

PRODUÇÃO E QUALIDADE DA BIOMASSA DE FLORESTAS ENERGÉTICAS NO NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Elder Eloy^{1*}, Dimas Agostinho da Silva², Brálio Otomar Caron³

^{1*}Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Florestal, Frederico Westphalen, RS, Brasil – eloyelder@yahoo.com.br

²Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Florestal, Curitiba, PR, Brasil - dimas.agostinho.silva@gmail.com

³Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, Frederico Westphalen, RS, Brasil - otomarcaron@yahoo.com.br

Resumo

O presente trabalho foi desenvolvido a convite da Revista Floresta e da coordenação do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná em comemoração ao cinquentenário programa. Trata-se de um artigo apresentando os principais resultados da tese intitulada “Produção e qualidade da biomassa de florestas energéticas no norte do Rio Grande do Sul, Brasil” que foi desenvolvida na linha de pesquisa de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, sob a orientação do professor Dimas Agostinho da Silva. A tese foi desenvolvida no período de fevereiro de 2013 a março de 2015 e houve a colaboração da pesquisadores e colaboradores da Universidade Federal de Santa Maria. O artigo teve como objetivo principal determinar o efeito da idade e dos espaçamentos de plantio na capacidade de produção de biomassa e nas propriedades energéticas de quatro espécies florestais, distribuídas em quatro espaçamentos, em três idades após o plantio.

Palavras-chave: Energia da biomassa florestal, plantio de curta rotação, espaçamento de plantio.

INTRODUÇÃO

A tese de Doutorado foi realizada na Área de Uso e Tecnologia Florestal do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná. O assunto escolhido para a realização do trabalho foi oriundo de um problema constatado na região norte do Rio Grande do Sul, que tratou da carência de informações e estudos ligados ao setor energético direcionado à biomassa florestal, principalmente quando associado ao compartimento madeira, pois nesta região, utiliza-se com muita frequência a biomassa florestal em vários segmentos residenciais, comerciais e industriais.

Assim, este trabalho visou obter informações importantes, referentes a produção de biomassa florestal em diferentes espaçamentos de plantio, assim como avaliar às propriedades energéticas desta biomassa, que apresentam potencialidade de geração de energia e que são cultivadas na região. Além disso, visou investigar o desenvolvimento de povoamentos florestais com vistas à produção de biomassa no menor espaço de tempo, em plantios de curta rotação, para atender a demanda por biomassa (lenha), em especial como alternativa para a pequena propriedade rural, que é predominante na região de estudo.

A utilização da madeira para fins energéticos é elevada no país, motivada principalmente pela diversidade de espécies que apresentam propriedades energéticas. Atualmente, 8,7% da energia produzida nacionalmente é originária da lenha e do carvão vegetal, segundo fontes oficiais ligadas à área de energia (MME, 2022). Dentre as populações que utilizam a fonte de energia oriunda da biomassa, enquadra-se uma tipicamente de países desenvolvidos, que utiliza equipamentos de alta tecnologia com altas eficiências e baixas emissões. Enquanto a outra, enquadra os países subdesenvolvidos, representando a maior parte do consumo, utilizando essa fonte de energia em pequenas escalas com ineficiência e altas taxas de poluição (ELOY, 2022).

Ao longo das últimas décadas a demanda de energia vem se baseando principalmente, em fontes não renováveis, o que acaba gerando uma série de questionamentos em relação ao abastecimento energético e ao equilíbrio econômico e ambiental, principalmente as questões climáticas ligadas ao aumento da concentração de gases do efeito estufa, que tem despertado o interesse devido ao papel que as florestas exercem quanto à fixação biológica de carbono e na remoção de CO₂ da atmosfera (SANQUETTA *et al.*, 2014). Assim, muitos países vêm buscando alternativas que minimizem esses problemas, sobretudo mediante a intensificação do uso de fontes renováveis, incluindo a biomassa florestal (SIMIONI *et al.*, 2018).

Com a crescente demanda por fontes de energia renovável, estudos sobre o potencial de geração de energia a partir da biomassa florestal têm sido realizados no Brasil e no mundo, relatando a capacidade da biomassa para produção de energia limpa, como os trabalhos desenvolvidos por Protásio *et al.* (2013); Carneiro *et al.* (2014); Caron *et al.* (2015). No entanto, para aumentar a eficiência da conversão da madeira em energia, é necessária a adoção de tecnologias mais apropriadas para avaliar seu verdadeiro potencial na carbonização, na produção de calor e na cogeração de energia. Assim, tornando promissoras as expectativas quanto ao uso da biomassa florestal como matéria-prima para geração de energia (SILVA *et al.*, 2019).

Os tratamentos silviculturais e o manejo florestal visando à produção de biomassa para energia fundamentam-se no uso final da madeira, na escolha de material genético adequado, no controle da densidade de plantio e no período de rotação. Um dos aspectos mais importantes a ser considerado na formação de povoamentos florestais para fins energéticos é o espaçamento em que as plantas são estabelecidas no campo (SCHWERZ *et al.*, 2020).

O espaçamento apresenta uma série de implicações do ponto de vista silvicultural, tecnológico e econômico, pois afeta as taxas de crescimento das plantas, idade de corte, qualidade da madeira, bem como as práticas silviculturais empregadas e, conseqüentemente, os custos de produção (CARON *et al.*, 2015). Assim, a definição do espaçamento para plantio florestal é de grande importância, considerando a sua influência na taxa de crescimento, no valor e na qualidade da matéria-prima, no manejo, na exploração florestal, nos custos de produção. O espaçamento ótimo é aquele capaz de produzir o maior volume de produto em tamanho, forma e qualidade desejáveis, isso quando relacionado com a espécie, o sítio e o potencial genético do material reprodutivo que for utilizado (ELOY *et al.*, 2015).

Na implantação de povoamentos florestais que tem como objetivo a produção madeireira para fins energéticos, normalmente recomendam-se espaçamentos mais adensados, tendo em vista que o objetivo final é a produção do maior volume de biomassa por unidade de área em menor espaço de tempo possível (ELOY *et al.*, 2017a). Desta forma, procura-se a utilização de espécies com grande plasticidade ambiental, altas produtividades e boas condições energéticas.

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo determinar o efeito da idade e do espaçamento de plantio na capacidade de produção de biomassa e nas propriedades energéticas de quatro espécies florestais, distribuídas em quatro espaçamentos de plantio, em três idades após o plantio.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado no experimento que está localizado em área pertencente à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), sob coordenadas geográficas de 27°22'S; 53°25'W, a 480 m de altitude, no município de Frederico Westphalen, RS.

Segundo a classificação climática de Köppen o clima predominante da região é Cfa, caracterizado como subtemperado subúmido, sendo a temperatura média anual de 18,8° C e temperatura média do mês mais frio de 13,3° C.

O experimento foi instalado utilizando o delineamento experimental de blocos completos casualizados. Os mesmos foram caracterizados por um fatorial 4x4x3, ou seja, quatro espécies florestais (*Acacia mearnsii* De Wild, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Mimosa scabrella* Benth e *Ateleia glazioviana* Baill), quatro espaçamentos de plantio (2,0x1,0 m; 2,0x1,5 m; 3,0x1,0 m e 3,0x1,5 m), três períodos (1º, 3º e 5º ano após o plantio) e quatro compartimentos das árvores (madeira, casca, galho e folha) em três repetições. O bloco contempla 16 unidades experimentais, sendo que cada uma apresenta 45 plantas distribuídas em 5 linhas de plantio.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa, profundo bem drenado, pertencente à unidade de mapeamento de Passo Fundo (ELOY *et al.*, 2017b) e, no seu preparo para o plantio das mudas, foram realizadas as operações de aração e gradagem, sendo que o plantio foi feito de forma manual em setembro de 2008.

Amostragem

As avaliações destrutivas nas árvores foram realizadas em três períodos diferentes, no 1º ano (2009), 3º ano (2011) e 5º ano (2013) após o plantio do experimento, onde foram avaliadas 144 árvores por período, que corresponderam a 36 árvores por espécie. Dessas, foram retirados seis discos com, aproximadamente, dois centímetros de espessura, nas seguintes posições ao longo do fuste: 0% (base), 1,30 m (diâmetro à altura do peito - DAP), 25%, 50% 75% e 100% da altura total da árvore, e seccionadas duas cunhas simetricamente opostas de cada disco.

As amostras de galhos e folhas foram coletadas de forma estratificada na planta, ou seja, no estrato inferior, médio e superior da copa das árvores, com a finalidade de obtenção de um material homogêneo que representasse toda a extensão da copa. Essas foram identificadas e levadas para secagem em estufa de circulação e renovação do ar para obtenção da matéria seca. As amostras de madeira, casca, folha e galho foram secas à 103 °C até massa constante, para determinação do teor de umidade.

Para a espécie *A. glazioviana*, a amostragem de folhas não foi computada, devido à senescência das folhas ter iniciado antecipadamente ao período em que foram realizadas as avaliações, ou seja, no mês de setembro.

Determinações

Para determinar a biomassa, utilizou-se o método direto, que consistiu na derrubada e pesagem dos diferentes compartimentos das árvores (SANQUETTA, 2002). As massas frescas totais das árvores amostradas foram determinadas em condição de campo, sendo que, de cada compartimento foram retiradas amostras para obtenção do seu teor de umidade em laboratório

Na Tabela 1, estão apresentados os valores de altura e diâmetro a altura do peito das quatro espécies florestais.

Tabela 1. Valores médios de altura (H) e diâmetro a altura do peito (DAP) para as quatro espécies florestais, nos três períodos de avaliação, no município de Frederico Westphalen-RS.

Table 1. Mean values of height (H) and diameter at breast height (DBH) for the four forest species, in the three evaluation periods, in the municipality of Frederico Westphalen-RS.

Espécie	H (m)	DAP (cm)
Ano 1		
<i>E. grandis</i>	3,1	2,1
<i>A. mearnsii</i>	2,5	1,5
<i>M. scabrella</i>	2,9	1,7
<i>A. glazioviana</i>	0,6	0,0
Ano 3		
<i>E. grandis</i>	13,1	9,4
<i>A. mearnsii</i>	8,0	7,1
<i>M. scabrella</i>	6,2	4,1
<i>A. glazioviana</i>	4,6	4,3
Ano 5		
<i>E. grandis</i>	20,2	15,1
<i>A. mearnsii</i>	10,5	10,5
<i>M. scabrella</i>	8,4	7,0
<i>A. glazioviana</i>	6,4	5,8

Na determinação do poder calorífico superior (PCS) e da análise química imediata (AQI), foram utilizados os materiais obtidos na amostragem, sendo esses moídos em moinho de facas, com peneira de 40 mesh, visando à obtenção de um material mais fino e uniforme. As avaliações foram do PCS foram realizadas utilizando a bomba calorimétrica digital modelo C5000 Cooling System, IKA Werke, com princípio de funcionamento adiabático, de acordo com a norma técnica NBR 8633 (ABNT, 1984) e para a AQI utilizou-se a norma técnica NBR 8112 (ABNT, 1986), em que se obtiveram os teores de material volátil, cinzas e carbono fixo.

Para determinar a massa específica básica (ME), foram utilizados os materiais obtidos na amostragem. Os procedimentos foram realizados de acordo com a norma técnica NBR 11941 (ABNT, 2003).

Para determinar a densidade energética (DE) foram multiplicados os valores da ME e do PCS, conforme a seguinte expressão:

$$DE = ME \times PCS$$

em que: DE = Densidade energética (kcal m^{-3}); ME = Massa específica básica da madeira (kg.m^{-3}) e PCS = Poder calorífico superior da madeira (kcal.kg^{-1}).

Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística, em que se procedeu com a análise de variância, teste F, análise de regressão, e o teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Os pressupostos da análise de variância e das regressões foram atendidos, sendo realizado o teste de Bartlett para a verificação da homogeneidade das variâncias. Os modelos propostos na regressão foram selecionados em função dos melhores coeficientes de determinação e erro padrão da estimativa. O teste de tukey foi realizado nos casos de rejeição da hipótese nula.

RESULTADOS

A análise de variância revelou diferença significativa entre os três períodos estudados e entre os quatro compartimentos das árvores para todas as variáveis analisadas. Já os espaçamentos de plantio influenciaram de forma significativa somente a produção de biomassa.

Na Figura 1, estão apresentadas as equações de regressão para a produção de biomassa das quatro espécies florestais, e dos compartimentos da biomassa, ao longo dos três períodos avaliados. De modo geral, observa-se uma tendência crescente desta característica em relação aos diferentes anos avaliados, principalmente para a biomassa de madeira e biomassa total.

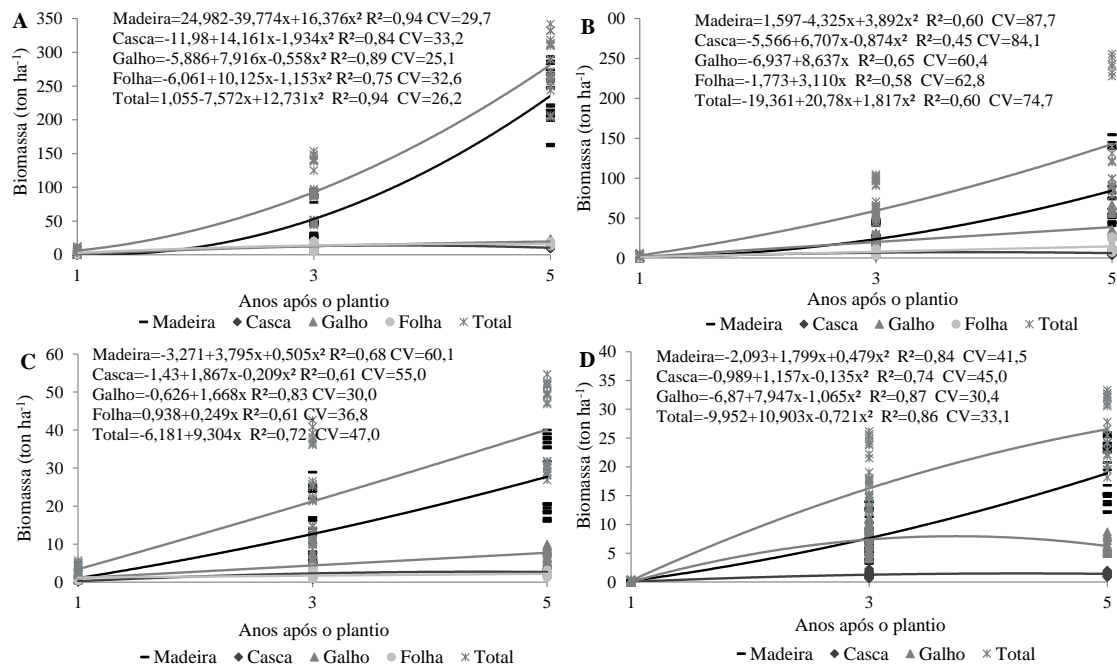


Figura 1. Equações de regressão da biomassa da madeira, casca, galho, folha e total (ton ha⁻¹) das quatro espécies florestais: *Eucalyptus grandis* (A), *Acacia mearnsii* (B), *Ateleia glazioviana* (C) e *Mimosa scabrella* (D), em diferentes anos após o plantio.

Figure 1. Regression equations for wood, bark, branch, leaf and total biomass (ton ha⁻¹) of the four forest species: *Eucalyptus grandis* (A), *Acacia mearnsii* (B), *Ateleia glazioviana* (C) and *Mimosa scabrella* (D), in different years after planting.

Afim de apresentar as principais informações obtidas nesta pesquisa, foram selecionados os resultados do 5º ano após o plantio para a produção de biomassa e as demais variáveis energéticas.

Observou-se que os espaçamentos de plantio testados, conduziram a diferentes produções de biomassa dos diferentes compartimentos da parte aérea das plantas no 5º ano após o plantio. Verificou-se que as maiores contribuições em biomassa nos diferentes compartimentos tiveram a seguinte ordem madeira>galho>folha>casca (Figura 2).

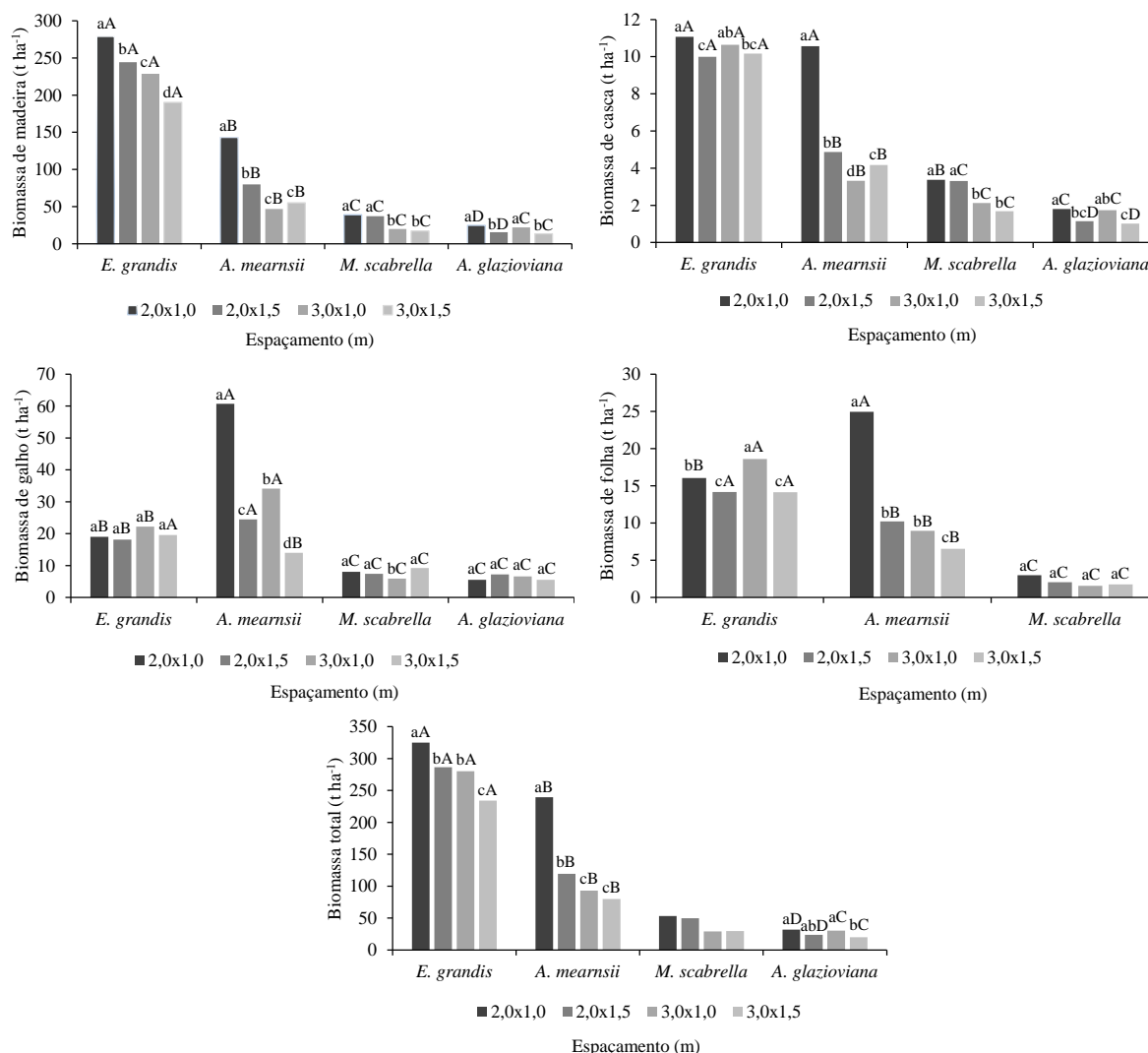


Figura 2. Valores médios de biomassa da madeira, casca, galho, folha e total ($t \cdot ha^{-1}$), das espécies florestais distribuídas nos diferentes espaçamentos, cinco anos após o plantio.

Figure 2. Average values of wood, bark, branch, leaf and total biomass ($t \cdot ha^{-1}$) of forest species distributed in different spacings, five years after planting.

em que: Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre os espaçamentos na determinada espécie; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre as espécies no determinado espaçamento, a 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey.

De modo geral, pode-se observar tendências decrescentes de produção de biomassa nos diferentes compartimentos das plantas em função do aumento da área útil, ou seja, do espaçamento de plantio. Em relação aos espaçamentos de plantio, a produção de biomassa da madeira foi superior aos demais compartimentos das árvores, sendo que para o *E. grandis* variou de 190,1 a 279,1 $ton \cdot ha^{-1}$ do maior espaçamento (3,0 x 1,5 m) para o menor (2,0 x 1,0 m) (Figura 2).

Os maiores valores de PCS, aos cinco anos após o plantio, foram observados no compartimento folha para todas as espécies, sendo que para as espécies *E. grandis*, *A. mearnsii* e *M. scabrella* os valores foram de 5006, 5185 e 4807 $kcal \cdot kg^{-1}$, respectivamente. Já para o compartimento casca, relata-se os menores valores de PCS para *E. grandis* e *A. mearnsii* de 3880 e 4444 $kcal \cdot kg^{-1}$ (Tabela 2).

Tabela 2. Teste de médias para as propriedades energéticas dos diferentes compartimentos das espécies florestais, cinco anos após o plantio, no município de Frederico Westphalen-RS.

Table 2. Test of averages for the energetic properties of the different compartments of forest species, five years after planting, in the municipality of Frederico Westphalen-RS.

Espécie	Compartimento	Variáveis energéticas					
		PCS Kcal.kg ⁻¹	CF %	MV %	TC %	ME kg.m ⁻¹	DE Gcal.m ⁻¹
<i>E. grandis</i>	Madeira	4485 b	19,58 ab	80,31 a	0,62 c	0,400	1,794
	Casca	3880 c	21,17 a	73,26 c	5,19 a	-	-
	Galho	4409 b	18,86 b	77,98 b	2,68 b	-	-
	Folha	5006 a	20,87 a	74,04 bc	5,08 a	-	-
<i>A. mearnsii</i>	Madeira	4397 d	18,52 c	80,82 a	0,64 c	0,538	2,368
	Casca	4444 c	31,38 a	64,76 c	3,76 a	-	-
	Galho	4507 b	22,28 bc	76,01 b	1,71 b	-	-
	Folha	5185 a	23,44 b	72,41 b	4,14 a	-	-
<i>M. scabrella</i>	Madeira	4463 b	21,31 a	76,91 a	1,73 b	0,429	1,915
	Casca	4393 b	24,72 a	68,97 c	5,92 a	-	-
	Galho	4425 b	22,88 a	74,22 ab	3,02 b	-	-
	Folha	4807 a	24,07 a	70,12 bc	5,63 a	-	-
<i>A. glazioviana</i>	Madeira	4485 a	20,81 a	78,01 a	1,17 c	0,511	2,298
	Casca	4590 a	19,73 a	76,33 a	3,94 a	-	-
	Galho	4534 a	20,42 a	77,42 a	2,17 b	-	-

em que: PCS = poder calorífico superior; CF = teor de carbono fixo; MV = teor de materiais voláteis; TC = teor de cinzas; ME = massa específica básica e; DE = densidade energética; Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre os compartimentos das árvores à 5% de probabilidade de erro conforme o teste de médias de Tukey.

Para a espécie *E. grandis* os maiores valores de CF para os compartimentos casca, folha e madeira foram de 21,17, 20,87 e 19,58 %, respectivamente. Já para o MV, o maior valor foi relatado para madeira de 80,31 % e, sendo que para o TC, nos compartimentos casca e folha, os valores médios de 5,19 a 5,08 %, respectivamente.

Para as demais espécies, os maiores valores de CF foram observados para a espécie *A. mearnsii*, no compartimento casca. Já as espécies *M. scabrella* e *A. glazioviana* não apresentaram diferença entre os compartimentos da biomassa.

As diferentes densidades de plantio não influenciaram significativamente na ME da madeira, assim como na DE no quinto ano após o plantio.

DISCUSSÃO

Quando analisada a produção de biomassa nos diferentes compartimentos das árvores em relação aos quatro espaçamentos de plantio, observou-se uma relação direta da densidade de plantio com a distribuição de cada compartimento, ou seja, nos tratamentos com maiores densidades foram observados os maiores valores de biomassa quando comparados com os espaçamentos menos adensados (Figura 1). Para Eloy *et al.* (2022) ocorre maior produção de biomassa por unidade de área nos espaçamentos mais reduzidos, principalmente em função do maior número de indivíduos.

A tendência crescente da produção de biomassa dos diferentes compartimentos em relação aos três períodos avaliados, que é observada nas equações de regressão na Figura 1, corrobora com os resultados de pesquisas de autores que desenvolveram trabalhos relacionados à influência da densidade e da idade do plantio na produção de povoamentos florestais. Dentre esses, pode-se citar os desenvolvidos por Schwerz *et al.* (2020). Outros autores, como Caron *et al.* (2015) encontraram diferença na distribuição de biomassa entre diferentes espécies e para a mesma espécie, em função de fatores como espaçamento de plantio, idade do povoamento e qualidade de sítio.

Observou-se tendências decrescentes de produção de biomassa nos diferentes compartimentos das plantas em função do aumento da área útil, ou seja, do espaçamento de plantio (Figura 2). No entanto, vale ressaltar que

com o tempo a quantidade de madeira estocada em um determinado sítio tende a se igualar em diferentes espaçamentos, sendo que, nos plantios mais densos ocorre a estagnação do crescimento em idades mais jovens e, que nos plantios com espaçamentos mais amplos a estagnação do crescimento ocorre em idades mais avançadas (CARON *et al.*, 2015). Dessa forma, quando aumenta-se a densidade populacional, a biomassa total por unidade de área também se eleva, sendo que a produção de biomassa total por indivíduo diminui.

O crescimento inicial inferior em biomassa da *A. glazioviana* em relação às demais espécies, tanto nos períodos como nos espaçamentos, observados na Figura 1, está relacionado com o seu crescimento que é considerado de lento. No entanto, por ter como característica bifurcações e copa volumosa apresentou grande quantidade de biomassa de galho (Figura 2). Essa variação é influenciada principalmente pela maior área útil disposta nos espaçamentos para o desenvolvimento da copa.

Os valores médios de PCS encontrados nesta pesquisa, corroboram com os relatados por Quirino *et al.* (2005) ao realizar um levantamento bibliográfico referente ao PCS da madeira de 258 espécies florestais tropicais exóticas e nativas, sendo observado que os valores de PCS foram em média de 4710 kcal.kg⁻¹, variando de 3831 a 5324 kcal.kg⁻¹. No entanto são inferiores aos relatados por Howard (1973) em que observou o PCS para espécies de folhosas variou de 4600 a 4800 kcal.kg⁻¹.

Quando analisamos os teores de CZ e de CF da casca, pode-se observar que foram superiores aos da madeira, diferentemente do que ocorreu com o teor de MV (Tabela 2). Para Eloy *et al.* (2016), os fatores relacionados à composição estrutural da madeira influenciam positivamente seu potencial energético, principalmente no que diz respeito à constituição química e elementar.

Em relação ao o teor de MV, relata-se que o mesmo interfere de forma positiva na ignição, pois quanto maior o seu valor, maior será a reatividade, determinando a facilidade com que uma biomassa queima (VIEIRA *et al.*, 2013). Assim, a biomassa ao apresentar alto teor de MV, tem maior facilidade de incendiar e queimar e, embora o processo de combustão seja rápido, o mesmo é difícil de controlar, diminuindo assim o tempo de residência do combustível dentro do aparelho de combustão. Dessa forma, biomassas que apresentam elevados valores de MV são indesejáveis, pois podem contribuir para uma baixa eficiência energética (ELOY *et al.*, 2017b).

Em contrapartida, combustíveis com alto índice de CF, são desejáveis, pois apresentam queima mais lenta, implicando em um maior tempo de residência dentro dos aparelhos de queima (SILVA *et al.*, 2015; ELOY *et al.*, 2016). Da mesma forma, madeiras com maiores teores de CF apresentaram maiores valores de ME. Assim, a ME e o teor de CF podem ser utilizados como indicadores de madeira para combustão direta. O CF tem relação direta com o PCS, independentemente do material utilizado. Desta forma, o que se espera é que elevados teores de CF impliquem em um maior PCS (VIEIRA *et al.*, 2013).

O teor de CF está relacionado à quantidade de CZ e MV, pois o mesmo representa a massa restante após a saída de compostos voláteis, excluindo as CZ e teores de umidade. O teor de CF depende principalmente do teor de MV, já que os teores de CZ, principalmente para madeira, são baixos. Desta forma, madeiras com maiores teores de MV tem menores teores de CF. Os valores encontrados neste trabalho seguem esta regra.

A avaliação da quantidade do teor de CZ é interessante para um produto energético, pois, quando está presente em alta concentração pode diminuir o PCS e causar perda da eficiência energética (VIEIRA *et al.*, 2013). O mesmo corresponde a substâncias que não entram em combustão ficando na forma sólida e são indesejáveis para uso energético, estando relacionado com a presença de minerais provenientes, em parte, da adubação química como cálcio, potássio, fósforo, magnésio, ferro, sódio, entre outros. Assim, uma característica comum entre espécies de *Eucalyptus* são os baixos teores de CZ da madeira, em geral abaixo de 1% (CHAVES *et al.*, 2013).

As diferentes densidades de plantio não influenciaram significativamente na ME da madeira. Este resultado corrobora com os observados por e Trevisan *et al.* (2012) em que não encontraram efeito significativo do espaçamento entre as plantas com a ME da madeira. Os resultados da ME observados neste trabalho, estão dentro do intervalo que Quirino *et al.* (2005) relataram para 108 espécies florestais, que variaram de 0,200 a 1,080 g cm⁻³. Sendo que essa variação de resultados pode ser atribuída a diversos fatores, como a variabilidade genética dos povoamentos, diferentes condições ambientais, em função de diferentes idades (ELOY *et al.*, 2017a).

A DE da madeira leva em consideração a energia contida num determinado volume de madeira, sendo influenciada pela ME e pelo PCS que variam entre espécies e entre indivíduos da mesma espécie de acordo com a sua idade (MOREIRA *et al.*, 2012). Neste trabalho a DE foi mais influenciada pela ME do que pelo PCS, que variou menos. Moreira *et al.* (2012) verificaram que os valores de DE variaram de 0,944 Gcal.m⁻³ para as espécies *E. benthamii* e *E. grandis*, a 1,459 Gcal.m⁻³ para *Corymbia citriodora*. Sendo inferiores aos relatados por Protásio *et al.* (2013) trabalhando com clones de *E. grandis* e *E. urophylla* aos 3,5 anos de idade que relataram o valor de 2,380 Gcal.m⁻³. Da mesma forma, Neves *et al.* (2013) observaram para os clones de *Eucalyptus* aos 4,5 e 5,6 anos, valores desta variável de 2,051 e 2,084 Gcal.m⁻³, respectivamente.

CONCLUSÕES

- A idade e o espaçamento de plantio influenciam na produção de biomassa dos diferentes compartimentos das árvores das quatro espécies estudadas.
- As três idades induzem a um efeito significativo para todas as variáveis analisadas, sendo que no 5º ano após o plantio são verificados os maiores valores dos diferentes compartimentos de biomassa.
- Os quatro espaçamentos de plantio proporcionam diferentes produções de biomassa, com tendência de aumento dos valores com a redução da área útil do espaçamento.
- Os maiores valores de PCS são observados no compartimento folha, para as espécies *E. grandis*, *A. mearnsii* e *M. scabrella*. Já os menores valores de PCS são observados para o compartimento casca, para *E. grandis* e *A. mearnsii*.
- As diferentes densidades de plantio não influenciam significativamente na ME da madeira, assim como na DE, no quinto ano após o plantio.
- Do ponto de vista energético, quanto maior a idade e menor o espaçamento de plantio, melhores são as propriedades energéticas da biomassa.

PALAVRA DO AUTOR

Durante o período que estive como pós-graduando no PPGEF da UFPR tive a oportunidade de trabalhar e conviver com ótimos profissionais que construíram para a minha formação. Em especial aos professores Dimas Agostinho da Silva (UFPR), Alexandre Behling (UFPR) e Braulio Otomar Caron (UFSM/FW), entre outros. Assim como, da equipe do Laboratório de Energia da Biomassa da UFPR e, do Laboratório de Agroclimatologia da UFSM/FW.

Em relação a ao trabalho da tese, a coleta dos dados foi realizada no 1º, 3º e 5º ano após o plantio do experimento. No entanto, posterior a este trabalho houve continuidade da pesquisa conforme o planejamento do experimento, ou seja, foram avaliados os dados de biomassa e das variáveis energéticas no 7º e 9º ano e, posteriormente, publicados em artigos científicos.

REFERÊNCIAS

- ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11941: Determinação da densidade básica da madeira**. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8112: carvão vegetal: análise imediata**. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8633: carvão vegetal: Determinação do poder calorífico superior**. Rio de Janeiro, 1984.
- CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014.
- CARON, B. O.; ELOY, E.; SOUZA, V. Q.; SCHMIDT, D.; BALBINOT, R.; BEHLING, A.; MONTEIRO, G. C. Quantificação da biomassa florestal em plantios de curta rotação com diferentes espaçamentos. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 6, n. 1, p. 106-112, 2015.
- CHAVES, A. M. B.; VALE, A. T.; MELIDO, R. C. N.; ZOCH, V. P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 533-542, 2013.
- ELOY, E. Produção de biomassa florestal em plantios de curta rotação. In: **Open Science Research III**. Guarujá: Editora Científica Digital, 2022, 428 p.
- ELOY, E.; CARON, B. O.; SILVA, D. A.; SOUZA, V. Q.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; ELLI, E. F. Produtividade energética de espécies florestais em plantios de curta rotação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 8, p. 1424-1431, 2015.
- ELOY, E.; SILVA, D. A.; CARON, B. O.; ELLI, E. F.; SCHWERZ, F. Age and tree spacing and their effects on energy properties of *Ateleia glazioviana*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47 n. 9 p. 378-387, 2017b.
- ELOY, E.; SILVA, D. A.; CARON, B. O.; TREVISAN, R.; BALBINOT, R. Effect of age and plant spacing on the energy properties of black wattle. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 8, n. 3, p. 469-476, 2017a.

- ELOY, E.; SILVA, D. A.; SCHMIDT, D.; TREVISAN, R.; CARON, B. O.; ELLI, E. F. Effect of planting age and spacing on energy properties of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 4, p. 749-758, 2016.
- HOWARD, A. M. Heat of combustion of various southern pine materials. **Wood Science**, London, v. 5, n. 3, p. 194-197, 1973.
- MME - Ministério das Minas e Energia. Balanço energético nacional, Relatório síntese-ano base 2021. **Empresa de Pesquisa Energética**. Rio de Janeiro, Brasil; 2022. 67p.
- MOREIRA, J. M. M. A. P.; LIMA, E. A.; GOULART, I. C. G. R. Impacto do teor de umidade e da espécie florestal no custo da energia útil obtida a partir da queima da lenha. Embrapa Florestas, **Comunicado Técnico n. 293**, Colombo, p. 1-5, 2012.
- NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; VALLE, M. L. A.; SOUSA, L. C.; VIEIRA, C. M. M. Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. **Revista Ciências Agrárias**, Recife, v. 56, n. 2, p. 139-148, 2013.
- PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. **Sientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 15-28, 2013.
- QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. D. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 15, n. 89, p. 100-106, 2005.
- SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, Brasil: 2002. p. 119-140.
- SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; CORTE, A. P. D.; SIMON, A.; PSCHEIDT, H.; RUZA, M. S.; MOCHIUTTI, S. Estoques de biomassa e carbono em povoamentos de acácia-negra em diferentes idades no Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.12, n.103, p.370, 2014.
- SCHWERZ, F.; NETO, D. D.; CARON, B. O.; TIBOLLA, L. B.; SGARBOSSA, G.; ELOY, E.; ELLI, E. F.; CARVALHO, L. G. Carbon stocks, partitioning, and wood composition in short-rotation forestry system under reduced planting spacing. **Annals of Forest Science**, California, v. 77, n. 67, p. 1-18, 2020.
- SILVA, D. A.; ELOY, E.; CARON, B. O.; TRUGILHO, P. F. Elemental chemical composition of forest biomass at different ages for energy purposes. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 1-12, 2019.
- SILVA, D. A.; MÜLLER, 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**, Colombo, v. 35, n. 84, p.481-485, 2015.
- SIMIONI, F. J.; BUSCHINELLI, C. C. A.; DEBONI, T. L.; PASSOS, B. M. Cadeia produtiva de energia de biomassa florestal: O caso da lenha de eucalipto no polo produtivo de Itapeva-SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 310-323, 2018.
- TREVISAN, R.; ELOY, E.; DENARDI, L.; HASELEIN, C. R.; CARON, B. O. Variação axial e efeito do desbaste na massa específica das árvores centrais de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 2, p. 312-318, 2012.
- VIEIRA, A. C.; SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Revista Varia Scientia Agrárias**, Cascavel, v. 3, n. 1, p. 51-57, 2013.