

Potencial energético da madeira de clones de eucalipto em diferentes espaçamentos
Energetic potential of eucalyptus clones wood in different planting spacing
Potencial energético de madera de clones de eucalipto em diferentes espacios

Recebido: 16/04/2020 | Revisado: 20/04/2020 | Aceito: 25/04/2020 | Publicado: 25/04/2020

Elaine Cristina Teixeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6056-9536>

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: elaine_cristinateixeira@hotmail.com

Ana Paula Leite de Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6442-2734>

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: paula.leite@ufms.br

Sebastião Ferreira de Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5693-912X>

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: sebastiao.lima@ufms.br

Deborah Nava Soratto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9174-0965>

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: deborah.soratto@ufms.br

Kattyane Vieira Ramos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9350-232X>

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: kattyane23@gmail.com

Wesley Gomes da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2141-0618>

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: Wesley_gomes00@hotmail.com

Resumo

Com o objetivo de avaliar o potencial energético da madeira de três clones de eucalipto em diferentes espaçamentos de plantio, foi instalado um experimento com delineamento em

blocos casualizados em esquema fatorial, uma combinação de seis espaçamentos (2,5 x 0,5 m; 2,5 x 1,0 m; 2,5 x 2,0 m; 3,0 x 0,5 m; 3,0 x 1,0 m e 3,0 x 2,0 m) e três clones de eucalipto (GG 157, GG 680 e GG 100), com três repetições. Aos 32 meses de idade, foi selecionada e abatida uma árvore de diâmetro médio por parcela. Estas árvores foram cubadas pelo método de Smalian, utilizando-se seções de 2,0 m a partir do DAP. Nestas seções foram retirados discos de madeira com 5,0 cm de espessura, que foram utilizadas para a realização das análises de densidade básica e poder calorífico da madeira e, com base nesses valores, foi possível estimar a quantidade de energia estocada por m³. Observou-se que a densidade básica da madeira, o poder calorífico superior e a energia armazenada na madeira de eucalipto variaram com os clones e os espaçamentos de plantio. A densidade básica e a quantidade de energia armazenada em um metro cúbico de madeira de eucalipto tenderam a aumentar com o espaçamento de plantio, principalmente para os clones GG 680 e GG100. O poder calorífico superior da madeira não mostrou relação direta com a densidade de plantio.

Palavras-chave: Bioenergia; Florestas energéticas; Qualidade da madeira.

Abstract

Aiming to evaluate the potential wood energy of three clones of eucalyptus in different planting spacings, was installed an experiment with a randomized block design in a factorial design, with a combination of six spacings (2,5 x 0,5 m; 2,5 x 1,0 m; 2,5 x 2,0 m; 3,0 x 0,5 m; 3,0 x 1,0 m e 3,0 x 2,0 m) three eucalyptus clones (GG 157, GG 680 e GG 100), with three replicates. At 32 months old, was selected and cut down a medium-diameter tree per plot. These trees were scaled by Smalian method, using sections from 2.0 m to DAP. On these sections were removed wooden disks with 5.0 cm thick, which were used for the analyzes of basic density and calorific value of wood and, based on these values, it was possible to estimate the amount of energy stored per m³. It was observed that the basic density of wood, the gross calorific power and the energy stored in eucalyptus wood were different with the clones and planting spacing. Basic density and the amount of energy stored in a cubic meter of eucalyptus wood tended to increase with in the planting spacing, mainly for GG 680 and GG100 clones. The superior gross calorific of the wood showed no direct relationship with the planting density.

Keywords: Bioenergy; Energy forests, Wood quality.

Resumen

Para evaluar el potencial energético de la madera de tres clones de eucalipto en diferentes espacios de siembra, se instaló un experimento con un diseño de bloques al azar en esquema factorial, una combinación de seis espacios (2.5 x 0.5 m; 2.5 x 1.0 m; 2.5 x 2.0 m; 3.0 x 0.5 m; 3.0 x 1.0 m y 3.0 x 2.0 m) y tres clones de eucalipto (GG 157, GG 680 y GG 100), con tres repeticiones. A los 32 meses de edad, se seleccionó un árbol de diámetro medio y se cortó por parcela. Estos árboles fueron cubicados por el método de Smalian, utilizando secciones de 2.0 m del DAP. En estas secciones, se retiraron discos de madera de 5.0 cm de espesor, que se utilizaron para llevar a cabo el análisis básico de densidad y valor calorífico de la madera y, en base a estos valores, fue posible estimar la cantidad de energía almacenada por m³. Se observó que la densidad básica de la madera, el mayor valor calorífico y la energía almacenada en la madera de eucalipto variaban con los clones y el espacio de siembra. La densidad básica y la cantidad de energía almacenada en un metro cúbico de madera de eucalipto tendieron a aumentar con el espacio de siembra, principalmente para los clones GG 680 y GG100. El valor calorífico superior de la madera no mostró una relación directa con la densidad de plantación.

Palabras clave: Bioenergía; Bosques energéticos; Calidad de madera.

1. Introdução

No setor florestal brasileiro, a cultura do eucalipto se destaca como fornecedora de matéria prima para as mais variadas finalidades, dentre elas destaca-se celulose, papel, carvão vegetal, madeira serrada e lenha (IBA, 2019). O sucesso dos plantios florestais com espécies do gênero *Eucalyptus* se deve ao seu rápido crescimento e sua boa adaptação às condições edafoclimáticas do país (Ferreira et al., 2017; Costa et al., 2019). Além disso, existe grande variabilidade nas características químicas, físicas e mecânicas da madeira entre as diferentes espécies, híbridos e clones desse gênero (Neves et al., 2011), o que permite que se selecione materiais genéticos mais adequados para cada finalidade.

A madeira, seja como lenha ou carvão vegetal, se configura como um combustível utilizado tanto para uso doméstico quanto o industrial (Santos, 2010), em caldeiras geradoras de vapor. E, atualmente, devido a pressão exercida pelos órgãos ambientais e a sociedade de modo geral, a utilização da biomassa para geração de energia se apresenta como uma tendência mundial, em razão da necessidade de redução do uso de derivados de fontes fósseis,

como forma de se reduzir as emissões de poluentes na atmosfera (Carneiro et al., 2014; Silva et al., 2015; Costa et al., 2019).

A implantação de florestas energéticas, cuja finalidade é a produção de biomassa para geração de energia, utilizando espaçamentos mais adensados e rotações mais curtas do que aquelas utilizadas em plantios convencionais (Guerra et al., 2012; Correa et al., 2020), cria uma possibilidade para aumentar a demanda de madeira para finalidades energéticas. Embora, uma crítica relacionada a esse tipo de manejo seja o possível exaurimento do solo (Viera e Schumacker, 2011).

O potencial energético da madeira é influenciado por fatores como o material genético, idade, local de plantio e interações entre esses fatores (Neves et al., 2011). Em florestas energéticas, tanto o material genético quanto o espaçamento de plantio podem interferir na qualidade da madeira (Magalhães et al., 2020), podendo, dentre outros, influenciar na densidade básica (Moulin et al., 2017) e no poder calorífico da madeira (Paulino, 2012).

Quando se considera a utilização da biomassa florestal para geração de energia, através da queima direta, prioriza-se o uso de madeiras com maior poder calorífico, pois essa propriedade está relacionada ao rendimento energético (Quirino et al., 2005), que por sua vez está relacionado à sua constituição química (Silva et al., 2015; Jesus et al., 2017). Além disso, a elevada densidade básica da madeira é um dos parâmetros de qualidade considerados relevantes para a geração de energia através da queima direta.

Quanto maior a densidade básica, maior é a quantidade de energia estocada por metro cúbico de madeira (Carneiro et al., 2014), ou seja, existe uma relação direta entre a densidade e a quantidade de energia produzida. Além disso, a idade também interfere na qualidade da madeira. Para Vital (1984), a densidade básica tende a aumentar com a idade da árvore, em razão do aumento de espessura da parede celular e da diminuição da largura da célula do lenho.

O espaçamento de plantio, embora possa interferir na qualidade da madeira, ainda requer estudos para comprovar a sua influência sobre estes parâmetros (Berger, 2000). Em idades jovens, variando de um a três anos, tanto Moulin et al. (2017) quanto Magalhães et al. (2020), encontraram maiores valores de densidade em espaçamentos maiores. No entanto, Sereghetti et al. (2015) não encontraram diferença na densidade da madeira de eucalipto, aos doze meses de idade, em função do espaçamento.

Com a alta demanda energética no Brasil, o eucalipto, com todo seu potencial produtivo, tem significativo valor e interesse a esse setor. No entanto, o tempo para obtenção

do produto comercial, a partir do ciclo convencional de cultivo é longo. Dessa forma, o manejo da floresta em curta rotação, baseado na mudança do espaçamento de cultivo e diferentes clones, pode proporcionar ganhos energéticos significativos.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial energético da madeira de três clones de eucalipto em diferentes espaçamentos de plantio.

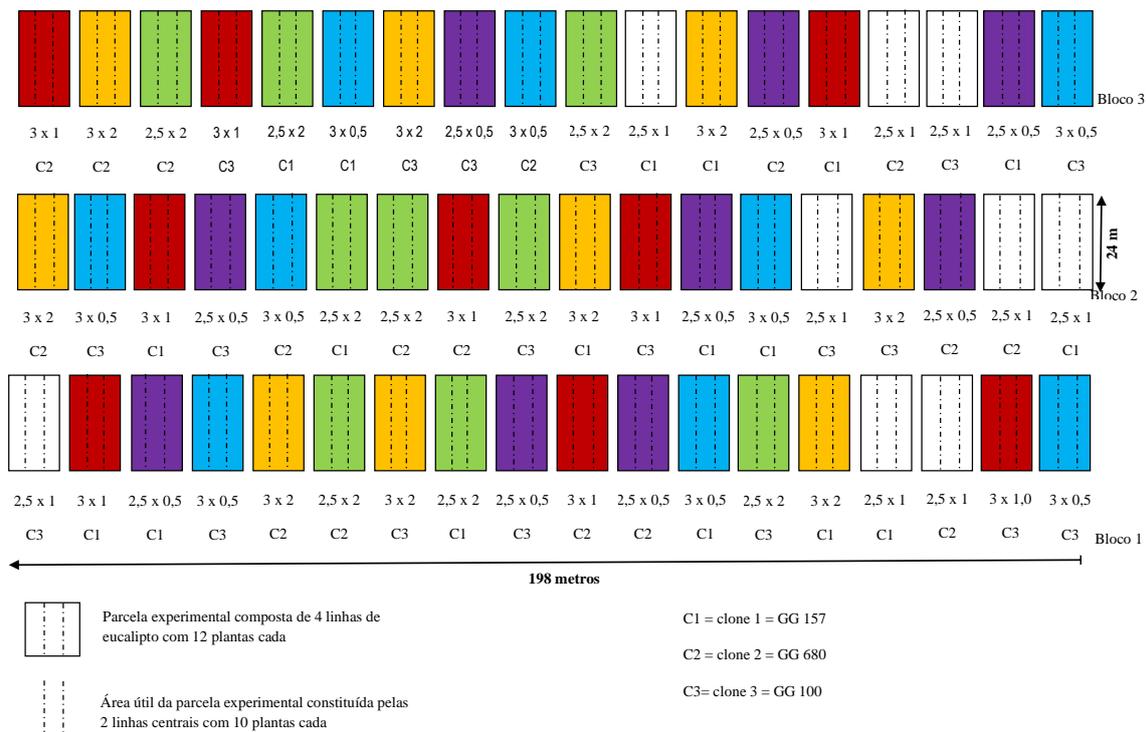
2. Metodologia

O experimento foi implantado em uma Fazenda comercial localizada no município de Chapadão do Sul, MS. A cobertura vegetal original do Município é de cerrado e campos limpos e a classe de solo predominante é o Latossolo Vermelho distrófico. O clima é, segundo Köppen, do tipo tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno e precipitação média anual de 1.850 mm, com a temperatura média anual variando de 13°C a 28°C (Cunha, Magalhães e Castro, 2013).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial, com uma combinação de seis espaçamentos e três clones de eucalipto, com três repetições. Os espaçamentos testados foram: 2,5 x 0,5 m; 2,5 x 1,0 m; 2,5 x 2,0 m; 3,0 x 0,5 m; 3,0 x 1,0 m e 3,0 x 2,0 m e, os clones estudados foram de dois híbridos de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* (GG 100 e GG 680) e um clone de *E. urophylla* (GG 157). Cada parcela experimental foi constituída por 4 linhas com 12 árvores cada, sendo a área útil constituída de 10 indivíduos de cada uma das duas linhas centrais.

O modelo das parcelas, com distribuição dos clones e espaçamentos dentro dos blocos, com distribuição da área útil e das árvores estão representados na Figura 1.

Figura 1. Esquema da distribuição dos tratamentos dentro da área de pesquisa, com três clones e seis espaçamentos.



Para a determinação da densidade básica da madeira foi realizado, primeiramente, o inventário das parcelas experimentais, quando foram mensurados o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP) e altura total de todas as árvores das parcelas. Com base nos dados coletados foi calculada e marcada, a árvore de diâmetro médio (Dg) por parcela. Em campo, a árvore Dg, de cada uma das 45 parcelas, foi abatida e cubada pelo método de Smalian. Durante a cubagem, as árvores foram medidas nas seguintes posições: na base, a 0,70 m, 1,30 m (DAP) e a partir desta seção, a cada dois metros de altura na árvore até a posição em que se identificasse um diâmetro de 5,0 cm com casca.

Cada tronco foi seccionado nas posições em que foram cubados e, destas posições, retirou-se discos de aproximadamente 5,0 cm de espessura. Os discos de cada árvore, devidamente identificados, foram encaminhados ao laboratório onde, cada disco foi seccionado quatro cunhas. De cada disco, foram selecionadas duas cunhas opostas que foram utilizadas para a determinação da densidade básica da madeira, conforme a norma da ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003). Para determinação da densidade básica da madeira, por árvore, foi feita a média das densidades obtidas de cada disco da árvore.

As demais cunhas de cada disco, por árvore, foram utilizadas para a obtenção do poder calorífico superior da madeira (PCS). Foram retiradas lascas de madeira de cada cunha, ao

longo da árvore, para compor uma amostra composta e homogeneizada, por árvore. Estas amostras foram moídas, peneiradas para a determinação do PCS, de acordo com a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 11956 (ABNT, 1990), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática.

Para cálculo da quantidade de energia por metro cúbico de madeira, expressa em kcal, multiplicou-se a massa seca da madeira (kg) obtida a partir do cálculo da densidade básica (kg m^{-3}) pelo seu poder calorífico superior (Equação 1):

$$\text{Energia} = \text{DB} \times \text{PCS} \quad (1)$$

Em que: Energia: energia por metro cúbico de madeira (kcal m^{-3}); DB: densidade básica da madeira (kg m^{-3}); e PCS: poder calorífico superior da madeira (kcal kg^{-1}).

Para conversão da energia em kcal m^{-3} para $\text{kW h}^{-1} \text{m}^{-3}$, adotou-se a metodologia descrita por Santos (2010).

As variáveis estudadas foram submetidas a análise de normalidade de resíduos e homogeneidade das variâncias. Os dois fatores experimentais (clone e espaçamento) foram tratados como qualitativos e, portanto, submetidos a análise de variância, utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade, para comparação entre as médias, utilizando o software estatístico Sisvar 5.6 (Ferreira, 2014).

3. Resultados e Discussão

Observa-se na Tabela 1 que houve efeito de clones e espaçamentos isoladamente ou em interação para as variáveis densidade básica, poder calorífico superior da madeira e energia. A partir desses resultados foi feito o desdobramento do fator clone dentro de espaçamento que se encontra representado nas Figuras 1, 2 e 3.

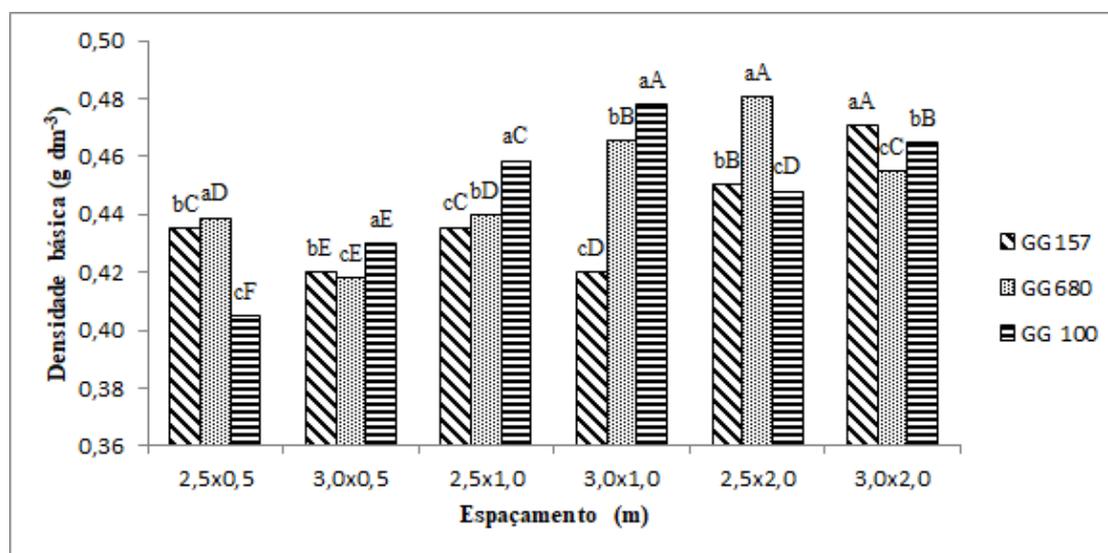
Tabela 1. Quadrado médio para densidade básica, poder calorífico superior (PCS) e energia da madeira em função do uso de diferentes clones e espaçamento para o eucalipto.

FV	GL	Quadrado médio		
		Densidade básica	PCS	Energia
Bloco	2	$4,06 \times 10^{-7}$	7,9074	488,2159
Clone (C)	2	0,0006**	599,1850**	11716,6557**
Espaçamento (E)	5	0,0028**	967,0851**	59799,7467**
C x E	10	0,0008**	854,2518**	16245,1796**
Erro	34	$2,02 \times 10^{-7}$	3,5937	240,2761
CV (%)		0,10	0,04	6,71
Média		0,4460	4643,6	2070,78

**significativo a ($P < 0,01$); CV= coeficiente de variação; FV= fonte de variação. Fonte: autores (2020).

A densidade básica da madeira, de modo geral, aumentou com o espaçamento de plantio (Figura 2). Em média, a densidade básica variou de $0,42 \text{ g cm}^{-3}$, para o espaçamento $3,0 \times 0,5 \text{ m}$ a $0,46 \text{ g cm}^{-3}$, para o espaçamento $3,0 \times 2,0 \text{ m}$.

Figura 2. Densidade básica da madeira, aos 32 meses de idade, de clones de eucalipto (GG 157, GG 680 e GG 100) em diferentes espaçamentos de plantio.



Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os espaçamentos de plantio e minúscula entre clones não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey. Fonte: Autores (2020).

Os valores de densidade básica da madeira, para os clones GG 157, GG 680 e GG 100 variaram de $0,42$ a $0,47 \text{ g cm}^{-3}$, $0,42$ a $0,48 \text{ g cm}^{-3}$ e $0,40$ a $0,48 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente. O clone GG 157 apresentou média de $0,44 \text{ g cm}^{-3}$, o GG 680 e o GG 100 apresentaram média de

0,45 g cm⁻³ (Figura 2). Carneiro et al. (2014), estudando os mesmos clones, plantados no espaçamento de 3,5 x 2,5 m, em diferentes idades, encontrou aos 36 meses, valores semelhantes aos encontrados no presente estudo (32 meses de idade). O autor verificou que a densidade básica média, dos três clones, foi de 0,46 g cm⁻³, sendo os valores médios de 0,45 g cm⁻³ para o GG 157, de 0,49 g cm⁻³ para o GG 680 e de 0,45 g cm⁻³, para o GG 100, ou seja, valores um pouco acima daqueles encontrados neste estudo, o que pode ser atribuída, em parte, ao espaçamento de plantio e à diferença da idade. De acordo com Vital (1984), a densidade básica da madeira tende a aumentar com a idade da árvore, devido ao aumento de espessura da parede celular e a diminuição da largura da célula do lenho.

Quando se observa o comportamento dos clones nos diferentes espaçamentos de plantio, verifica-se que para o GG 680, com exceção dos espaçamentos 2,5 x 0,5 m e 3,0 x 2,0 m, ocorreu o aumento da densidade da madeira com o espaçamento de plantio. Comportamento semelhante foi verificado para o clone GG 100, onde o aumento da área útil por planta proporcionou ganhos em densidade básica da madeira, exceto nos espaçamentos mais amplos (2,5 x 2,0 m e 3,0 x 2,0 m). Apenas para o clone GG 157, essa constatação não se mostrou tão evidente. Neste caso, apenas nos espaçamentos mais amplos (3,0 x 1,0 m; 2,5 x 2,0 m e 3,0 x 2,0 m), dentre os testados neste estudo, observou-se aumento da densidade básica com o espaçamento de plantio (Figura 2). Conforme revisado por Moulin et al. (2017), um fator que pode explicar a maior densidade da madeira em espaçamentos maiores é a alta competição pelos fatores de crescimento, que pode levar a obtenção de madeira menos densa. Segundo Malan e Hoon (1992), quando as árvores têm maior espaço para o seu crescimento, estas iniciam a formação de madeira adulta mais cedo e, conseqüentemente, alcançam maiores valores de densidade básica mais rapidamente.

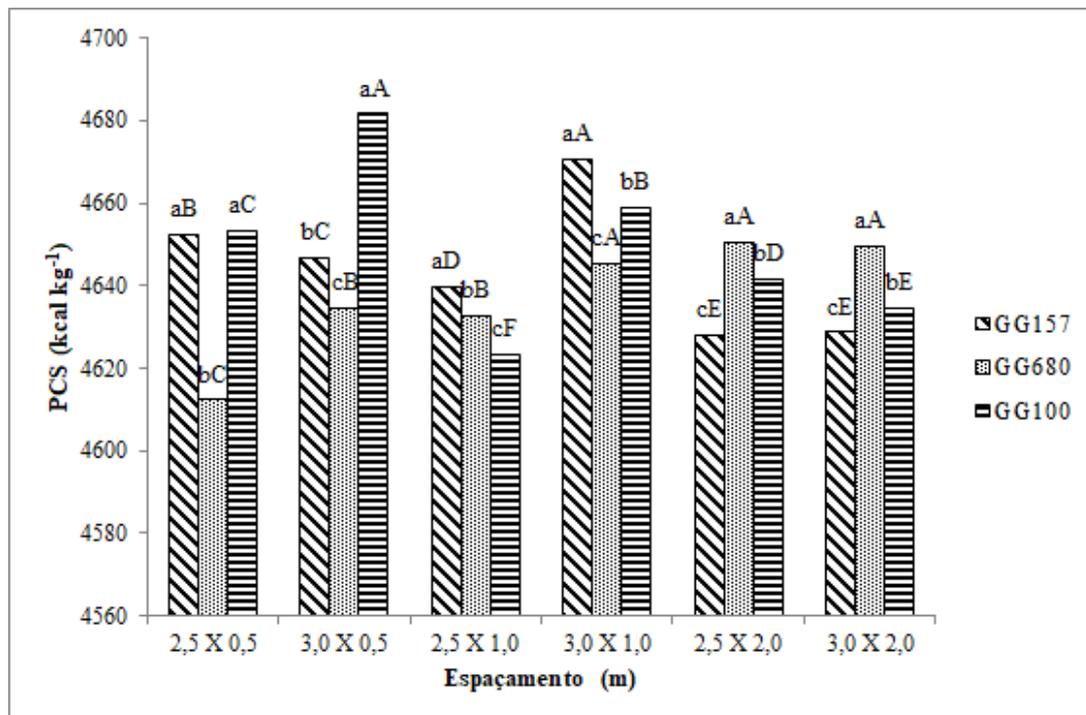
O comportamento dos clones dentro dos diferentes espaçamentos variou em função da densidade de plantio (Figura 2). Entre os clones estudados, o GG 157 somente obteve maior densidade básica da madeira, em comparação aos demais, no espaçamento mais amplo (0,47 g cm⁻³), ou seja, 3,3% superior ao GG 680 e GG 100, que obtiveram 0,45 e 0,46 g cm⁻³, respectivamente. O GG 680 apresentou maior densidade básica em relação aos demais, apenas nos espaçamentos 2,5 x 0,5 m e no 2,5 x 2,0 m, sendo, neste último, 6,7% superior aos outros clones estudados. Para o GG 100, observou-se sua superioridade nos espaçamentos 3,0 x 0,5 m, 2,5 x 1,0 m e 3,0 x 1,0 m. Conforme discutido por Santos et al. (2012), embora a densidade básica da madeira seja mais influenciada por fatores genéticos do que por aqueles ambientais, o ambiente também pode afetar as propriedades da madeira. Assim, como os espaçamentos testados disponibilizam diferenças tanto de espaço de crescimento como

também, de água, luz e nutrientes para o crescimento das árvores, isto pode ter interferido na resposta dos clones testados dentro de cada espaçamento.

O poder calorífico superior produzido, em média, pelos três clones estudados, foi de 4.644 kcal kg⁻¹ de madeira, sendo em média, 4.645 kcal kg⁻¹, 4.638 kcal kg⁻¹ e 4.649 kcal kg⁻¹ para os clones GG 157, GG 680 e GG 100 (Figura 2). Carneiro et al. (2014), estudando os mesmos clones, em espaçamento de 3,5 x 2,5 m, encontraram aos 36 meses de idade, um valor próximo de 4.620 kcal kg⁻¹, 4.580 kcal kg⁻¹ e 4.542 kcal kg⁻¹ de madeira, para os clones GG 157, GG 680 e GG 100, respectivamente.

Ao analisar o poder calorífico superior da madeira (PCS) nos clones estudados, observou-se que estes se comportaram de forma variável nos diferentes espaçamentos de plantio (Figura 3). Para o clone GG 157, o maior PCS foi observado no espaçamento 3,0 x 1,0 m, enquanto, os menores valores ocorreram nos maiores espaçamentos. Ainda para este clone, quando se avalia seu comportamento nos espaçamentos mais adensados, cuja área útil por planta variou de 1,25 a 2,5 m² planta⁻¹, notou-se uma redução do PCS com a ampliação do espaçamento. O mesmo foi observado para os espaçamentos que geram áreas úteis maiores que 3,0 m² planta⁻¹.

Figura 3. Poder calorífico superior da madeira, aos 32 meses de idade, de clones de eucalipto (GG 157, GG 680 e GG 100) em diferentes espaçamentos de plantio.



Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os espaçamentos de plantio e minúscula entre clones não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey. Fonte: Autores (2020).

O clone GG 680, de modo geral, apresentou maiores valores de PCS com o aumento do espaçamento. Porém, não foram observadas diferenças significativas entre os espaçamentos 3,0 x 1,0 m, 2,5 x 2,0 m e 3,0 x 2,0 m (Figura 3). Nos espaçamentos mais adensados o PCS foi mais baixo, sendo o menor valor observado no espaçamento de 2,5 x 0,5 m. Para o clone GG 100, com exceção para o espaçamento 3,0 x 0,5 m, notou-se uma tendência de redução do PCS com o aumento do espaçamento de plantio, sendo o maior valor observado no espaçamento 3,0 x 0,5 m.

Avaliando o PCS da madeira dos clones dentro de cada espaçamento de plantio (Figura 2), observou-se que, nos espaçamentos mais adensados 2,5 x 0,5 m e 3,0 x 0,5 m, os clones GG 100 e GG 157 foram superiores ao GG 680. Nos espaçamentos intermediários (2,5 x 1,0 m e 3,0 x 1,0 m), o GG 157 foi o que se destacou dos demais, enquanto, naqueles mais amplos (2,5 x 2,0 m e 3,0 x 2,0 m) o GG 680 foi aquele que apresentou os maiores valores de PCS. Isto demonstra que cada clone avaliado neste estudo, produz maiores valores de PCS dentro de uma faixa relativamente estreita de variação de área útil por planta.

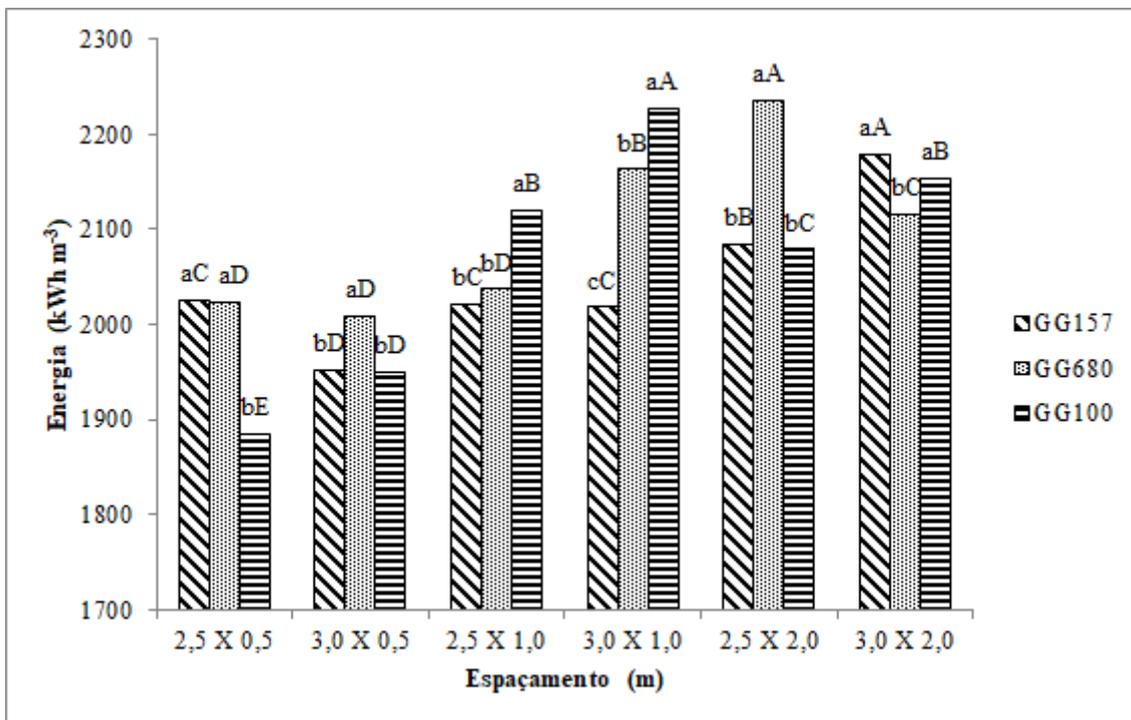
Ao analisar os resultados alcançados para densidade básica (Figura 2) e poder calorífico da madeira (Figura 2) para os três clones dentro do espaçamento, não se observou uma relação direta entre estes dois parâmetros. Esse resultado somente foi detectado nos espaçamentos 3,0 x 0,5 m e 2,5 x 2,0 m em que o clone que apresentou maior densidade básica também foi aquele que gerou maior PCS. Nos espaçamentos 2,5 x 1,0 m e 3,0 x 2,0 m o resultado foi inverso, onde o clone com a menor densidade básica foi o que apresentou maior PCS. Isso pode indicar que outras características influenciam no PCS da madeira. Embora madeiras com maior densidade básica resultem em maior concentração de massa por volume (Santos et al., 2012) e, a densidade está diretamente relacionada a produção de energia, Carneiro et al. (2017) não encontraram correlação significativa entre densidade básica da madeira e PCS.

Os valores de energia da madeira produzidos pelos clones variaram de 1.952 a 2.179 kW h m⁻³ para o GG 157, de 2.008 a 2.236 kW h m⁻³ para o GG 680 e de 1.884 a 2.227 kW h m⁻³ para o GG 100 (Figura 3). Rocha et al. (2016) encontraram para um clone de *E. grandis* × *E. camaldulensis*, valores médios próximos aos encontrados neste trabalho, com valores variando de 1.821 kW h m⁻³ a 2.464 kW h m⁻³ de madeira.

A quantidade de energia armazenada em um metro cúbico de madeira de eucalipto, para os clones estudados, de modo geral, apresentou comportamento semelhante ao observado para a densidade básica, aumentando com o espaçamento (Figura 4). De acordo com Carneiro et al. (2014), a densidade básica da madeira é um parâmetro diretamente relacionado com a

produção de energia da madeira, sendo que, quanto maior a densidade básica da madeira, maior a produção de energia estocada por metro cúbico.

Figura 4. Energia da madeira, aos 32 meses de idade, de clones de eucalipto (GG 157, GG 680 e GG 100) em diferentes espaçamentos de plantio.



Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os espaçamentos de plantio e minúscula entre clones não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey. Fonte: Autores (2020).

A maior quantidade de energia armazenada foi verificada para o GG 680, no espaçamento de 2,5 x 2,0 m (2.236 kW h m⁻³). O GG 157 teve melhor resultado no espaçamento de 3,0 x 2,0 m (2.179 kW h m⁻³) e o clone GG 100 se destacou mais no espaçamento de 3,0 x 1,0 m (2.227 KW h m⁻³). Carneiro et al. (2014), estudando os mesmos clones, porém em espaçamento mais amplo (3,5 x 2,5 m) encontraram resultados ligeiramente mais elevados, onde o clone GG 680 obteve valores superiores entre os materiais, apresentando um valor próximo de 2.594 kW h m⁻³, aos 36 meses. Essa comparação parece indicar que além da idade interferir no resultado, o espaçamento também pode ser responsável por essa diferença observada entre os dois estudos.

4. Considerações Finais

A densidade básica da madeira, o poder calorífico superior e a energia armazenada na madeira de eucalipto, aos 32 meses de idade, variaram com os clones e os espaçamentos de plantio.

A densidade básica tendeu a aumentar com o espaçamento de plantio, principalmente para os clones GG 680 e GG 100.

O poder calorífico superior da madeira não mostrou relação direta com a área útil das árvores. Cada clone teve o incremento de poder calorífico superior em determinadas amplitudes de variação de espaçamento, sendo o GG 100 melhor nos espaçamentos mais adensados, o GG 157 nos espaçamentos intermediários e o GG 680 nos espaçamentos mais amplos.

A quantidade de energia armazenada em um metro cúbico de madeira de eucalipto aumentou com o espaçamento de plantio.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (1990). NBR 11956: *Coque: Determinação do poder calorífico superior*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2003). NBR 11941: *Madeira: Determinação da densidade básica*. Rio de Janeiro.

Berger, R. (2000). *Crescimento e qualidade da madeira de um clone de Eucalyptus saligna Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização*. Universidade Federal de Santa Maria (Mestrado em Engenharia Florestal).

Carneiro, A. C. O., Castro, A. F. N. M., Castro, R. V. O., Santos, R. C., Ferreira, R. P., Damásio, R. A. P. & Vital, B. R. (2014). Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. *Revista Árvore*, 38(2), 375-381.

Carneiro, A. C. O., Vital, B. R., Frederico, P. G. U., Figueiró, C. G., Fialho, L. F. & Silva, C. M. S. (2017). Caracterização energética das madeiras de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes localidades. *Ciência da Madeira*, 8(3): 127-135.

Correa, A. P. M., Lima, A. P. L., Lima, S. F., Silva, W. G., Stolle, L. & Silva, A. A. P. (2020). *Research, Society and Development*, 9(6): e49963404.

Costa, E. V. S., Pereira, M. P. de C. F., Silva, C. M. S., Pereira, B. L. C., Rocha, M. F. V. & Carneiro, A. C. O. (2019). Torrefied briquettes of sugar cane bagasse and Eucalyptus. *Revista Árvore*. 43(1): e430101.

Cunha, F. F., Magalhães, F. F., & Castro, M. A. (2013) Métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul-MS. *Engenharia na Agricultura*, 21(2), 159-172.

Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*. 38(2): 109-112.

Ferreira, D. H. A. A., Leles, P. S. S., Oliveira Neto, S. N., Paula, T. R., Coutinho, R. P. & Silva, R. L. (2017). Crescimento e produção de eucalipto na região do Médio Paraíba do Sul, RJ. *Floresta e Ambiente*. 24: e00131315.

Guerra, S. P. S., Lanças, K. P., Garcia, E. A. & Spinelli, R. (2012). Eucalipto adensado: manejo para florestas energéticas. In: Lemos, E. G. M. & Stradioto, N. R. (Orgs.). *Bioenergia: Desenvolvimento, pesquisa e inovação*. São Paulo: Editora Cultura Acadêmica.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. (2019). *Relatório anual*. Acesso em 20 de abril em <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>.

Jesus, M. S., Costa, L. J., Ferreira, J. C., Freitas, F. P., Santos, L. C. & Rocha, M. F. V. (2017). Caracterização energética de diferentes espécies de *Eucalyptus*. *Floresta*, 47(1): 11 – 16.

Magalhães, L. G. S., Lima, A. P. L., Lima, S. F., Soratto, D. N., Martins, S. M., Santos, I. F. F. (2020). Densidade básica da madeira de clones de eucalipto em diferentes espaçamentos. *Brazilian Journal of Development*, 6(4): 19435-19445.

Malan, F. S.; Hoon, M. (1992). Effect of initial spacing and thinning on some wood properties of *Eucalyptus grandis*. *South African Forestry Journal*, 163: 13-20, 1992.

Moulin, J. C., Arantes, M. D. C., Oliveira, J. G. L., Campinhos, E., Gomes, F. & Vidaurre, G. B. (2017). Efeito do espaçamento, idade e irrigação no volume e densidade básica do eucalipto. *Floresta e Ambiente*, 24: e00073914.

Neves, T. A., Protásio, T. P., Couto, A. M., Trugilho, P. F., Silva, V. O. & Vieira, C. M. M. (2011). Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 31(68), 319-330.

Paulino, E. J. (2012). *Influência do espaçamento e da idade na produção de biomassa e na rotação econômica em plantios de eucalipto*. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (Mestrado em Manejo Florestal).

Quirino, W. F., Vale, A. T., Andrade, A. P. A., Abreu, V. L. S. & Azevedo, A. C. S. (2005). Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. *Revista da Madeira*, 89, 100-106.

Rocha, M. F. V., Vital, B. R., Carneiro, A. C. O. de, Carvalho, A. M. M. L., Cardoso, M. T. & Hein, P. R. G. (2016). Effects of plant spacing on the physical, chemical and energy properties of *Eucalyptus* wood and bark. *Journal of Tropical Forest Science*, 28(3): 243-248.

Roque, R. M. & Ledzema, R. M. (2003). Efecto del espaciamiento en plantación sobre dos propiedades físicas de madera de teca a lo largo del fuste. *Madera y Bosques*, 9(2), 15-27.

Santos, L. C., Carvalho, A. M. M. L., Pereira, B. L. C., Oliveira, A. C., Carneiro, A. C. O. & Trugilho, P. F. (2012). Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. *Revista Árvore*, 36(5): 971-980.

Santos, R. C. (2010). *Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto*. Universidade Federal de Lavras (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira).

Sereghetti, G. C., Lanças, K. P., Sartori, M. S., Rezende, M. A., Soler, R. R. (2015). Efeito do espaçamento no crescimento e na densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* em florestas de ciclo curto. *Energia na Agricultura*, 30(3): 257-262.

Silva, D. A., Muller, B. V., Kuiaski, E. C., Eloy, E., Behling, A. & Colaço, C. M. (2015). Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 35(84): 481-485.

Viera, M. & Schumacher, M.V. (2011). Biomassa em monoespecíficos de eucalipto e acácia - negra e do milho em sistema agrossilvicultural. *Cerne*, 17(2): .259-265.

Vital, B. R. (1984). *Métodos de determinação de densidade da madeira*. Viçosa: SIF.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Elaine Cristina Teixeira – 20%
Ana Paula Leite de Lima – 20%
Sebastião Ferreira de Lima – 20%
Deborah Nava Soratto – 14%
Kattyane Vieira Ramos – 13%
Wesley Gomes da Silva – 13%