-1}$) é consideravelmente superior ao poder calorífico de relevantes resíduos agrícolas como a cultura de arroz, algodão e milho, bem como de biomassas aquáticas como algas *Cladophora* e *Gracilaria* e o sargaço.

Quanto à análise imediata, o teor de cinzas foi semelhante ao teor de 2,5% encontrado por Sette Jr. et al. (2016), porém diferiram os teores de voláteis e carbono fixo, 74,7% e 22,8% respectivamente. Essa diferença pode ter ocorrido devido a seleção e preparo das amostras, onde o referido estudo utilizou apenas indivíduos de 5 anos e amostras de uma posição axial específica em torno de 1,30 m de altura do solo. O teor de voláteis encontrado neste estudo se aproxima do teor de 81% obtido por Makwarela et al. (2016) para amostras de *Bambusa balcooa* de 1 ano de idade.

O aumento da densidade energética a 0% de umidade ($De_{0\%}$) para o material briquetado ($5.403 \text{ Mcal m}^{-3}$) e peletizado ($5.814 \text{ Mcal m}^{-3}$) em relação ao material *in natura* ($3.091 \text{ Mcal m}^{-3}$), se deve ao aumento da densidade sólida a 0% de umidade ($D_{0\%}$), tanto na briquetagem quanto na peletização, uma vez que não houve diferença significativa entre os poderes caloríficos superiores para os três tratamentos (Tabela 4). Santos et al. (2016) trabalhando com o potencial energético de bambus concluíram que o valor da densidade energética do *Bambusa vulgaris* var *vittata* é semelhante àquele do *Eucalyptus urograndis*. Sette Jr et al. (2016) obtiveram valores mais elevados de densidade energética para *pellets* de *Bambusa vulgaris*, $6,46 \text{ Gcal kg}^{-1}$, diferença explicada pela maior densidade sólida observada nos *pellets*, de 1.380 kg m^{-3} , provavelmente resultado de diferenças de processo e pré-tratamento da peletização. Nesse estudo, à exceção do teor de cinzas, os *pellets* de *Bambusa vulgaris* superaram os parâmetros dos *pellets* de *Eucalyptus urograndis* para uso energético.

Diferentemente do processo mecânico de conversão da biomassa, os processos térmicos como a torrefação e a carbonização aqui considerados, não promoveram ganhos nas qualidades energéticas da biomassa sob o ponto de vista da densidade energética. A carbonização tem como objetivo principal a concentração de carbono, como pode ser observado na Tabela 2, com um expressivo aumento de 423,48%, o que é importante nos processos siderúrgicos onde o carvão entra como termorredutor, como no caso da produção de ferro gusa ou como redutor nas reações de formação de outros metais. Em consequência do aumento do teor de carbono fixo, o carvão apresenta um ganho em poder calorífico da ordem de 59,16% (Tabela 2). O poder calorífico foi semelhante a $7.210 \text{ kcal kg}^{-1}$ e $7.227 \text{ kcal kg}^{-1}$ obtido por Makwarela et al. (2017) para amostras de *Bambusa balcooa* de 3 e 4 anos respectivamente, carbonizadas a $400 \text{ }^\circ\text{C}$. Do ponto de vista da densidade energética, transformar biomassa em carvão provoca uma diminuição da densidade sólida, que neste trabalho foi de 48,53%, suficiente para reduzir a densidade energética sólida em 17,99%.

Observa-se pela Tabela 2 que as conversões mecânicas (briquetagem e peletização) contribuíram mais para o ganho energético dos produtos gerados em relação às conversões térmicas (Tabela 3).

Tabela 2. Variação percentual nas propriedades de briquete, *pellets*, bambu torreficado e carvão de *Bambusa vulgaris* var. *vittata* em relação à condição *in natura* (%).

Tratamento	Variação percentual (%)					
	$\rho_{0\%}$	PCS	De $_{0\%}$	MV	Cz	CF
Briquete	72,79	1,19	74,78	0,00	0,00	0,00
<i>Pellets</i>	86,18	1,06	88,10	0,00	0,00	0,00
Torrificado	10,44	6,27	17,39	-7,48	-13,69	43,30
Carvão	-48,53	59,16	-17,99	-81,94	174,27	423,48

Dentre as duas conversões térmicas consideradas, apenas a torrefação contribuiu para o incremento da densidade energética, mas muito aquém do que se observou para as conversões mecânicas. Houve um ganho de 10,44% na densidade sólida a 0% de umidade e de 6,27% no poder calorífico, o que evidencia o incremento na densidade como o principal fator no aumento de 17,39% na densidade energética. Porém, em algumas situações específicas, o alto teor de carbono fixo do carvão é mais desejável para uso energético, como em sistemas de cogeração com carvão mineral. Makwarella, et al. (2017), ao comparar a espécie *Bambusa balcooa in natura*, torreficada a 250 °C e 280 °C e carbonizada a 350 °C e 400 °C, concluíram que o carvão de bambu apresentou desempenho superior aos tratamentos *in natura* e torreficados no contexto de cogeração com carvão mineral., especialmente a 400 °C e das amostras de 4 anos de idade, com desempenho superior ao das amostras mais jovens.

A análise dos valores de “F” da Tabela 3 para densidade sólida, poder calorífico superior e densidade energética a 0% de umidade, mostram que houve diferença significativa a 5% de probabilidade para todas as variáveis analisadas. Na Tabela 4 constam os valores médios das variáveis estudadas e os resultados do Teste de médias de Tukey para estas variáveis.

Tabela 3. Valores de “F” para densidade sólida ($\rho_{0\%}$), poder calorífico superior (PCS) e densidade energética sólida a 0% de umidade (De $_{0\%}$) entre os tratamentos.

FV	GL	Valores de “F”		
		$\rho_{0\%}$	PCS	De $_{0\%}$
Tratamento	4			
Resíduo	10	389,63*	106,94*	194,67*
Total	14			

*significativo a 5% de probabilidade

Observa-se que não há diferença significativa entre os tratamentos *in natura*, briquetagem, peletização e torrefação para a variável poder calorífico superior. A peletização e a briquetagem foram os processos de conversão mais eficientes, com uma ligeira vantagem da peletização, principalmente quanto à densidade sólida a 0%, onde houve diferença significativa a 5% de probabilidade. A carbonização foi o processo estatisticamente diferente dos demais, sobressaindo para a variável poder calorífico superior com um valor 59,16% maior que a condição *in natura*.

Tabela 4. Teste de Tukey para as variáveis analisadas.

Tratamento	D0% kg m ⁻³	PCS kcal kg ⁻¹	De0% kcal m ⁻³
In natura	680 c	4.545 b	3.091.147 c
Briquete	1.175 b	4.599 b	5.402.659 a
<i>Pellets</i>	1.266 a	4.593 b	5.814.396 a
Torrificada	751 c	4.830 b	3.628.674 b
Carvão	350 d	7.234 a	2.534.917 d

Análise do bambu, briquete e pellets considerando a umidade de utilização

Não se consome biomassa energética a 0% de umidade e sim na condição de umidade em que ela se encontra, que por sua vez depende do processo de secagem (resíduos *in natura* e madeira) ou do processo de produção (*pellets*, briquetes e biomassa torrificada). O volume considerado não é o sólido e sim o volume do granel (*pellets*, briquetes e biomassa torrificada) ou estéreo (madeira) e ambos dependem das dimensões e forma do combustível.

Neste trabalho utilizou-se ripas com dimensões que variaram entre 1x0,5x30cm a 7x1x30cm (largura x espessura x comprimento) para biomassa *in natura* e torrificada e cilindros para briquetes e *pellets* cujos diâmetros foram, respectivamente, 3,27cm e 6,04mm e o comprimento, 3,62cm e 24,43mm, respectivamente.

Com estas considerações na Tabela 5 estão, em última análise, as densidades sólidas e energéticas do bambu *in natura*, briquetado e peletizado na umidade de consumo.

Tabela 5. Características dos colmos do *Bambusa vulgaris* var. *vittata* na forma *in natura* e transformados em briquete e *pellets* úmidos.

Tratamento	Teor de umidade (%)	Densidade úmida kg m ⁻³		PCU kcal kg ⁻¹	Densidade energética Mcal m ⁻³	
		Sólida (qs)	Granel (qg)		De _s	De _g
<i>In natura</i>	10	893	362	3.717	3.318	1.345
Briquetes	8	1.241	518	3.902	4.843	2.020
<i>Pellets</i>	5	1.288	525	4.020	5.182	2.112

A conversão mecânica, além de comprimir a biomassa, provoca uma perda de umidade devido à elevação da temperatura envolvida no processo, e, portanto, resulta em aumento do poder calorífico útil, com reflexo direto na densidade energética. Na prática a combustão da biomassa em fornalhas, lareiras, fogões e similares se faz com o carregamento na forma de granel, ou seja, considerando os espaços vazios entre as peças em serviço e a presença de umidade. Portanto deve-se considerar a densidade energética do granel, que neste caso corresponde a cerca de 40% da densidade sólida na mesma umidade (Tabela 5), para os cálculos de balanço de massa.

Com os processos briquetagem e peletização há um aumento significativo a 5% de probabilidade nos valores da densidade do granel de 43,09% e 45,03% respectivamente, com reflexo direto na densidade energética, com ganhos de 50,00% e 56,85%, respectivamente. Os tratamentos briquetagem e peletização não diferem significativamente entre si, para ambos os parâmetros.

CONCLUSÕES

As análises realizadas permitem concluir que:

- O *Bambusa vulgaris* var. *vittata* tem potencial de uso como biomassa energética tanto na forma *in natura* quanto transformada em briquete, *pellet*, material torreficado e carvão vegetal., apresentando poder calorífico mais elevado que os principais resíduos agrícolas
- A biomassa de *Bambusa vulgaris* var. *vittata* apresentou bons parâmetros energéticos ao ser transformada por métodos mecânicos ou térmicos.
- Os ganhos em densidade energética são maiores para os produtos da conversão mecânica, tanto com a peletização quanto a briquetagem.
- Os conversores térmicos propiciam ganhos em poder calorífico e carbono fixo tanto para o material torreficado em menor escala, quanto para o carvão vegetal.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Pesquisa de Fibras Naturais e Bambu (CPAB) pelo financiamento desta pesquisa dentro do Edital nº01/2018 CPAB/UnB e ao Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro, onde foram realizadas alguns dos ensaios deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brasil (1984). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8633: Carvão vegetal – Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.
- Brasil (1997). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro. 107p.
- Brito JO et al. (1987). Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. IPEF, 36(1): 13-17.
- Chen WH et al. (2015). A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44: 847-866.
- Dahal. RK et al. (2020). A study on potential recovery of energy and value-added chemicals from in-situ pyrolysis of *Bambusa balcooa* over basic metal oxides. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 147: 104801.
- EMBRAPA (2018) – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Visão 2030: O futuro da agricultura brasileira. Brasília. 212p.

- EPE (2020) – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2020, Ano base 2019. Rio de Janeiro. 292p.
- Greco, TM. et al. (2011) Bambu – cultivo e manejo. Insular: Florianópolis.184p.
- Hernández-Mena LE et al. (2014). Slow pyrolysis of bamboo biomass: analysis of biochar properties. Chemical Engineering Transactions, 37: 115-120.
- IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório anual 2017. São Paulo, 2017
- IEA – (2019). Internacional Energy Agency. Renewables 2019. Paris. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/renewables-2019>>. Acesso em: 26/08/2020.
- IEA – (2020). Internacional Energy Agency. World Energy Balances: Overview. 2020. Paris. Disponível em:< <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=WORLD> >. Acesso em: <26/08/2020>
- IMBAR, (2015). International network for bamboo and rattan. Evaluation of Bamboo Resources in Latin America, 2015. Disponível em: < <http://www.inbar.int/#1>>. Acesso em: 01/04/2017.
- ISO (2015a) International Organization for Standardization. ISO 18123:2015: Solid Biofuels - Determination of the content of volatile matter. Genebra.
- ISO (2015b). International Organization for Standardization. ISO 18122:2015: Solid Biofuels - Determination of ash content. Genebra.
- Kaliyan N, Morey RV (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products. Biomass and Bioenergy, 33(3): 337-359.
- Lee et al. (2014) Development of a hollow cylinder test for the elastic modulus distribution and the ultimate strength of bamboo. Construction & building materials, 51: 235–243.
- Makwarela MO et al. (2017). Co-firing combustion characteristics of different ages of *Bambusa balcooa* relative to a high ash coal. Renewable Energy, 105: 656-664.
- Mota IO et al. (2017). Estudo das propriedades físicas e mecânicas do bambu brasileiro (*Bambusa vulgaris vittata*) para aplicação na construção de sistemas hidráulicos alternativos de distribuição de água à baixa pressão. REA – Revista de estudos ambientais (Online), 19 (1): 18-26.
- Rodrigues TO, Rousset PLA (2010). Effects of torrefaction on energy properties of *Eucalyptus grandis* wood. CERNE, 15: 446-452.
- Santos DRS et al. (2016). Potencial de espécies de Bambu como fonte energética. Sci. Flor, 44 (111): 751-758.
- Sette CR et al. (2016). Production and Characterization of Bamboo Pellets. Bioscience Journal., 32(4): 922-930.
- Shanmughavel P et al (2001). Biomass production in an age series of *Bambusa bambos* plantations. Biomass and Bioenergy, 20(2): 113-117.
- Vale AT et al. (2017). Avaliação do pontecial energético de *Bambusa vulgaris* em função da idade. Floresta e Ambiente, 24: 1-9.

ÍNDICE REMISSIVO

B

Bambu, 7, 16
Briquetagem, 10

C

Capsicum annum L., 99
Capsicum spp, 39, 40, 48
Carbonização, 11

Ch

chuva, 27, 33, 35, 37

G

Geógrafo, 124
Geoprocessamento, 135

H

herbicida, 5, 32, 33, 34, 35, 36, 37

L

lixiviação, 5, 27, 33, 35, 36, 37
Luffa cylindrica, 54

M

Morfologia, 66
Moringa, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81

P

Peletização, 10
perfil do solo, 35, 36, 37
Potássio, 23, 24, 26
produtividade, 28

T

torrefação, 11, 18
Trichoderma, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61

Z

Zea mays, 110, 112, 113, 114

SOBRE OS ORGANIZADORES



  **Alan Mario Zuffo**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (2010) na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Mestre (2013) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal do Piauí (UFPI). Doutor (2016) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Pós - Doutorado (2018) em Agronomia na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Atualmente, possui 162 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 124 resumos simples/expandidos, 61 organizações de e-books, 37 capítulos de e-books. É editor chefe da Pantanal editora e revisor de 18 revistas nacionais e internacionais. Contato: alan_zuffo@hotmail.com.



  **Jorge González Aguilera**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (1996) na Universidad de Granma (UG), Bayamo, Cuba. Especialista em Biotecnologia (2002) pela Universidad de Oriente (UO), Santiago de Cuba, Cuba. Mestre (2007) em Fitotecnia na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Doutor (2011) em Genética e Melhoramento de Plantas na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Pós - Doutorado (2016) em Genética e Melhoramento de Plantas na EMBRAPA Trigo, Rio Grande do Sul, Brasil. Professor Visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no campus Chapadão do Sul (CPCS), MS, Brasil. Atualmente, possui 66 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 29 resumos simples/expandidos, 42 organizações de e-books, 30 capítulos de e-books. É editor da Pantanal Editora e da Revista Agrária Acadêmica, e revisor de 19 revistas nacionais e internacionais. Contato: j51173@yahoo.com, jorge.aguilera@ufms.br.



ISBN 978-658146004-4



9

786581

460044

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

contato@editorapantanal.com.br