



PRODUÇÃO E SORTIMENTO DE MADEIRA EM PLANTIO CONVENCIONAL E AGROSSILVIPASTORIL DE EUCALIPTO

Francisco de Assis Braga¹; Yuri Maia Goulart Silva²; Pedro Paulo Malfitano Braga³

¹ Engenheiro Florestal pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), Brasil
Mestre em Solos pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), Brasil
Doutor em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Brasil
Docente na Universidade Federal de Viçosa, Campus Florestal, Brasil.
francisco.braga@ufv.br

² Gestor Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Florestal, Brasil

³ Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), Brasil

Recebido em: 15/06/2022 – Aprovado em: 15/07/2022 – Publicado em: 30/07/2022

DOI: 10.18677/Agrarian_Academy_2022A5

trabalho licenciado sob licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

RESUMO

Os sistemas agrossilvipastoris oferecem benefícios socioeconômicos e ambientais através da associação estruturada, no tempo e no espaço, de elementos agrícolas, arbóreos e forrageiros numa mesma área. Essa pesquisa teve por objetivo avaliar as características dendrométricas e quantificar o volume e o sortimento de madeira em sistemas de plantio de eucalipto convencional e agrossilvipastoril. Foram estudados três sistemas aos 117 meses: CONV (3x3 m); SAF1 (2x10 m); SAF2 (2x2+10 m). Foram avaliadas a altura, o diâmetro do tronco à 1,30m do solo, a conicidade do tronco, a excentricidade da medula e o volume comercial individual médio das árvores em cada sistema. As variáveis foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas com o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). O volume comercial dos povoamentos foi estimado pelo método da árvore média por classe de diâmetro, sendo considerados os rendimentos para serraria (diâmetro ≥ 15 cm) e mourões (diâmetro ≥ 5 e < 15 cm). Os SAFs apresentaram árvores com maiores dimensões em relação ao CONV. O SAF2 proporcionou o maior volume de madeira comercial e para serraria, mas de qualidade provavelmente prejudicada pelo encurvamento lateral dos troncos. O SAF1 proporcionou volume comercial próximo ao CONV, mas com expressivo maior volume para serraria. CONV houve predomínio de madeira fina destinada a mourões.

PALAVRAS-CHAVE: Integração lavoura-pecuária-floresta, mourões, serraria.

WOOD PRODUCTION AND ASSORTMENT IN CONVENTIONAL AND AGROSSILVIPASTORIL PLANTS OF EUCALYPTUS

ABSTRACT

Agrosilvopastoral systems offer socioeconomic and environmental benefits through the structured association, in time and space, of agricultural, arboreal and forage elements in the same area. This research aimed to evaluate the dendrometric characteristics and quantify the volume and assortment of wood in conventional and agrosilvopastoral eucalyptus planting systems. Three systems were studied at 117 months: CONV (3x3 m); SAF1 (2x10 m); SAF2 (2x2+10 m). The height, the diameter of the trunk at 1.30 m from the ground, the conicity of the trunk, the eccentricity of the pith and the average individual commercial volume of the trees in each system were evaluated. The variables were submitted to analysis of variance and the means compared with the Scott-Knott test ($p < 0.05$). The commercial volume of stands was estimated using the average tree method by diameter class, considering the yields for sawmills (diameter ≥ 15 cm) and fence posts (diameter ≥ 5 and < 15 cm). The SAFs presented trees with larger dimensions in relation to the CONV. SAF2 provided the largest volume of commercial and sawmill wood, but the quality was probably affected by the lateral bending of the trunks. SAF1 provided a commercial volume close to CONV, but with a significant higher volume for sawmills. In the CONV there was a predominance of thin wood destined for fence posts.

KEYWORDS: Crop-livestock-forest integration system, fence posts, sawmill.

INTRODUÇÃO

A crescente pressão e demanda pelo uso das terras pela sociedade contemporânea tem levado a uma mudança de paradigma. O modelo convencional de monocultivo vem sendo paulatinamente substituído pelo policultivo, que contempla inúmeras possibilidades de consórcio de culturas agrícolas, forrageiras e silvicultura numa mesma gleba (MATOS *et al.*, 2021).

Os sistemas agrossilvipastoris envolvem o consórcio rotativo no tempo, iniciando com culturas agrícolas e espécies arbóreas (sistema silviagrícola) nos primeiros anos, com as forrageiras substituindo as agrícolas num dado momento (sistema silvipastoril), configurando um sistema rotativo, também denominado de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) (ROSCOE, 2019). Estudos relatam diversos benefícios dos sistemas de integração, com destaque para a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, qualidade da forragem, conforto animal e, recentemente, os serviços ambientais (BUNGENSTAB *et al.*, 2019).

O arranjo espacial e o espaçamento entre as árvores, além da forma de manejo das árvores no sistema de integração afetam as suas características dendrométricas e da madeira, suas dimensões e possibilidade de usos múltiplos. Assim, cada porção do tronco pode ser direcionada à produção de mourões, madeira serrada, postes, lenha, carvão, celulose, dentre outras finalidades (FERREIRA *et al.*, 2019).

O espaçamento entre árvores é crucial do ponto de vista silvicultural, pois afeta não somente as dimensões finais das árvores, mas também a taxa de crescimento, a idade de corte, e as práticas silviculturais e, conseqüentemente, o custo de produção e a rentabilidade (CORDEIRO *et al.*, 2018). O espaçamento ideal é definido pela capacidade de desenvolver os produtos florestais almejados, na quantidade, qualidade, tamanho e forma desejados (ELOY *et al.*, 2018).

Estudos mostram que a produtividade de madeira em um estande florestal geralmente aumenta com a redução do espaçamento, até certo nível, pois o adensamento tende a reduzir o crescimento das árvores devido à competição excessiva (AKERS *et al.*, 2013). Por outro lado, o aumento do espaçamento favorece o crescimento, notadamente do diâmetro do tronco e o volume da copa (HÉBERT *et al.*, 2016) e, comumente, favorecendo a redução da densidade da madeira e o aumento da conicidade dos troncos (CORRÊA *et al.*, 2020).

Estudos de longo prazo sobre diferentes regimes de densidade de plantio fornecem informações relevantes em relação à dinâmica de crescimento, produção volumétrica do estande e dimensões das árvores (PRETZSCH, 2020). Nesse contexto, árvores plantadas em sistemas de integração multilinhas são mais suscetíveis ao vento e à competição assimétrica, promovendo a formação de copa desuniforme e/ou com maior volume de galhos, o que favorece a formação de troncos elípticos e com medula excêntrica, podendo comprometer a qualidade da madeira (RADOMSKI; RIBASKI, 2009, 2010).

A maioria dos sistemas agrossilvipastoris no Brasil utilizam o eucalipto devido à possibilidade de obtenção de vários produtos florestais, crescimento rápido, facilidade de implantação e manejo, capacidade de rebrota e clonagem, densidade e formato de copa colunar, possibilitando o consórcio com culturas agrícolas e forrageiras herbáceas (MACEDO *et al.*, 2019). A grande plasticidade e diversidade de espécies de eucalipto permite obter produtos madeireiros e não madeireiros. Análises econômicas de ILPF revelam que os eucaliptos são considerados como poupança verde (MACEDO *et al.*, 2019). Dentre as espécies mais usadas nestes sistemas no Brasil se destacam *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson), *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e o híbrido *urograndis* (*E. urophylla* S.T. Blake x *E. grandis* Hill ex Maiden) (MELOTTO *et al.*, 2019).

Embora o Brasil seja um grande produtor de biomassa florestal mundial (IBÁ, 2019), ainda há escassez de pesquisas relacionadas à produção de madeira em sistemas agrossilvipastoris (SILVA *et al.*, 2018). O presente estudo teve por objetivo avaliar as características dendrométricas e quantificar a produção e o sortimento de madeira de eucalipto para serraria e mourões em arranjos de plantio convencional e agrossilvipastoril.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A pesquisa foi realizada em unidade demonstrativa (UD) de sistemas agrossilvipastoris instalada no Campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV) no município de Florestal-MG, numa parceria com a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER-MG), a Empresa de Pesquisa Agropecuária (EPAMIG) e a Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAPA-MG).

O clima do município de Florestal é do tipo Cwa - temperado úmido com chuvas de verão e inverno seco, segundo a classificação climática de Köppen. A precipitação média anual é 1.393 mm, com temperaturas médias mínima e máxima de 14,4 e 28,9 °C, e umidade relativa média anual de 64%, segundo Normal Climatológica do Brasil 1981-2010 do Instituto Nacional de Meteorologia.

A UD foi implantada em dezembro de 2009, tem aproximadamente seis hectares, numa área de Latossolo Amarelo distrófico argissólico, com coordenadas 19°51'53.30"S e 44°26'44.85"O e altitude de 814 m. A área era recoberta originalmente por Floresta Estacional Semidecidual, sendo convertida em pastagem de *Urochloa decumbens* (Stapf) R. D. Webster há cerca de 25 anos.

Na instalação da UD foi realizado o preparo de solo em área total, com grade aradora e grade niveladora. O plantio do eucalipto foi realizado em linhas niveladas e subsoladas, recebendo 500 kg de fosfato reativo por hectare na profundidade de 0,5 m. Foram plantadas mudas do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*, clone GG100. Cada muda recebeu 120 g de N:P:K 10:28:06 + 0,3% B + 0,5% Zn no plantio e 120 g de N:P:K 20:00:20 aos 60 dias.

O milho foi semeado entre os renques de eucalipto, recebendo 360 kg ha⁻¹ de N:P:K 08:28:16 + 0,5% Zn no plantio, e 240 kg de ureia ha⁻¹ aos 30 dias. Após a colheita do milho, a pastagem foi formada a partir do banco de sementes pré-existente na área, sendo o gado bovino de corte introduzido à partir do segundo ano.

Sistema de plantio do eucalipto

Foram avaliados três arranjos de plantio de eucalipto: CONV - convencional (3x3 m = 1.111 árvores ha⁻¹); SAF1 – agrossilvipastoril com linhas simples (2x10 m = 833 árvores ha⁻¹); SAF2 – agrossilvipastoril com linhas duplas (2x2+10 m = 500 árvores ha⁻¹).

Os dois SAFs são contíguos dentro da UD, ocupando uma extensão de 100 m lineares (50 m para cada SAF), formados por três renques de árvores, em linhas simples ou duplas, perfazendo 75 árvores no SAF1 e 150 árvores no SAF2. O CONV ocupa parcela de 50 x 100 m na UD e não recebeu plantio de milho.

Amostragem de árvores

A amostragem de árvores nos três sistemas foi realizada em setembro de 2019, decorridos 117 meses do plantio. Foram avaliadas 25 árvores em cada sistema, localizadas na linha central no SAF1, e de forma alternada nas duas linhas centrais no SAF e no CONV. Em cada árvore foi mensurado o DAP (diâmetro à altura do peito à 1,30 m do nível do solo), utilizando suta mecânica Haglöf, e a altura total (H), usando hipsômetro Blume Liess.

Volume de madeira, conicidade do tronco e ocupação do sítio

A produção de madeira comercial em cada arranjo foi estimada utilizando o método da árvore média (SCOLFORO; MELLO, 2006), por classe de DAP. Para tanto, a amplitude total de DAP em cada arranjo foi dividida em quatro quartis, sendo computadas as respectivas frequências amostrais em cada quartil e posteriormente transformadas em valores por hectare.

Foram selecionadas e abatidas quatro árvores-amostra em cada sistema, cujos DAPs fossem iguais às medianas de cada quartil. O volume comercial com casca (VC) de cada árvore-amostra foi determinado pelo somatório dos volumes de seções imaginárias de dois metros ao longo do tronco, até um diâmetro mínimo de 5 cm, utilizando a fórmula de *Smalian* (BURKHART *et al.*, 2019).

A conicidade dos troncos foi avaliada através do fator de forma (FF), expresso pela relação entre os volumes comercial e cilíndrico de cada árvore-amostra. O volume cilíndrico foi obtido pelo produto entre a área seccional da base do tronco e a altura comercial de cada árvore-amostra (BURKHART *et al.*, 2019).

A produção volumétrica de madeira por classe de DAP em cada sistema foi obtida multiplicando-se o número de árvores por hectare de cada classe pelo respectivo volume comercial da árvore-amostra representativa da classe de DAP considerada. O volume comercial total com casca por hectare foi obtido pelo somatório dos volumes das quatro classes de DAP para cada sistema estudado.

No sortimento de madeira comercial foram considerados dois tipos de produtos: toretes de 2,0 m e diâmetro ≥ 15 cm, destinados à serraria para produção de pallets; e mourões de 2,0 m e diâmetro ≥ 5 e < 15 cm.

A excentricidade da medula dos troncos foi obtida mensurando-se diretamente nos tocos das 12 árvores-amostra abatidas, localizando o centro geométrico e medindo a sua distância até a medula. A excentricidade (EXC) foi expressa pela relação percentual entre a distância do centro geométrico à medula e o diâmetro médio do toco (FERREIRA *et al.*, 2008).

O grau de ocupação do sítio florestal em cada sistema foi estimado utilizando-se a equação (1). Foi selecionado o modelo que proporcionou melhor ajuste e estimativa para o sítio estudado, dentre os modelos propostos por Pretzsch e Biber (2005).

$$\ln(N) = a - b \ln(Dq) \text{ (equação 1)}$$

Onde: N = número total de árvores por hectare

Dq = DAP médio quadrático das árvores do povoamento.

A partir da densidade de plantio de cada sistema, foi estimado o DAP médio quadrático (Dq) correspondente à capacidade máxima de ocupação do sítio, sendo assim possível verificar a ocorrência de estagnação do crescimento das árvores em cada sistema estudado por ocasião da mensuração.

Análise estatística dos dados

Considerou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, composto por três tratamentos, correspondentes aos sistemas de plantio das árvores, e cinco repetições. Cada parcela foi constituída por cinco árvores, selecionadas ao acaso, na linha central do SAF1 e alternadamente nas duas linhas centrais do SAF2 e CONV.

O valor das variáveis DAP, H, H/DAP, VC e FF em cada parcela foi obtido pela média aritmética das medições realizadas nas cinco árvores, exceto para o DAP, que foi considerada a média quadrática. Para a excentricidade da medula (EXC) foram consideradas quatro repetições, correspondentes às medições realizadas nos tocos das quatro árvores-amostra abatidas em cada sistema. As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas com o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) utilizando o *software SISVAR*.

RESULTADOS

Os SAF1 e SAF2 proporcionaram árvores com dimensões similares em termos de H, DAP e VC, e significativamente maiores aos observados nas árvores do CONV (Tabela 1). As árvores do CONV atingiram, em média, 77% do DAP, 79% da H e 50% do VC obtidos no SAF1.

TABELA 1. Características dendrométricas médias das árvores de eucalipto sob diferentes sistemas de plantio aos 117 meses.

Sistema	DAP	H	H/DAP	EXC.	VC	FF
	cm	m	m/cm	%	m ³	-
CONV	18,2 b	26,7 b	1,47 a	4,44 b	0,3434 b	0,41 a
SAF1	23,6 a	33,9 a	1,43 b	7,65 a	0,6851 a	0,42 a
SAF2	22,6 a	32,3 a	1,43 b	4,17 b	0,6103 a	0,40 a
CV (%)	5,93	5,87	6,30	28,79	29,07	6,34

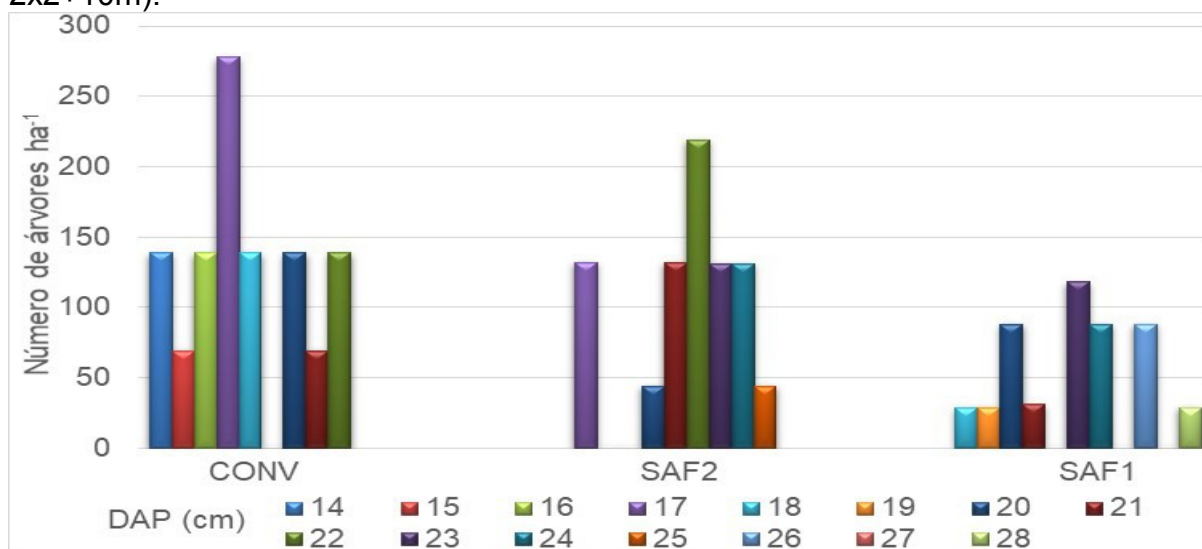
CONV = 3 x 3 m; SAF1 = 2 x 10 m; SAF2 = 2 x 2 + 10 m; CV = coeficiente de variação; DAP = diâmetro médio quadrático; H = altura total; EXC = excentricidade da medula; VC = volume individual comercial com casca; FF = fator de forma. As médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de teste de Scott-Knott a 5%.

As árvores do CONV apresentaram significativamente maior relação H/DAP, indicando que o adensamento afetou em menor magnitude o crescimento em H em relação ao DAP. A conicidade, expressa pelo FF, não foi significativamente influenciada pelos arranjos de plantio, enquanto a EXC foi maior no SAF1 e similar no CONV e SAF2 (Tabela 1).

As distribuições diamétricas nos arranjos CONV e SAF2 foram simétricas e com maior frequência em torno do ponto mediano, enquanto no SAF1 a tendência foi campanular e com maior amplitude de valores de DAP (Figura 1). As distribuições de H nos SAFs foram assimétricas, com maior frequência de árvores mais altas, enquanto no CONV a distribuição não apresentou uma tendência específica (Figura 2).

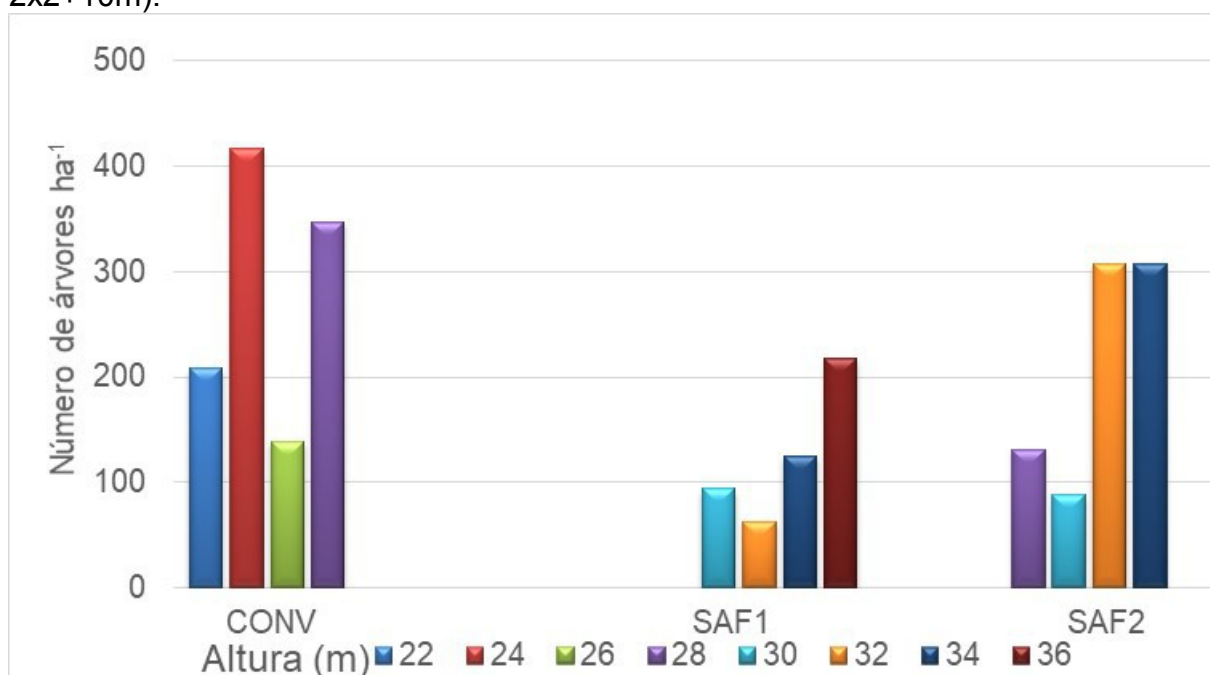
O porte das árvores foi expressivamente menor no CONV, sendo que apenas 31% apresentaram DAP \geq 20 cm e 100% atingiram H \leq 28 m. Por outro lado, no SAF1, 88% das árvores alcançaram DAP \geq 20 cm e 100% H \geq 30 m, enquanto no SAF2, 84% das árvores atingiram DAP \geq 20 cm e H \geq 30 m (Figuras 1 e 2).

FIGURA 1. Frequências de árvores por classe de DAP em diferentes arranjos de plantio de eucalipto aos 117 meses. (CONV = 3x3m; SAF1 = 2x10m; SAF2 = 2x2+10m).



Fonte: os autores

FIGURA 2. Frequências de árvores por classe de H em diferentes sistemas de plantio de eucalipto aos 117 meses (CONV = 3x3m; SAF1 = 2x10m; SAF2 = 2x2+10m).



Fonte: os autores

O menor VC por hectare foi obtido no SAF1, com produtividade média de 37,5 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 2). O CONV proporcionou uma produtividade intermediária, apesar da maior densidade de árvores, sendo estimada em 40,3 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto o maior VC foi obtido no SAF2, correspondente à 56,3 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. O CONV produziu 71,6% e o SAF1 atingiu 66,6% do VC obtido no SAF2.

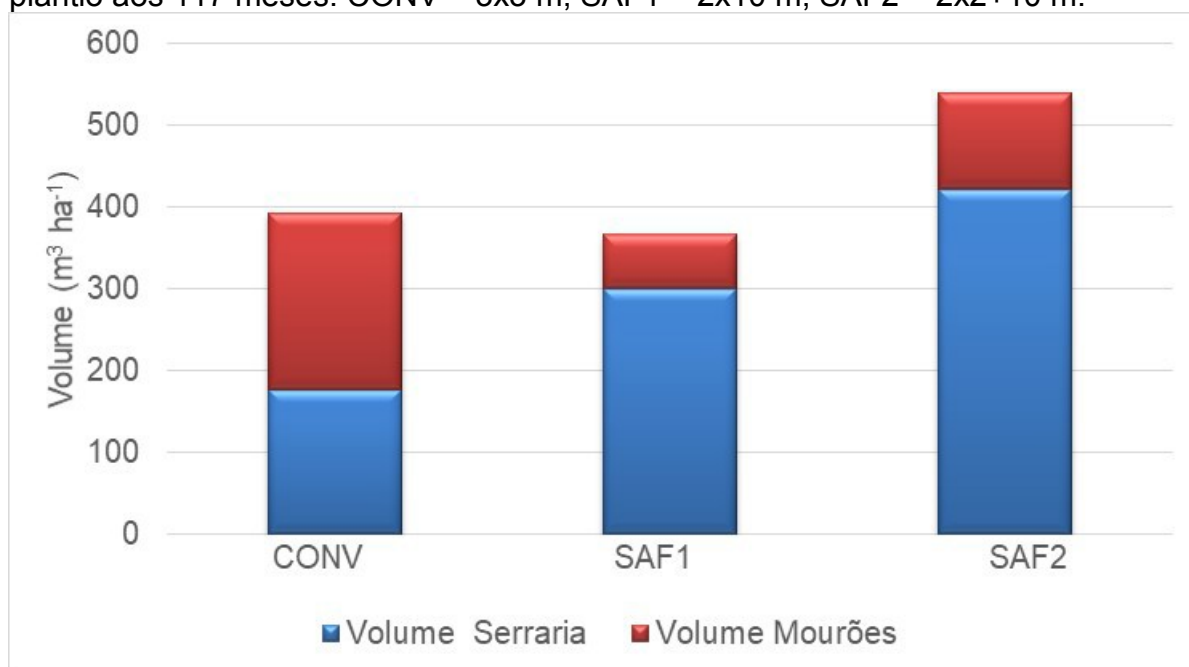
TABELA 2. Estimativas de características dendrométricas de povoamentos de eucalipto sob diferentes sistemas de plantio aos 117 meses.

Sistema	DP	Dq	VS	VM	VC
	ár. ha ⁻¹	cm	m ³ ha ⁻¹		
CONV	1.111	18,6	175,78	216,95	392,73
SAF1	500	29,8	300,00	65,60	365,60
SAF2	833	22,1	422,40	116,43	548,83

CONV = 3x3 m; SAF1 = 2x10 m; SAF2 = 2x2+10 m; DP = densidade de plantio; Dq = DAP médio quadrático; VC = produção volumétrica comercial de madeira com casca; VS = volume para serraria; VM = volume para mourões. *Ln (DQ) = [12 – Ln (N)] / 1,705, segundo Pretzsch & Biber (2005), onde DQ = DAP médio quadrático de suporte do sítio (cm) e N = n° de árvores ha⁻¹.

Em termos de sortimento de madeira (Tabela 2 e Figura 3), os SAF1 e SAF2 geraram os maiores percentuais de VS, correspondentes a 82 e 77% do VC, respectivamente, sendo que o SAF2 produziu 122 m³ ha⁻¹ a mais. Por outro lado, o CONV, com as árvores mais finas (Tabela 1 e Figura 2), proporcionou apenas 45% do sortimento comercial de madeira destinado à serraria (Tabela 2 e Figura 3).

FIGURA 3. Volume e sortimento de madeira de eucalipto sob diferentes arranjos de plantio aos 117 meses. CONV = 3x3 m; SAF1 = 2x10 m; SAF2 = 2x2+10 m.



Fonte: os autores

O maior volume de madeira comercial do SAF2 em relação ao SAF1 deve-se principalmente à menor densidade de árvores ha^{-1} (Tabela 2), pois as árvores individuais, nos dois sistemas, apresentaram VC (Tabela 1). Por outro lado, a maior densidade de árvores no CONV (+ 33,3%) não foi suficiente para superar a produção de madeira comercial do SAF2 (Tabela 2).

A avaliação do grau de utilização e ocupação da capacidade de suporte do sítio, expresso pela relação entre o número de árvores ha^{-1} (N) e o DAP médio quadrático (Dq), indicou que os estandes mais densos - CONV e SAF2 -, atingiram a capacidade de suporte do sítio, correspondentes aos Dq = 18,6 e 22,1 cm (Tabelas 1 e 2), respectivamente, e, portanto, apresentavam crescimento estagnado na época de medição, aos 117 meses. Por outro lado, o SAF1, com 500 árvores ha^{-1} , ainda não havia atingido a capacidade de suporte do sítio, correspondente ao Dq = 29,8 cm (Tabela 2), restando ainda a margem de 6,2 cm para crescimento no Dq do povoamento, podendo aproximar-se mais, igualar ou mesmo superar o volume de madeira comercial produzida no CONV, com 1.111 árvores ha^{-1} .

DISCUSSÃO

Os SAFs produziram árvores de maior H, DAP, VC e menor relação H/DAP em comparação ao CONV. Inúmeras pesquisas relatam que o espaçamento entre as árvores numa floresta plantada influencia o crescimento em DAP e H, o volume e a conicidade dos troncos.

O DAP é a característica dendrométrica mais afetada pelo espaçamento, de maneira que o adensamento produz árvores mais finas, com maior relação H/DAP e menor volume individual (PRETZSCH, 2020). Os espaçamentos menores tendem a reduzir a altura média das árvores (AKERS *et al.*, 2013; HÉBERT *et al.*, 2016), ou pouco afetá-las (OLIVEIRA *et al.*, 2018), conforme observado nessa pesquisa.

A maior penetração de luz no dossel prolonga a sobrevivência de ramos baixos, favorece o desenvolvimento da copa, o engrossamento da base do tronco

para estabilização da árvore (AKERS *et al.*, 2013) e aumenta o afilamento em direção ao ápice (RADOMSKI; RIBASKI, 2010). Esse tipo de crescimento resulta em toras com maior conicidade e com menor rendimento em madeira serrada (CORRÊA *et al.*, 2020). Mas, o espaçamento pode não afetar significativamente a conicidade dos troncos (CATERINA, 2017), conforme os resultados encontrados.

O maior volume de copa eleva o índice de área foliar, ou seja, a área foliar por unidade de terreno, afetando o crescimento das árvores (SILVA *et al.*, 2019). Portanto, ao utilizar espaçamentos maiores nos SAFs, reduz-se a competição pela luz e favorecendo o crescimento das árvores em relação ao CONV.

Apesar do maior sombreamento, as florestas adensadas utilizam mais eficientemente a luz, pois as árvores possuem a capacidade de aclimação em resposta às condições ecofisiológicas (AKERS *et al.*, 2013). Algumas características de aclimação ocorrem através de modificações fisiológicas e morfológicas nas folhas e no aparato fotossintético, como o aumento do teor de clorofila, da área foliar e da área foliar específica, da condutância estomática e da taxa de transpiração (KOZLOWSKI *et al.*, 2012). Outra possibilidade de resposta ecofisiológica das árvores à competição por luz envolve a partição de fotoassimilados destinada ao crescimento longitudinal em detrimento do radial (SALA *et al.*, 2012). No presente caso, a maior relação altura/diâmetro das árvores no CONV confirma essa tese.

A densidade de plantio das árvores está diretamente relacionada com a produtividade florestal (ELOY *et al.*, 2018). Entretanto, estudos mostram que um maior volume de madeira pode ser obtido até certo nível de adensamento (CATERINA, 2017), pois o espaçamento menor compromete o crescimento devido a competição excessiva entre as árvores (AKERS *et al.*, 2013). Por outro lado, como nos povoamentos mais densos a estagnação do crescimento ocorre precocemente em relação aos espaçamentos maiores, o volume de madeira produzido tende a se igualar com o passar do tempo (CATERINA, 2017).

Estudos de longo prazo mostram que a densidade inicial de plantio das árvores tem pouco efeito no rendimento volumétrico final de madeira (OLIVEIRA *et al.*, 2018), e que povoamentos mais abertos tendem a superar o volume de madeira produzido nos adensados (CATERINA, 2017). Tal fato pode ser constatado nesta pesquisa, pois o plantio CONV, com 1.111 árvores ha⁻¹, apresentou 71% do volume de madeira comercial produzido no SAF2, com 833 árvores ha⁻¹, ambos com crescimento já estagnado aos 117 meses.

Vale ressaltar que diferentes arranjos espaciais de SAFs, mas com a mesma densidade de árvores por hectare, apresentam crescimentos diferenciados. Os SAFs com linhas duplas aumentam a competição e geram árvores com menor diâmetro e altura em relação aos SAFs em linhas simples, para uma mesma densidade de plantio (VENTURIN, 2012).

No presente estudo, observou-se que o SAF1, com linhas simples, proporcionou 82% do total de madeira comercial destinada a serraria, enquanto no SAF2, em linhas duplas, foram 77%, evidenciando as menores dimensões das toras neste último caso.

Segundo o relatório publicado pela Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2019), as florestas plantadas brasileiras estão entre as mais produtivas do mundo, com produtividade média para o eucalipto de 36 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. No presente caso, considerando somente o volume comercial de madeira, todos os arranjos avaliados apresentaram estimativas de produtividade superiores à média nacional, oscilando entre 37 e 56 m³ ha⁻¹ ano⁻¹.

Venturin (2012) obteve uma produtividade de 24 m³ ha⁻¹, em um SAF com linhas duplas 2 x 10 m, e de 29 m³ ha⁻¹, em plantio convencional 3,3 x 3,3 m de um clone de eucalipto aos 144 meses. Alvarenga *et al.* (2019) obtiveram 31 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ num SAF 2 x 2 + 9 m e 28 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em SAF 9 x 2 m, para um clone de *Urograndis* aos sete anos em Sete Lagoas-MG.

Vale ressaltar que no SAF2, o arranjo em linhas duplas provocou o encurvamento lateral dos troncos em direção ao centro da alameda, devido a maior incidência lateral de luz nas copas em relação à entrelinha em função do sombreamento mútuo. O encurvamento gera um crescimento diferenciado entre o lado interno e externo nas linhas de plantio, podendo afetar a qualidade da madeira para serraria ou postes, devido às rachaduras e/ou tortuosidade (VENTURIN, 2012; FERREIRA *et al.*, 2019).

Os arranjos de plantio em SAFs podem criar efeitos de vizinhança entre as árvores, promovendo um crescimento radial diferenciado, excentricidade da medula e toras elípticas, com qualidade inferior (RADOMSKI; RIBASKI, 2009), mais propensas ao empenamento, formação de fendas circulares entre os anéis de crescimento e tábuas de estrutura anatômica desuniforme (FERREIRA *et al.*, 2008). A excentricidade da medula acima de 5% indica tora elíptica de qualidade inferior (ZENID, 1990).

No presente estudo, somente o SAF1, com linhas simples, apresentou excentricidade média acima de 5%, sinalizando para maior possibilidade de obter-se madeira com defeitos. Os arranjos CONV e SAF2 apresentaram excentricidade média inferiores a 4,5%, indicando que o arranjo de SAF com linhas duplas foi eficaz em prevenir a formação de troncos elípticos. No SAF1, as copas das árvores recebem maior quantidade de luz lateral, favorecendo a formação de fuste com seção transversal assimétrica, com maior diâmetro no sentido da entrelinha e achatamento no sentido da linha de árvores (RADOMSKI; RIBASKI, 2010).

As árvores nos SAFs ficam mais expostas à ação dos ventos, podendo resultar na formação de tronco e copa assimétricos (ANJOS *et al.*, 2016). Entretanto, a excentricidade da medula e o achatamento do tronco não se relacionam diretamente com a direção regional dos ventos dominantes, mas podem ser afetadas pela direção dos ventos dominantes e pelo fototropismo em nível local (FERREIRA *et al.*, 2008). No presente caso, além do arranjo espacial das árvores, a direção do vento local também pode ter influenciado na excentricidade da medula, notadamente no SAF1, com linhas simples e árvores lateralmente isoladas.

Finalmente, cabe destacar que no planejamento dos SAFs é extremamente importante considerar a densidade, o espaçamento, o arranjo espacial das árvores e o adequado manejo das árvores, pois o sortimento de produtos madeireiros é afetado por diferenças mínimas nesses fatores (MACEDO *et al.*, 2019). Os arranjos em linhas duplas, por exemplo, aumentam a competição e geram árvores mais finas em relação aos arranjos em linhas simples, para uma mesma densidade de plantio (VENTURIN, 2012).

CONCLUSÃO

A redução do espaçamento produziu árvores com menor diâmetro, altura e volume comercial de madeira. O maior volume comercial e de madeira para serraria foi obtido no sistema agrossilvipastoril com linhas duplas, mas o aproveitamento pode ser comprometido pelo encurvamento dos troncos.

O sistema agrossilvipastoril com linhas simples não atingiu a estagnação de crescimento por ocasião da avaliação; proporcionou o menor volume de madeira comercial e próximo ao obtido no sistema convencional, mas com maior volume para serraria. No sistema convencional houve predomínio de madeira fina destinada a mourões.

REFERÊNCIAS

AKERS, M.K.; KANE, M.; ZHAO, D.; TESKEY, R.O.; DANIELS, R.F. Effects of planting density and cultural intensity on stand and crown attributes of mid-rotation loblolly pine plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 468–475, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.062>.

ALVARENGA, R.C.; VIANA, M.C.M.; CARVALHO, E.R.O.; ALBERNAZ, W.M.; R.P. VENTURIN *et al.* Integração lavoura-pecuária-floresta na região central de Minas Gerais, Brasil. In: BUNGENSTAB, D.J., ALMEIDA, R.G., LAURA, V.A., BALBINO, L.C.; FERREIRA, A.D. (eds). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa, 2019, p. 670-686.

ANJOS, A.F.T.; W.W.; SARTORI, H. MORALES, TONINI; M.M.; SILVA, V.P. Performance and quality of wood in a clone of *Eucalyptus* in monoculture and silvipastoral system. **Nativa**, v. 4, n. 2, p. 77-81, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v04n02a04>.

BUNGENSTAB, D.J., ALMEIDA, R.G., LAURA, V.A., BALBINO, L.C.; FERREIRA, A.D. (eds). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília: Embrapa, 2019. 835p.

BURKHART, H.E.; AVERY, T.E.; BULLOCK, B.P. **Forest measurements**. Long Grove, IL: Waveland Press, 2019. 434p.

CATERINA, G.L. **Curvas de crescimento de Eucalyptus spp em plantios de diferentes espaçamentos**. 2017, 82f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017.

CORDEIRO, S.A.; SILVA, M.L.; OLIVEIRA NETO, S.N.; OLIVEIRA, T.M. Simulação da variação do espaçamento na viabilidade econômica de um sistema agroflorestal. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 1, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.034613>.

CORRÊA, R.S.; SOARES, T.S.; ALVES, M.A.; SOUZA, J.P.; VIEIRA, E.M. Espaçamentos de plantio promovem produção distinta em híbrido de eucalipto. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n.3, p. 1073-1079, 2020. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/7887>

ELOY, E.; SILVA, D.A.; CARON, B.O.; ELLI, E.F.; SCHWERZ, F. Effect of age and spacing on biomass production in forest plantations. **Revista Árvore**, v. 42, n.2, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000200014>

FERREIRA, A.D.; SERRA, A.P.; MELOTTO, A.M.; BUNGENSTAB, D.J.; LAURA, V.A. Manejo das árvores e propriedades da madeira em sistema de ILPF com

eucalipto. In: BUNGENSTAB, D.J., ALMEIDA, R.G., LAURA, V.A., BALBINO, L.C.; FERREIRA, A.D. (eds). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa, 2019. p. 455-472.

FERREIRA, S.; LIMA, J.T.; TRUGILHO, P.F.; MONTEIRO, T.C. Excentricidade da medula em caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Cerne**, v. 14, n. 4, p. 335-340, 2008. Disponível em: <https://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/229/198>

HÉBERT, F.KRAUSE, C.; PLOURDE, P.Y.; ACHIM.A.; PREGENT.C.; Effect of tree spacing on tree level volume growth, morphology, and wood properties in a 25-year-old *Pinus banksiana* plantation in the boreal forest of Quebec. **Forests**, v. 7, n. 11, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f7110276>

IBÁ – Indústria brasileira de árvores. **Relatório IBÁ 2019**. São Paulo: IBÁ, 2019. 79p.

KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P.J.; PALLARDY, S.G. **The physiological ecology of woody plants**. Academic Press, 2012. 657 p.

MACEDO, R.L.G; R.P. VENTURIN; M.C.M. VIANA; N. VENTURIN; F. CARVALHO *et al.* O componente arbóreo e suas interações no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. In: BUNGENSTAB, D.J., ALMEIDA, R.G., LAURA, V.A., BALBINO, L.C.; FERREIRA, A.D. (eds). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa, p. 473-492, 2019.

MATOS, A.P., FERNANDES, C.D.A.F., MAMÉDIO, J.E.S., GAIÃO, L.O., FERNANDES, V.S. Agricultores multiplicadores de agricultura sustentável. In: SOUSA, C.S.; SOUSA LIMA, F.; SABIONI, S. C. (orgs.). Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável, v. 1. Guarujá: Científica Digital, p. 13-25, 2021.

MELOTTO, A.M.; LAURA, V.A.; BUNGENSTAB, D.J.; FERREIRA, A.D. Espécies florestais em sistemas de produção em integração. In: BUNGENSTAB, D.J., ALMEIDA, R.G., LAURA, V.A., BALBINO, L.C.; FERREIRA, A.D. (eds). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa, p. 429-454, 2019.

OLIVEIRA, I.R.; CHAGAS, M.P.; BOUILLET, J.P.; LONGUI, E.L.; I.L. LIMA *et al.* Effect of tree spacing on growth and wood density of 38-year-old *Cariniana legalis* trees in Brazil. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 80, n. 4, p. 311-318, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2989/20702620.2017.1393741>

PRETZSCH, H.; BIBER, P. A re-evaluation of Reineke's rule and stand density index. **Forest Science**, v. 51, n. 4, p. 304-320, 2005. Disponível em: <https://academic.oup.com/forestscience/article/51/4/304/4617289?login=true>

PRETZSCH, H. Density and growth of forest stands revisited. Effect of the temporal scale of observation, site quality, and thinning. **Forest Ecology and Management**, v. 460, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117879>

RADOMSKI, M I.; RIBASKI, J. **Sistemas silvipastoris: aspectos da pesquisa com eucalipto e grevilea nas regiões sul e sudeste do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 40 p.

RAMDOMSKI, M.I.; RIBASKI, J. **Excentricidade da medula em *Grevilea robusta* e *Corymbia citriodora* cultivados em sistema silvipastoril**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 6 p.

ROSCOE, R. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e o sistema de inovação na agricultura brasileira. **In: BUNGENSTAB, D.J., ALMEIDA, R.G., LAURA, V.A., BALBINO, L.C.; FERREIRA, A.D. (eds). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília: Embrapa, 2019, p. 71-82, 2019.

SALA, A.; WOODRUFF, D.R.; MEINZER, F.C. Carbon dynamics in trees: feast of famine? **Tree Physiology**, v. 32, n. 6, p. 764–775, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpr143>

SILVA, J. M.; COSTA, E. C.; COSTA, E. A.; PEDRON, L., MACHADO, D.N. *et al.* Relações dimensionais em árvores de *Olea europaea*. **Agropecuária Técnica**, v. 40, n. 3-4, p. 64-70, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.25066/agrotec.v40i3-4.44060>

SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M. **Inventário florestal**. Lavras: UFLA, 2006. 561p.

SILVA, E.C.; GAMA, J.R.V.; RODE, R.; COELHO, A.L.M. Tree species growth in a silvipastoral system in Amazon. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n.3, p. 95-103, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12736>

VENTURIN, R.P. **Análise técnica e econômica de um clone de *Eucalyptus* sob diferentes arranjos estruturais em sistema agrossilvipastoril**. 2012 119f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

ZENID, G.J. **Noções de classificação de toras e de madeiras serradas**. São Paulo: IPT, 1990. 62p.