

DIOGO SENA BAIERO

**ANÁLISE SILVICULTURAL DE CLONES DE EUCALIPTO EM ALTO FUSTE E TALHADIA
EM SISTEMA SILVIPASTORIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

B152a Baiero, Diogo Sena, 1990-
2017 Análise silvicultural de clones de eucalipto em alto fuste e
talhadia em sistema silvipastoril / Diogo Sena Baiero. - Viçosa,
MG, 2017.
viii, 42f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 34-42.

1. Eucalipto - Propagação. 2. Brotos (Plantas).
3. Agrossilvicultura. 4. Madeira - Produtos. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. II. Título.

CDO adapt. CDD 22. ed. 634.918151

DIOGO SENA BAIERO

**ANÁLISE SILVICULTURAL DE CLONES DE EUCALIPTO EM ALTO FUSTE E TALHADIA
EM SISTEMA SILVIPASTORIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de julho de 2017.



Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira



Helio Garcia Leite



Maria das Graças Ferreira Reis
(Coorientadora)



Geraldo Gonçalves dos Reis
(Orientador)

φ

"Finda a tempestade
O sol nascerá
Finda esta saudade
Hei de ter outro alguém para amar

A sorrir
Eu pretendo levar a vida
Pois chorando
Eu vi a mocidade perdida."
Cartola

*"Never doubt that a small group of thoughtful,
committed citizens can change the world;
indeed, it's the only thing that ever has."*
Margaret Mead

Entendendo-se a educação como o
desenvolvimento cognitivo, intelectual,
afetivo, físico e social, seria alvo de críticas
limitar o processo de aprendizagem a apenas
aquilo que é transmitido por vias acadêmicas.
Autoria própria

À Vó Elza (*in memoriam*) pela sabedoria e valores
Dedico.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Silvana e a meu pai José Luiz, pelos valores, apoio e encorajamento.

Aos professores Geraldo G. Reis e Maria das Graças F. Reis, meus orientadores e amigos, pela orientação, paciência, amizade, confiança e ensinamentos, imprescindíveis em todas as fases do curso.

À Votorantim Siderurgia S.A. (VS), pelo apoio e possibilidade de realização desta pesquisa.

À equipe de estudantes de pós-graduação do Laboratório de Ecologia e Fisiologia Florestal, em especial, Jônio P. Caliman, Felipe C. de Souza, Filipe V. Cacao, Rodolfo A. Barbosa, Junio S. Amorim, Carlos Henrique R. de Oliveira, Ronan S. Faria, Thales Guilherme V. Martins e Cátia C. da Silva, pela amizade, pelo convívio, pelo auxílio e pelo esforço na coleta de dados.

Ao Professor Helio Garcia Leite, pelas dúvidas sanadas, ensinamentos, participação na banca examinadora e contribuições.

Ao Professor Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira, pela participação na banca examinadora e contribuições.

A meus amigos Marcos Antônio da S. Miranda, Tiago José F. de Oliveira, Wagner D. Canal, Frederico Pozenato M. de Oliveira, Renato Augusto P. Damásio, Gustavo S. Fernandes, Vinicius G. T. Ayres, Vinícius N. de Sousa, Gustavo A. Celso, Jomar S. Magalhães, João R. S. de O. Almeida, Alexandre G. Ferraz, José Henrique P. N. Caixeta, Luiz Fernando N. Gardioli, Moacir M. Lima.

A Guilherme F. Simiquelli e a Rafael Tassinari pelo auxílio e apoio.

Aos meus irmãos Matheus e Murilo pela fraternidade.

Ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF), ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) e à Universidade Federal de Viçosa (UFV), todos os seus professores e funcionários, pela formação pluralista e oportunidade de realização do curso.

Ao ensino público brasileiro, todos seus professores e funcionários pelos ensinamentos e formação.

Aos órgãos financiadores de pesquisa e ensino, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (Capes) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) pelo apoio financeiro.

Aos amigos de república “Lobo Mau” Lucas G. Dornelas, Everton de C. Marques, Murilo S. Baiero, Felipe B. Nunes, Matheus B. dos Reis pelo companheirismo e amizade.

À administração da Universidade Federal de Viçosa, reitora, vice-reitor, pró-reitores, diretores de centro, chefes de departamento, coordenadores de curso e outros, pelos ensejos de visão crítica e contraditório e pela oportunidade de representatividade discente na pós-graduação.

A todos não citados, mas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

A Deus pelo dom da vida, à Nossa Senhora Aparecida, padroeira do Brasil, por ser depositária de fé e a Santo Expedito, das causas justas e urgentes.

BIOGRAFIA

DIOGO SENA BAIERO, filho de Silvana do Carmo Sena Baiero e José Luiz Baiero, nasceu na cidade de Jundiaí, São Paulo, Brasil, em 26 de abril de 1990.

Em março de 2010, iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, graduando-se em julho de 2015.

Entre agosto de 2013 e janeiro de 2015 participou de intercâmbio e mobilidade acadêmica na *Curtin University of Technology*, Perth, Austrália.

Em agosto de 2015, ingressou no curso de pós-graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa concluindo os requisitos para obtenção do título de *Magister Scientiae* em julho de 2017.

Foi Diretor Geral da Associação de Pós-Graduandos da Universidade Federal de Viçosa (APG UFV).

Foi representante discente da pós-graduação no Conselho Universitário, no Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão, no Conselho Técnico de Pós-Graduação, no Conselho Técnico de Pesquisa, no Colegiado do Departamento de Engenharia Florestal e na Comissão Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Gerais	3
2.2 Específicos.....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	4
3.1. Descrição da área de estudo.....	4
3.2. Instalação do experimento	5
3.3. Coleta e processamento de dados.....	6
3.3.1. Sobrevivência, diâmetro quadrático médio, distribuição de diâmetros e produção do componente arbóreo.....	6
3.3.2. Índice de área foliar do componente arbóreo	8
3.3.3. Avaliação da massa seca da parte aérea da pastagem	8
3.4. Análise de dados	9
3.4.1. Sobrevivência, diâmetro quadrático médio, produção e <i>IAF</i>	9
3.4.2. Sortimento em multiprodutos	9
4. RESULTADOS.....	10
4.1. Sobrevivência	10
4.2. Diâmetro quadrático médio	14
4.3. Distribuição de diâmetros.....	15
4.4. Produção do componente arbóreo	17
4.5. Otimização do sortimento em multiprodutos	19
4.6. Índice de área foliar do componente arbóreo.....	21
4.7. Produção da parte aérea da pastagem.....	24
5. DISCUSSÃO.....	25
6. CONCLUSÕES	33
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

RESUMO

BAIERO, Diogo Sena, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Análise silvicultural de clones de eucalipto em alto fuste e talhadia em sistema silvipastoril.** Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis. Coorientadora: Maria das Graças Ferreira Reis.

A integração dos componentes arbóreo, agrícola e animal pode permitir melhor uso da terra, reduzir desmatamento e gerar renda para o produtor. Este estudo visou analisar a viabilidade de implantação e o sortimento em multiprodutos de clones de eucalipto (GG100, 2, 19, 58 e 62), em três arranjos espaciais [(2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m] e dois regimes de corte (alto fuste e talhadia de plantas jovens), em sistemas silvipastoris. O estudo foi realizado na Votorantim Siderurgia S.A., em Vazante, MG (17°36'09''S e 46°42'02''O), no bioma Cerrado, aos 90 meses após o plantio. No componente arbóreo foram analisados sobrevivência, diâmetro quadrático médio, distribuição de diâmetros, produção, sortimento em multiprodutos e índice de área foliar (*IAF*) e, na pastagem, produção de massa seca. Não foi observada diferença na sobrevivência entre regimes de corte. A sobrevivência foi baixa e o *IAF* foi elevado, para o clone 2, em especial nos arranjos (2x2) + 10 m e 9x3 m. A variação no *IAF* foi baixa ao longo da entrelinha. O clone GG100 em talhadia e o clone 58 em alto fuste foram os mais produtivos, ambos no arranjo (3x3) + 9 m. O clone GG100 pode ser manejado através da talhadia em sistemas silvipastoris, pois produziu árvores de diâmetro maior que o alto fuste. Este clone também favoreceu a produção da pastagem na entrelinha de plantio, em especial no arranjo (3x3) + 9 m. O alto fuste apresentou maior aproveitamento volumétrico e receita no sortimento da madeira em multiprodutos que a talhadia, em sistema silvipastoril. A produção de eucalipto na talhadia, considerando horizonte de planejamento de uma única rotação de 90 meses, foi menor do que a produção obtida na idade técnica de corte da talhadia (ITC_{ta}) acrescida da produção residual ($90 - ITC_{ta}$), para a maioria dos tratamentos. Em conclusão, é importante a avaliação do desempenho de genótipos do componente arbóreo, em função de arranjos espaciais e regimes de corte, para obtenção de maior eficiência econômica e técnica de sistemas silvipastoris. A decepa de plantas jovens com manejo em rotações curtas, com base na idade técnica de corte, otimiza a produção da talhadia. O manejo em alto fuste implica em maior receita e rendimento volumétrico que a talhadia com o sortimento em multiprodutos.

ABSTRACT

BAIERO, Diogo Sena, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Silvicultural viability of eucalypt clones managed as high forest and coppice in silvopastoral system.** Adviser: Geraldo Gonçalves dos Reis. Co-adviser: Maria das Graças Ferreira Reis.

The integration of tree, crop and livestock components can allow higher land use, reducing deforestation and generating income for producers. The objective of this study was to analyse the feasibility of implantation and the multiproduct assortment of eucalypt clones (GG100, 2, 19, 58 and 62) in three arrangements [(2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m and 9x3 m] and two managements regimes (high forest and coppice of juvenile plants) in silvopastoral systems. The study was carried out at Votorantim Siderurgia S.A., in Vazante, MG, Brazil (17°36'09"S and 46°42'02"W), in the savanah biome, at 90 months after planting. Survival, mean square diameter, diameter distribution, production, multiproducts assortment and leaf area index (*LAI*) were obtained for the tree component, and dry mass production for the pasture. No difference was observed in survival between harvesting regimes. Low survival and high *LAI* were observed for clone 2, especially in the (2x2) + 10 m and 9x3 m. The variation in *LAI* was low along the interrow. The GG100 clone coppice and 58 clone high forest were the most productive, both in the (3x3) + 9 m arrangement. The GG100 clone can be managed through coppice in silvopastoral systems, because it produced larger diameter trees than coppice. This clone also favoured pasture production in the interrow, especially in the (3x3) + 9 m arrangement. High forest showed greater production and income with the wood assortment into multiproducts as compared to coppice, in silvopastoral system. The production as coppice, considering a planning horizon of a single rotation of 90 months, was lower than the production as coppice obtained in the technical cutting age (TCA_{co}) plus the residual production ($90 - TCA_{co}$), for most treatments. In conclusion, it is important to evaluate the performance of tree genotypes, as a function of spatial arrangements and harvesting regimes, in order to obtain higher economic and technical efficiency of silvopastoral systems. It is highlighted that coppice of juvenile plants should be analysed based on the technical cutting age, allowing optimization of the coppice production. The high forest management regime allows greater revenue and yield than coppice in multiproduct assortment at 90 months after planting.

1. INTRODUÇÃO

O uso de sistemas agroflorestais (SAF's) tem sido considerado opção eficiente no manejo de ecossistemas a longo prazo. Além da possibilidade de sequestro de carbono (NAIR et al., 2010), os SAFs podem gerar renda (SCHROTH et al., 2016), evitar a conversão de áreas naturais em monocultivos (TREMBLAY et al., 2014) e manter ou aumentar a biodiversidade (CLOUG et al., 2011; NOGUÉ et al., 2017), dentre outros. No Brasil, grande parte das pastagens para criação extensiva de gado bovino, em razão do processo acentuado de degradação, apresentam-se com baixa produtividade e baixa capacidade de lotação animal (VILELA et al., 2011; MARTHA-JUNIOR et al., 2012; SOARES-FILHO et al., 2014). A implementação de sistemas integrados de produção em áreas de pastagens degradadas pode otimizar os benefícios do consórcio arbóreo com as culturas agrícolas e os animais, através da adequação do tempo de cultivo, do intervalo entre os plantios e da diversificação de espécies na mesma área (SMUKLER et al., 2010; ANGHINONI et al., 2013; SCHROTH et al., 2016; AMORIM, 2016).

Diversos tipos de SAF's têm tido ampla aceitação no território nacional (DUBÈ et al., 2002; PACIULLO et al., 2011; XAVIER et al., 2014; SOUSA et al., 2015; FERREIRA et al., 2016; LEMOS-JUNIOR et al., 2016; CLEMENTE et al., 2017). Estes sistemas, quando adequadamente manejados, podem ser úteis na recuperação das pastagens degradadas, além de possibilitar ganho com a exploração racional de seus componentes (ALMEIDA et al., 2003; TREMBLAY et al., 2014; BUDIHARTA et al., 2016; KARVATTE et al., 2016). A capacidade produtiva de áreas de pastagem degradadas pode ser recuperada, por exemplo, através da fertilização, do controle da carga de animais, do plantio direto e da rotação de culturas agrícolas, dentre outros (OLIVEIRA et al., 2007; PACIULLO et al., 2011; MARTHA-JUNIOR et al., 2012; SANTOS et al., 2016).

Apesar dos altos índices de produtividade dos plantios florestais, a utilização de sistemas mais diversificados, como sistemas silvipastoris, pode contribuir para a sustentabilidade do consórcio dos componentes arbóreo, agrícola e animal (KIRSCHENMANN, 2007; NAIR et al., 2010; LANA et al., 2016). Sistemas silvipastoris contribuem para diminuir riscos econômicos (VALE et al., 2004; LAZZAROTTO et al., 2010; AMORIM, 2016), melhorar as condições edáficas e climáticas (PACIULLO et al.,

2011; PEZZOPANE et al., 2014; SOUSA et al., 2015; FERREIRO-DOMÍNGUEZ et al., 2016; SANTOS et al., 2016), aumentar o conforto animal (XAVIER et al., 2014), sequestrar carbono da atmosfera (NAIR et al., 2010; CUARTAS-CARDONA et al., 2014), bem como reduzir doenças, pragas e plantas daninhas (PUMARIÑO et al., 2015; SOUSA et al., 2015).

Dada a ampla contribuição dos sistemas silvipastoris, ainda há informações limitadas sobre a interação entre seus componentes, especialmente, o efeito da disponibilidade de radiação sobre a produção e a qualidade da forragem (XAVIER et al., 2002; PACIULLO et al., 2011; CUARTAS-CARDONA et al., 2014; SOUSA et al., 2015; KARVATTE et al., 2016). Existem variações na copa de diferentes genótipos de eucalipto (CEULEMANS et al., 1996; FONTAN et al., 2011), o que pode influenciar a transmitância da radiação para a produção de pastagem (BURNER; BRAUER, 2003; PACIULLO et al., 2007; WALL et al., 2010; OLIVEIRA, 2014; PEZZOPANE et al., 2014; KARVATTE et al., 2016; LANA et al., 2016; SANTOS et al., 2016). Copas maiores e arranjos espaciais mais densos do componente arbóreo podem diminuir a produção da forragem (ROZADOS-LORENZO et al., 2007; DEVKOTA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2016).

O eucalipto tem sido amplamente utilizado como componente arbóreo em SAF's, especialmente no Brasil, pois apresenta elevada produtividade e sua madeira atende a diversas características tecnológicas, além de ter ampla adaptação a diversos ambientes (FORRESTER et al., 2010; RAMOS et al., 2014; SANTOS et al., 2015; REIS et al., 2017). Ressalta-se a capacidade do eucalipto em emitir brotações após o seu corte e, então, ser manejado por talhadia em rotações subsequentes.

Os trabalhos sobre brotação de eucalipto têm sido desenvolvidos, principalmente, para povoamentos puros (BLAKE, 1980; SCHÖNAU, 1991; SESBOU; NEPVEU, 1991; CEULEMANS et al., 1996; MIRANDA et al., 1998; SOUZA et al., 2012; MIRANDA; PEREIRA, 2015; SOUZA et al., 2015). Estudos sobre arranjo espacial e genótipos do componente arbóreo, especialmente de eucalipto, em SAF's, têm sido desenvolvidos para alto fuste (DUBÈ et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2007; PRASAD et al., 2010; PAULA et al., 2013; FERREIRA et al., 2016; CLEMENTE et al., 2017). As informações são limitadas quando o componente arbóreo, consorciado com a pastagem, é manejado por talhadia (LOPES, 2012; OLIVEIRA, 2014; AMORIM, 2016).

O regime de talhadia pode ser vantajoso devido à elevada taxa de crescimento inicial das brotações, muito superior à de povoamentos jovens em regime

de alto fuste. Na talhadia, pode ocorrer antecipação do corte em razão da produtividade máxima ser atingida em idades mais jovens (KAUPPI et al., 1988; PAULA et al., 2013; SOUZA et al., 2015). Cacau et al. (2008) e Souza et al. (2012) relataram que a taxa de crescimento inicial de brotações de eucalipto foi superior à observada para o manejo em alto fuste com a mesma idade. O crescimento inicial acentuado nas brotações ocorre, provavelmente, em razão da existência de sistema radicular já estabelecido, possibilitando o uso imediato de reservas orgânicas e inorgânicas presentes nas raízes ou na cepa, além da pronta absorção de água e nutrientes (REIS; KIMMINS, 1986; KAUPPI et al., 1988). Sistemas de produção que utilizem arranjos espaciais amplos, como nos sistemas silvipastoris, podem ser manejados por talhadia em razão de benefícios econômicos e ambientais (KLEIN et al., 1997; SOUZA et al., 2015), como aqueles decorrentes de menor custo em relação à implantação, à reforma e o menor impacto negativo sobre o solo.

Assim, há a necessidade de se realizar a avaliação silvicultural de genótipos de eucalipto em diferentes arranjos espaciais, consorciados com pastagem, visando a adequação técnica e o retorno econômico de seus componentes. Da mesma forma, existe a necessidade de avaliar a talhadia como forma de manejo da brotação, em sistemas silvipastoris.

2. OBJETIVOS

2.1 Gerais

O objetivo deste estudo foi analisar a viabilidade de implantação e o sortimento em multiprodutos de cinco clones comerciais de eucalipto, em três arranjos espaciais e dois regimes de corte, em sistema silvipastoril, aos 90 meses após o plantio.

2.2 Específicos

1. Avaliar a sobrevivência, o diâmetro quadrático médio e a distribuição de diâmetros do componente arbóreo de sistemas silvipastoris;
2. Determinar a produção de madeira de clones de eucalipto e produção de massa seca da pastagem de braquiária nos sistemas estudados;
3. Comparar a produção de madeira do componente arbóreo em alto fuste com a projeção de produção da talhadia para o horizonte de planejamento na idade técnica de corte;
4. Otimizar o sortimento em multiprodutos de madeira nos regimes de alto fuste e talhadia, em sistema silvipastoril;
5. Avaliar o índice de área foliar do componente arbóreo e a produção de massa seca da pastagem de braquiária nos sistemas estudados, na região de cerrado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Votorantim Siderurgia S.A., no Município de Vazante, MG (17°36'09''S e 46°42'02''O), em área inserida no bioma Cerrado, na altitude média de 550 m. O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo "Aw" - subtropical úmido de savana. A precipitação média anual na área é de 1.473 mm concentrada no período de novembro a março e a temperatura média anual é de 21,9°C (ALVARES et al., 2013). O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, textura argilosa, fase cerrado, de baixa fertilidade e elevada acidez (EMBRAPA SOLOS, 2006). A ocupação da área era pastagem degradada de braquiária com pastejo extensivo. Antes da instalação do experimento, Paula et al. (2013) realizaram análise de solos, indicando estes serem de baixa fertilidade, associada a baixo pH, baixa capacidade de troca catiônica e alta saturação de alumínio.

3.2. Instalação do experimento

O plantio dos clones de eucalipto foi realizado nos arranjos espaciais (2x2) + 10 m e (3x3) + 9 m (linha dupla) e 9x3 m (linha simples) (Figura 1). Os cinco clones de eucalipto (58 – híbrido de *E. camaldulensis* x *E. grandis*, 62 – híbrido natural de *E. camaldulensis*, 2 – híbrido natural de *E. urophylla*, GG100 e 19 – híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis*) foram estabelecidos em área de pastagem degradada de *Urochloa brizantha* (braquiária). O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com três repetições para cada tratamento e 24 plantas úteis em cada parcela, em seis linhas de quatro plantas, com bordadura de pelo menos duas plantas.

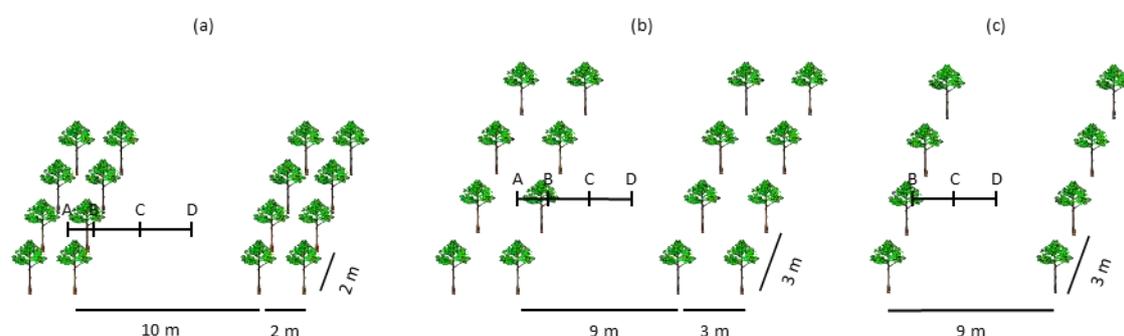


Figura 1 - Perfil esquemático representando os arranjos espaciais de plantio, (2x2) + 10 m (a), (3x3) + 9 m (b) e 9x3 m (c), e locais de posicionamento dos sensores de índice de área foliar (IAF) do componente arbóreo. As letras maiúsculas indicam a sequência de pontos de localização dos sensores para a leitura de IAF.

A subsolagem nas linhas de plantio foi feita na profundidade de 30 a 40 cm, com a incorporação de 725 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo gáfsa. A aplicação de fertilizante foi determinada pelo Nutricalc (BARROS et al., 1995). No plantio foram aplicados, na cova, 130 g de NPK 10-28-06 + 0,6% de Cu + 0,4% de Zn, com matraca, a 10 cm de profundidade, sendo a metade em lados opostos das mudas. Aos dois meses, foi feita a aplicação, na cova, de 95 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio e, aos seis meses, 106 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio e 25 kg ha⁻¹ de borogram (10% de B), em cobertura. As plantas, numa faixa de 1 m na linha de plantio, foram mantidas livres de plantas competidoras e, dois meses após o plantio, fez-se a capina química na entrelinha, com a aplicação de 3 L ha⁻¹ de glifosato. Quando necessário, a capina manual da linha de plantio foi também realizada de maneira suplementar, até a idade de dois anos. Novas

aplicações de glifosato em faixa de 1 m de cada lado da linha de plantio e roçadas na entrelinha foram realizadas, sempre que se necessárias.

Aos 11,5 meses após o plantio, nas parcelas de manejo por talhadia, foi realizada a decepa das plantas na altura de 10 cm do solo, sem a realização subsequente da desbrota das cepas, estando submetidas apenas à desbrota natural.

3.3. Coleta e processamento de dados

3.3.1. Sobrevivência, diâmetro quadrático médio, distribuição de diâmetros e produção do componente arbóreo

O diâmetro a 1,30 m de altura (*dap*) e a altura total (*Ht*) das árvores em alto fuste e em talhadia foram medidos aos 90 meses após o plantio. Nas brotações, foram medidos apenas os fustes com inclinação inferior a 45°. O número de plantas (alto fuste) e de brotos por cepa (talhadia) serviram para a avaliação da sobrevivência e do número médio de fustes por cepa. Com os dados de *dap*, calculou-se o diâmetro quadrático médio e a distribuição dos diâmetros com amplitude de 2 cm, para cada tratamento.

Foram abatidas para a cubagem, de três a seis árvores-amostra em cada classe de diâmetro, definidas com amplitude de 2 cm. O volume de madeira com casca para cada árvore (alto fuste) amostrada ou para cada fuste da cepa (talhadia) foi calculado pela fórmula de Smalian (HUSCH et al., 1972):

$$V = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) L = \left[\frac{\left(\frac{\pi D_1^2}{40.000} \right) + \left(\frac{\pi D_2^2}{40.000} \right)}{2} \right] L$$

em que: V = volume do tronco, em m^3 ; g_i = área seccional, dada por $g_i = \frac{\pi D_i^2}{40.000}$, em m^2 ; D_1 e D_2 = diâmetros nas extremidades 1 e 2 do tronco, em cm; e L = comprimento da secção.

Para estimar o volume do fuste foi ajustado o modelo estatístico de Schumacher e Hall (1933) na sua forma logarítmica:

$$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln dap + \beta_2 \ln H + \varepsilon$$

em que: V = volume por árvore, em m^3 ; dap = diâmetro à 1,3 m de altura, em cm; H = altura total, em m; β_0 , β_1 e β_2 = parâmetros do modelo; ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

A produção ($m^3 \text{ ha}^{-1}$) do componente arbóreo, no regime de talhadia, aos 90 meses após o plantio, foi comparada com a soma da produção comercial estimada na idade técnica de corte da talhadia (ITC_{ta}) e da produção residual ($90-ITC_{ta}$) (Figura 2). Para isso, foram utilizadas as equações de produção e a ITC_{ta} , para os mesmos clones e arranjos espaciais, obtidos de Oliveira (2014). O volume comercial estimado na ITC_{ta} , com projeção de produção para o horizonte de planejamento de 90 meses, foi estimado pela equação obtida com o ajuste do modelo Logístico:

$$V = \frac{\beta_0}{(1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I})} + \varepsilon$$

em que: V = volume por hectare, em m^3 ; β_0 , β_1 e β_2 = parâmetros do modelo; I = idade, em meses; ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

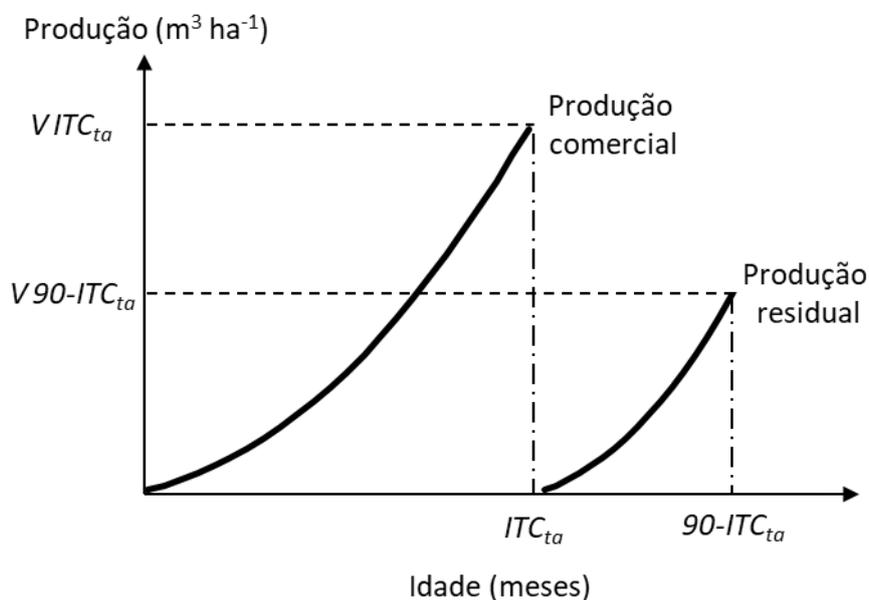


Figura 2 - Produção comercial estimada na idade técnica de corte para o regime de talhadia ($V ITC_{ta}$) e produção residual ($V 90-ITC_{ta}$) para cada clone e arranjo espacial no horizonte de planejamento de 90 meses.

3.3.2. Índice de área foliar do componente arbóreo

Dois sensores, modelo LI-2050, conectados a *dataloggers* (LI-2000), da LICOR, foram utilizados para obtenção do *IAF* do componente arbóreo. Foram realizadas leituras de *IAF* em quatro pontos nos arranjos em linha dupla e três em linha simples.

O primeiro ponto foi locado na interseção entre as diagonais de quatro plantas emparelhadas na linha dupla de plantio; o segundo entre duas plantas de uma das linhas e, os outros dois, em distâncias regulares, em linha reta e perpendicular à linha de plantio do componente arbóreo, até o centro da maior distância entre linhas ($\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ da maior distância entre duas linhas de plantio). No arranjo 9x3 m (linha simples) foram realizadas leituras de *IAF* em três pontos: o primeiro localizado entre duas plantas da linha de plantio e os outros dois a $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ da distância entre duas linhas de plantio, conforme Oliveira et al. (2016).

Os valores de *IAF* ao longo da distância entre linha simples ou do centro do renque (linha dupla) de plantio foram analisados por meio de análise de regressão, empregando o modelo linear:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

em que: Y = índice de área foliar (adimensional); β_0 e β_1 parâmetros do modelo; X = distância da linha simples ou do centro do renque (linha dupla) de plantio do componente arbóreo, em m; ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

3.3.3. Avaliação da massa seca da parte aérea da pastagem

A amostragem da massa seca da parte aérea da braquiária foi realizada aos 90 meses após o plantio do componente arbóreo, em parcelas amostrais de 0,5 m de largura, com comprimento de 5 m no arranjo (2x2) + 10 m e, de 4,5 m, nos arranjos 9x3 m e (3x3) + 9 m, o que correspondeu à metade da maior distância entre linhas de plantio ou entre renques de linha dupla, a partir da linha de plantio. Esta área de amostragem foi dividida ao meio no sentido do centro da entrelinha para permitir comparar a produção de massa seca da pastagem entre as áreas sob maior e menor influência do dossel, iniciando-se na linha de plantio das árvores.

A coleta da massa seca da gramínea foi realizada com roçadeira manual a 5 cm do solo, aproximadamente. O peso úmido de todo o material da área de coleta foi obtido em campo. Foi retirada subamostra para a determinação do peso seco, em laboratório. O material da subamostra foi acondicionado em saco de papel e levado à estufa com ventilação forçada à temperatura de 65°C, até peso constante, para estimativa da matéria seca por hectare da forrageira.

3.4. Análise de dados

3.4.1. Sobrevivência, diâmetro quadrático médio, produção e IAF

A análise de variância (ANOVA) dos dados de sobrevivência, diâmetro quadrático médio, IAF médio ao longo da entrelinha, produção do componente arbóreo e produção de massa seca da braquiária, nos diferentes tratamentos, foi feita utilizando o *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016), sendo aplicado o teste F, a 5% de significância. Quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste Tukey para 5% de significância.

A distribuição de diâmetros foi analisada por meio de análise descritiva. O coeficiente angular das equações de IAF ao longo da distância foram submetidos ao teste t, a 5% de significância, utilizando o *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016). A comparação entre produção comercial estimada na ITC_{ta} mais produção residual ($90-ITC_{ta}$), no regime de corte de talhadia, aos 90 meses após plantio, foi feita por meio de análise descritiva. Foi estimado o coeficiente de correlação entre a ITC_{ta} e a taxa de incremento (acréscimo ou decréscimo) na produção da talhadia projetada para 90 meses.

3.4.2. Sortimento em multiprodutos

As equações de afilamento foram ajustadas pelo modelo de Kozak (KOZAK et al., 1969):

$$\left(\frac{d_i}{dap}\right) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{Ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{Ht}\right)^2 + \varepsilon$$

em que: d_i = diâmetro com casca na altura h_i , em cm; dap = diâmetro à 1,3 m de altura, em cm; Ht = altura total, em m; h_i = altura comercial onde se encontra o diâmetro d_i , em m; β_0 , β_1 e β_2 = parâmetros do modelo; e ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

A partir das equações de afilamento, para cada regime de corte, juntamente com o dap , altura média e frequência por classe de diâmetro, as árvores foram convertidas em multiprodutos empregando o *software SigmaE* (LEITE et al., 1995). O modelo matemático de programação dinâmica desse *software* contém três submodelos. Primeiramente, os fustes são transformados em toras; num segundo nível, são definidos os multiprodutos e, por último, é atribuído o uso ótimo econômico. Foram definidos quatro usos: serraria, mourão-de-cerca, carvão e lenha para a madeira produzida (Tabela 1).

Tabela 1 - Sortimento de multiprodutos, comprimento mínimo, diâmetros mínimo e máximo de toras de eucalipto e preço nos regimes de talhadia e alto fuste, em sistemas silvipastoris, aos 90 meses após o plantio, em Vazante, MG

Uso	Comprimento mínimo (cm)	Diâmetro mínimo (cm)	Diâmetro máximo (cm)	Preço (R\$ m ³) ¹
Serraria	300	25	-	150
Mourão-de-cerca	180	12	25	60
Carvão	300	6	18	35
Lenha	70	8	25	35

¹ Preço da madeira em pé.

4. RESULTADOS

4.1. Sobrevivência

A sobrevivência dos fustes em talhadia e alto fuste diferiu ($p < 0,05$) entre clones e para a interação arranjo espacial x clone, aos 90 meses após o plantio (Tabela 2).

No arranjo espacial (2x2) + 10 m, o clone 2 apresentou sobrevivência de 78%, significativamente menor ($p < 0,05$) que os demais clones. No arranjo 9x3 m, a

sobrevivência foi menor ($p < 0,05$) para os clones GG100 (85%) e 2 (77%), que foram iguais entre si. No arranjo espacial (3x3) + 9 m, não foi encontrada diferença ($p > 0,05$) de sobrevivência entre os clones estudados. Os clones 19, 58 e 62 não diferiram ($p > 0,05$) em sobrevivência entre os arranjos espaciais estudados, apresentando sobrevivência superior a 90%. Os sistemas com o clone 2 apresentaram os menores valores de sobrevivência média (81%). A média geral de sobrevivência foi 91%, porém, excluindo-se o clone 2, esse valor aumenta para 94%.

Tabela 2 - Sobrevivência média (%) de cinco clones de eucalipto, em três arranjos espaciais, nos regimes de talhadia e alto fuste, em sistemas silvipastoris, aos 90 meses após o plantio, em Vazante, MG

Clone	Arranjo espacial (m)									Média
	(2x2) + 10			(3x3) + 9			9x3			
GG100	93 (93/93)	AB	a	94 (96/93)	A a		85 (85/85)	B b		91
2	78 (69/86)	B	b	90 (92/88)	A a		77 (71/83)	B b		81
19	94 (92/96)	A	a	96 (99/94)	A a		96 (97/94)	A a		95
58	94 (92/94)	A	a	97 (96/99)	A a		96 (96/96)	A a		96
62	94 (93/96)	A	a	90 (92/88)	A a		97 (100/94)	A a		94
Média	91 (88/93)			93 (95/92)			90 (90/90)			

Médias com mesmas letras maiúsculas em cada linha (arranjos espaciais) e minúscula em cada coluna (clones) não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,05$). Os números entre parêntesis indicam a porcentagem de sobrevivência em talhadia e alto fuste, respectivamente.

No regime de talhadia, o número de brotos por cepa, aos 90 meses após o plantio, variou entre um e cinco (Tabela 3), observando-se diferenças substanciais na quantidade de brotos entre os clones e arranjos espaciais. Para o clone GG100 foi observada maior número de cepas com apenas um broto, principalmente no arranjo (2x2) + 10 m (81%), sendo 67%, em média, para os três arranjos espaciais. Isto também foi observado para o clone 2, exceto no arranjo espacial 9x3 m, que apresentou 55% das cepas com dois brotos. Para o clone 19 houve predomínio de dois ou um broto. As cepas dos clones 58 e 62 apresentaram, em média, 76,2% das cepas apresentaram dois e três brotos, e proporção muito baixa de cepas com apenas um broto.

Tabela 3 - Distribuição de cepas em função do número de brotos, sobrevivência de cepas e número de fustes por hectares de cinco clones de eucalipto, nos arranjos espaciais (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m, sob regime de talhadia, em sistemas silvipastoris, aos 90 meses após o plantio, em Vazante, MG

Clone	Arranjo espacial (m)	Espaçamento (m ² planta ⁻¹)	Densidade de plantio (planta/ha)	Talhada						Fustes/ha ⁽²⁾
				Densidade (cepas/ha) ⁽¹⁾						
				1 Broto	2 Brotos	3 Brotos	4 Brotos	5 Brotos	Total	
GG100	(2x2) + 10	12	833	625 (81%)	150 (19%)				775	926 (+11%)
	(3x3) + 9	18	556	324 (61%)	185 (35%)	15 (3%)	8 (2%)		532	772 (+39%)
	9x3	27	370	190 (61%)	103 (33%)	15 (5%)	5 (2%)		314	463 (+25%)
2	(2x2) + 10	12	833	417 (72%)	162 (28%)				579	741 (-11%)
	(3x3) + 9	18	556	285 (56%)	208 (41%)	15 (3%)			509	748 (+35%)
	9x3	27	370	103 (39%)	144 (55%)	15 (6%)			262	437 (+18%)
19	(2x2) + 10	12	833	313 (41%)	428 (56%)	23 (3%)			764	1238 (+49%)
	(3x3) + 9	18	556	193 (35%)	301 (55%)	54 (10%)			548	957 (+72%)
	9x3	27	370	67 (19%)	226 (63%)	57 (16%)	10 (3%)		360	730 (+97%)
58	(2x2) + 10	12	833	46 (6%)	347 (45%)	278 (36%)	104 (13%)		775	1979 (+138%)
	(3x3) + 9	18	556	39 (7%)	216 (41%)	208 (39%)	54 (10%)	15 (3%)	532	1389 (+150%)
	9x3	27	370	10 (3%)	103 (29%)	154 (43%)	82 (23%)	5 (1%)	355	1034 (+179%)
62	(2x2) + 10	12	833	127 (16%)	394 (51%)	197 (25%)	58 (7%)		775	1736 (+108%)
	(3x3) + 9	18	556	15 (3%)	201 (39%)	216 (41%)	77 (15%)		509	1373 (+147%)
	9x3	27	370	0 (0%)	108 (29%)	144 (39%)	103 (28%)	15 (4%)	370	1137 (+207%)

⁽¹⁾ Número de cepas que apresentaram 1 a 5 broto(s). ⁽²⁾ Taxa de incremento em relação ao total de árvores plantadas em cada clone e arranjo espacial.

Foi observado decréscimo na proporção de cepas com um broto à medida que há redução da densidade de plantio, para todos os clones. Essa redução, também, foi observada para os clones 58 e 62 com dois brotos por cepa.

O número de fustes por hectare no regime de talhadia variou de 463 a 1979, em função do clone e do arranjo espacial. O número de fustes por hectare foi em média 64% maior que a densidade inicial de plantio para todos os tratamentos, sendo que apenas o clone 2 apresentou decréscimo (11%) no arranjo espacial (2x2) + 10 m. Os clones 58 e 62 apresentaram, em média, 155% de aumento de fustes por hectare, em relação ao plantio, para todos arranjos espaciais. De forma geral, aumentando-se o espaçamento observou-se maior número de fustes por hectare e maiores acréscimos em relação à densidade inicial de plantio.

O número médio de fustes por cepa diferiu ($p < 0,05$) somente para clone e arranjo espacial (Tabela 4). Os clones 58 e 62, iguais entre si ($p > 0,05$), apresentaram número médio de fustes por cepa (1,96 fuste/cepa) significativamente maior ($p < 0,05$) que os demais clones. Os clones GG100 e 2, iguais entre si ($p > 0,05$), apresentaram, em média, 1,31 fustes por cepa. Houve diferença ($p < 0,05$) no número médio de fustes por cepa entre os arranjos espaciais, sendo maior para o 9x3 m (1,74 fuste/cepa) e menor pelo (2x2) + 10 m (1,49 fuste/cepa).

Tabela 4 - Número médio de fustes por cepa de cinco clones de eucalipto, nos arranjos espaciais (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m e regimes de talhadia e alto fuste, em sistemas silvipastoris, 79 meses após a decepa das plantas jovens, em Vazante, MG

Clone	Arranjo espacial (m)			Média	
	(2x2) + 10	(3x3) + 9	9x3		
GG100	1,16	1,36	1,38	1,30	c
2	1,21	1,33	1,44	1,33	c
19	1,40	1,48	1,63	1,50	b
58	1,90	1,95	2,08	1,97	a
62	1,76	1,94	2,15	1,95	a
Média	1,49 c	1,61 b	1,74 a		

Médias com mesmas letras na linha ou coluna não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,05$).

4.2. Diâmetro quadrático médio

O diâmetro quadrático médio diferiu ($p < 0,05$) entre regime de corte, arranjo espacial e clone, tendo sido significativo, também, as interações entre regime de corte x clone e regime de corte x arranjo espacial.

O diâmetro quadrático médio foi significativamente maior ($p < 0,05$) para o regime de alto fuste em relação ao de talhadia, para todos os clones (Tabela 5). Não houve diferença ($p > 0,05$) no diâmetro quadrático médio entre os clones dentro do regime de alto fuste, sendo, em média, de 18,64 cm. No entanto, na talhadia, os clones GG100 e 2 figuraram com maiores diâmetros médios (15,48 e 14,89 cm, respectivamente).

Ao comparar os regimes de corte nos três arranjos espaciais, verificou-se que o diâmetro quadrático médio foi significativamente maior ($p < 0,05$) para o regime de alto fuste em relação à talhadia. Houve diferença ($p < 0,05$), também, entre arranjos espaciais, sendo menor no arranjo espacial (2x2) + 10 m (maior densidade populacional) e maior no arranjo espacial 9x3 m (menor densidade populacional), para ambos regimes de corte.

Tabela 5 - Diâmetro quadrático médio (cm) de cinco clones de eucalipto, nos arranjos espaciais (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m, sob regime de talhadia e alto fuste, em sistemas silvipastoris, aos 90 meses após o plantio, em Vazante, MG

Clone	Talhadia		Alto Fuste	
GG100	15,48	B a	18,39	A a
2	14,89	B ab	18,23	A a
19	13,48	B bc	18,57	A a
58	12,05	B c	19,02	A a
62	12,95	B c	18,97	A a
Arranjo espacial (m)	Talhadia		Alto Fuste	
(2x2) + 10	12,21	B c	16,36	A c
(3x3) + 9	14,05	B b	18,62	A b
9x3	15,04	B a	20,91	A a

A \neq B em cada linha ($p < 0,05$); médias com mesma letra minúscula entre clones ou arranjo espacial não diferem ($p > 0,05$) pelo teste Tukey.

4.3. Distribuição de diâmetros

A distribuição em classes de diâmetro diferiu substancialmente quando se compararam os dois regimes de corte (alto fuste e talhadia) independentemente de arranjo espacial e clone. No manejo por talhadia ocorreu forte assimetria à esquerda, ou seja, com menores classes de *dap* quando comparadas ao alto fuste (Figura 3).

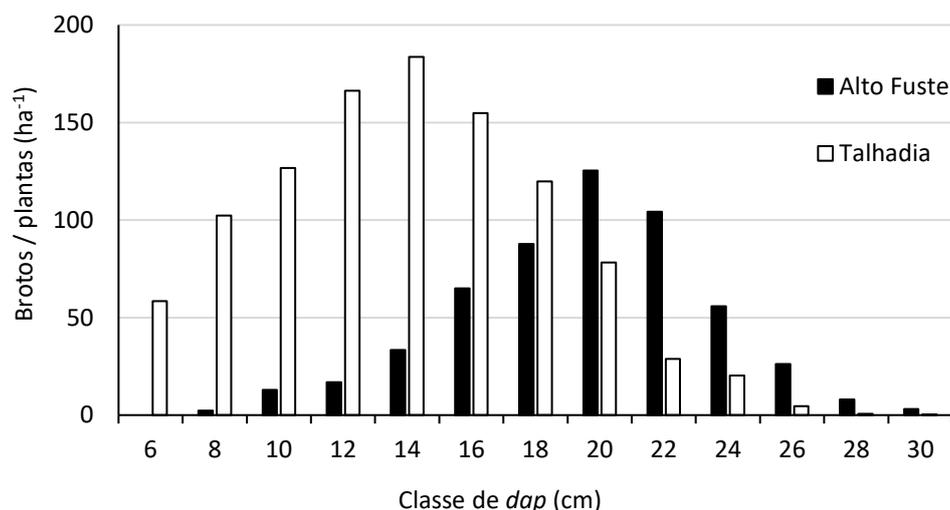


Figura 3 - Distribuição de diâmetros a 1,30 m de altura (*dap*) do componente arbóreo de sistemas silvipastoris em talhadia e alto fuste, aos 90 meses após o plantio, em Vazante, MG.

O número de brotos no regime de talhadia e de plantas no regime de alto fuste apresentaram maiores modas no centro de classe de $14,0 \pm 1$ e $20,0 \pm 1$ cm, respectivamente. O número de brotos por hectare para talhadia concentrou-se entre 9,0 e 19,0 cm de *dap*, com 751 brotos (72%), tendo tido 161 brotos (15,4%) com menos de 9,0 cm. Para o alto fuste, 71% das plantas ocorreram entre 15,0 e 23,0 cm de *dap* (382 plantas ha⁻¹) e foram observadas apenas três plantas (0,4%) com menos de 9,0 cm.

Ao comparar as estruturas horizontais entre tratamentos foram observadas diferenças em função de regimes de corte, arranjos espaciais e clones estudados (Figura 4). De forma geral, as plantas no arranjo espacial 9x3 m apresentaram maiores classes de *dap*, seguido por (3x3) + 9 m. Os genótipos apresentaram diferentes distribuições de diâmetros em função do regime de corte. Não foi observado nenhum broto com *dap* maior que 25,0 cm, exceto para o clone 2. Para alto fuste, nenhuma planta foi observada com *dap* menor que 7,0 cm.

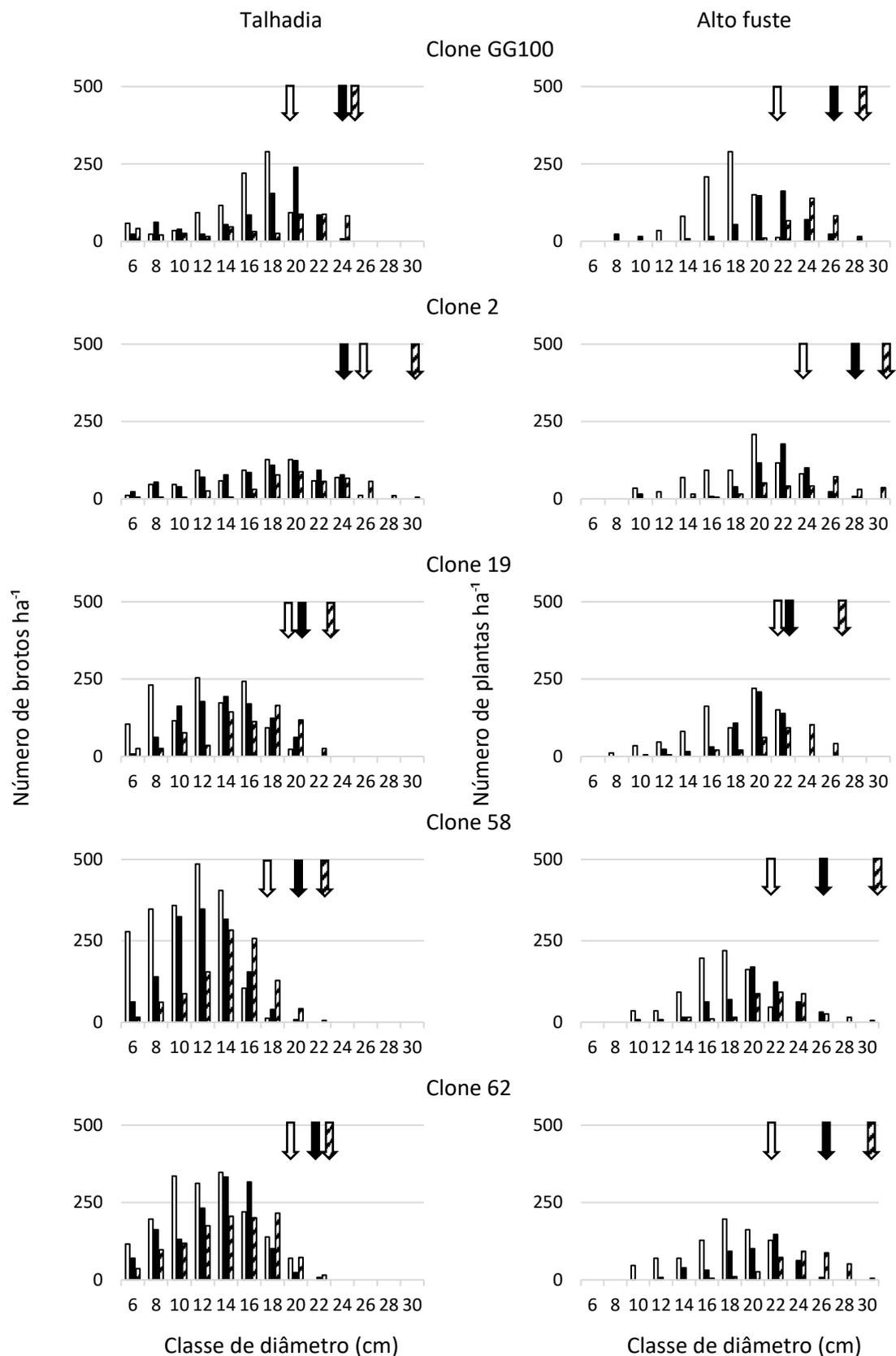


Figura 4 - Distribuição de diâmetros de cinco clones de eucalipto, nos arranjos espaciais □ (2x2) + 10 m, ■ (3x3) + 9 m e ▨ 9x3 m e regimes de talhadia e alto fuste, em sistemas silvipastoris, aos 90 meses após o plantio, em Vazante, MG. A seta indica a última classe de diâmetro observada em cada arranjo espacial. Centro de classe ± 1 cm.

4.4. Produção do componente arbóreo

A produção de eucalipto apenas não diferiu ($p > 0,05$) para regime de corte, tendo sido significativa a interação regime de corte x arranjo espacial x clone, aos 90 meses após o plantio.

Comparando regime de corte no mesmo arranjo espacial e clone verifica-se que no arranjo 9x3 m (linha simples) não houve diferença ($p > 0,05$) na produção entre talhadia e alto fuste (Tabela 6). No entanto, ao comparar regime de corte nos arranjos de linha dupla, (2x2) + 10 m e (3x3) + 9 m, houve diferença ($p < 0,05$) na produção para os clones 2, 19 e 58.

Tabela 6 - Produção ($m^3 ha^{-1}$) de cinco clones de eucalipto, nos arranjos espaciais (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m e regimes de talhadia e alto fuste, em sistemas silvipastoris, aos 90 meses após o plantio, em Vazante, MG

Clone	Arranjo espacial (m)											
	(2x2) + 10			(3x3) + 9			9x3					
Talhadia												
GG100	227,52	A	a	β	315,83	A	a	α	177,64	A	b	φ
2	211,27	B	ab	$\alpha\beta$	240,81	A	b	α	178,09	A	b	β
19	175,60	B	b	α	174,15	B	c	α	169,70	A	b	α
58	204,72	A	ab	α	180,52	B	c	α	200,44	A	ab	α
62	245,52	A	a	α	184,27	A	c	β	225,41	A	a	α
Alto fuste												
GG100	224,67	A	a	α	230,46	B	b	α	196,62	A	ab	α
2	247,50	A	a	α	225,39	A	b	α	163,36	A	ab	β
19	243,14	A	a	α	206,63	A	b	β	161,31	A	b	φ
58	227,02	A	a	β	295,36	A	a	α	172,53	A	ab	φ
62	243,39	A	a	α	163,12	A	c	φ	203,51	A	a	β

A \neq B, entre regimes de corte (talhadia e alto fuste), para cada arranjo espacial e clone ($p < 0,05$); médias com mesmas letras minúscula na coluna (clones), em cada regime de corte e arranjo espacial, e com mesmas letras gregas na linha (arranjo espacial), em cada regime de corte e clone, não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,05$).

O clone GG100 atingiu produção significativamente maior ($p < 0,05$) para talhadia no arranjo (3x3) + 9 m ($315,83 m^3 ha^{-1}$). Por outro lado, a produção do alto fuste para o clone 2 foi maior que para talhadia no (2x2) + 10 m. Para o clone 19, foi maior nos arranjos (2x2) + 10 m e (3x3) + 9 m e, para o clone 58 foi maior no (3x3) + 9 m.

O arranjo espacial não afetou ($p > 0,05$) a produção da talhadia para os clones 19 e 58 e, do alto fuste, para o clone GG100. Para os demais clones e regime de corte, maior produção foi obtida principalmente nos arranjos de linha dupla, exceto para o clone 62, que apresentou produção de talhadia mais elevada nos arranjos $(2 \times 2) + 10$ m e 9×3 m. Para os clones GG100 e 2, maior valor de produção ($p < 0,05$) para talhadia foi observado para o arranjo $(3 \times 3) + 9$ m, enquanto para o alto fuste ocorreu nos dois arranjos de linha dupla para o clone 2. A produção em alto fuste dos clones 19 e 62 foi maior ($p < 0,05$) para o arranjo $(2 \times 2) + 10$ m e, do clone 58, a produção foi maior no arranjo $(3 \times 3) + 9$ m.

Para o clone 58 em talhadia não houve diferença ($p > 0,05$) entre produção nos arranjos espaciais, enquanto, para alto fuste, observou-se maior produção no arranjo espacial $(2 \times 2) + 10$ m. Para o clone 62 não foi observada diferença na produção ($p > 0,05$) entre talhadia e alto fuste em nenhum dos arranjos espaciais. Todavia, a produção da talhadia foi significativamente maior ($p < 0,05$) nos arranjos espaciais $(3 \times 3) + 9$ m e 9×3 m e, para o alto fuste, foi maior no arranjo espacial $(2 \times 2) + 10$ m.

Na tabela 7 são apresentados os dados de produção ($m^3 \text{ ha}^{-1}$) do componente arbóreo no regime de alto fuste e de talhadia em uma única rotação, aos 90 meses após o plantio, bem como a produção de talhadia projetada para o horizonte de planejamento de 90 meses, utilizando a produção comercial na ITC_{ta} , para cada clone e arranjo espacial, acrescida da produção residual ($90 - ITC_{ta}$) de uma rotação subsequente até completar 90 meses. Verifica-se que, para o clone GG100, no arranjo 9×3 m, e para o clone 2, no arranjo $(3 \times 3) + 9$, a ITC_{ta} atingiu valores mais elevados (65 meses). Estes dois tratamentos foram os únicos que apresentaram decréscimo na produção em relação à obtida com uma única rotação aos 90 meses. O maior valor (53%) no acréscimo da produção foi observado para o clone 58, no espaçamento $(2 \times 2) + 10$ m, tendo apresentado o menor valor de ITC_{ta} (49 meses). Houve correlação negativa (-97%) entre a ITC_{ta} e a taxa de acréscimo na produção da talhadia projetada para 90 meses, ou seja, quanto menor a ITC_{ta} , maior a taxa de acréscimo na produção da talhadia.

Tabela 7 - Produção ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de cinco clones de eucalipto, nos arranjos espaciais (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m, em alto fuste, em talhadia aos 90 meses após o plantio e em talhadia projetada para o horizonte de planejamento de 90 meses utilizando a ITC_{ta} , em sistemas silvipastoris, em Vazante, MG

Clone	Arranjo espacial (m)	Produção ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)			ITC_{ta} (meses)
		Alto fuste (90 meses)	Talhadia (90 meses)	Talhadia (projeção 90 meses) ⁽¹⁾	
GG100	(2x2) + 10	224,67	227,52	267,78 (18%)	55
	(3x3) + 9	230,46	315,83	383,56 (21%)	54
	9x3	196,62	177,64	160,44 (-10%)	65
2	(2x2) + 10	247,5	211,27	244,31 (16%)	56
	(3x3) + 9	225,39	240,81	218,15 (-9%)	65
	9x3	163,36	178,09	208,89 (17%)	55
19	(2x2) + 10	243,14	175,6	232,68 (33%)	52
	(3x3) + 9	206,63	174,15	230,76 (33%)	52
	9x3	161,31	169,7	189,01 (11%)	57
58	(2x2) + 10	227,02	204,72	312,57 (53%)	49
	(3x3) + 9	295,36	180,52	254,17 (41%)	51
	9x3	172,53	200,32	282,05 (41%)	51
62	(2x2) + 10	243,39	245,52	254,19 (4%)	60
	(3x3) + 9	163,12	184,27	190,78 (4%)	60
	9x3	203,51	224,81	262,54 (17%)	56

ITC_{ta} = idade técnica de corte da talhadia em cada clone e arranjo espacial (OLIVEIRA, 2014); ⁽¹⁾ Produção comercial estimada na ITC_{ta} mais produção residual ($90-ITC_{ta}$) para projeção da produção da talhadia aos 90 meses após o plantio (projeção 90 meses). Números entre parênteses significam aumento ou redução percentual da produção da talhadia (projeção 90 meses) em relação à talhadia (90 meses).

4.5. Otimização do sortimento em multiprodutos

Produção e receita difeririam entre regimes de corte (alto fuste e talhadia) independentemente de arranjo espacial e clone. O número de fustes no regime de talhadia (1051 fustes/ha) foi quase o dobro que no regime de alto fuste (547 fustes/ha). No manejo por talhadia, com frequência maior de fustes em menores classes de *dap*, foi observado 14% menos produção e 24% menos receita, quando comparadas ao alto fuste (Tabela 8).

Tabela 8 - Classe de diâmetro a 1,30 m de altura (*dap*), em cm, altura média (m), frequência (fustes/ha), produção ($m^3 ha^{-1}$), receita (R\$ ha^{-1}) e sortimento em multiprodutos (serraria, mourão-de-cerca, carvão e lenha) por classe de diâmetro do componente arbóreo de sistemas silvipastoris em talhadia e alto fuste, aos 90 meses após o plantio, em Vazante, MG

Classe de <i>dap</i> (cm)	Altura média (m)	Frequência (fustes/ha)	Produção ($m^3 ha^{-1}$)	Receita (R\$ ha^{-1})	Sortimento em multiprodutos ⁽¹⁾				
					Serraria	Mourão-de-cerca	Carvão	Lenha	Não ⁽²⁾ utilizado
Talhadia									
06	12,6	59	1,00	-	-	-	-	-	100%
08	16,1	103	1,25	43,83	0%	0%	19%	0%	81%
10	20,0	127	6,50	227,44	0%	0%	45%	7%	48%
12	23,1	167	16,17	565,87	0%	0%	39%	27%	34%
14	25,6	184	28,57	1.214,01	0%	14%	35%	27%	23%
16	27,6	155	34,45	1.632,10	0%	26%	22%	36%	17%
18	28,7	120	35,76	1.826,85	0%	38%	31%	20%	11%
20	30,1	79	31,22	1.675,16	0%	48%	20%	26%	7%
22	32,0	29	14,57	807,25	0%	56%	37%	2%	4%
24	31,5	21	12,32	696,32	0%	63%	29%	7%	2%
26	29,2	5	3,27	187,47	0%	68%	10%	22%	0%
28	29,4	1	0,77	58,98	10%	61%	20%	7%	1%
30	30,1	1	0,95	64,62	10%	66%	10%	12%	0%
Total		1051	186,81	8.999,90					
Alto Fuste									
06	-	0	-	-	-	-	-	-	-
08	13,2	3	0,04	1,33	0%	0%	23%	0%	77%
10	17,9	13	0,66	23,02	0%	0%	50%	4%	46%
12	20,6	17	1,47	51,32	0%	0%	29%	37%	33%
14	23,2	34	4,84	209,00	0%	16%	52%	9%	24%
16	27,1	65	14,57	692,47	0%	27%	44%	13%	16%
18	29,3	88	27,11	1.426,19	0%	43%	41%	5%	11%
20	30,0	126	49,57	2.662,60	0%	48%	40%	5%	7%
22	31,3	105	52,53	2.923,11	0%	58%	38%	0%	4%
24	31,9	56	34,17	1.926,01	0%	62%	28%	9%	0%
26	31,9	27	19,20	1.099,09	0%	68%	19%	13%	0%
28	31,7	9	7,43	560,23	9%	63%	19%	9%	0%
30	30,5	4	3,84	259,13	10%	71%	20%	2%	0%
Total		547	215,42	11.833,50					

⁽¹⁾ Porcentagem em relação à altura média do fuste. ⁽²⁾ Excedente madeireiro não enquadrado no comprimento e, ou, no diâmetro mínimos.

Não foram observadas grandes variações de sortimento em multiprodutos nos quatro usos, quando compara-se talhadia e alto fuste. Apenas duas classes de *dap*,

em ambos regimes, foram destinados a serraria, sendo próximo de 10% da altura total. Classes de *dap* menores apresentaram maior porcentagem de madeira não utilizada para os usos propostos. A porcentagem média, ponderada pela produção, de madeira não utilizada foi de 16% na talhadia e 6% no alto fuste.

4.6. Índice de área foliar do componente arbóreo

O *IAF* não variou a partir da linha ou renque de plantio (linha dupla) até a metade da entrelinha para a maioria dos regimes de corte, clones e arranjos espaciais (Tabela 9 e Figura 5). Os coeficientes de determinação (r^2) das equações variaram de 35 a 74%.

Para a talhadia, houve diferença ao longo da linha apenas para os clones 2 ($p < 0,05$) e 58 ($p < 0,05$), no arranjo $(2 \times 2) + 10$ m e, para o clone 19 ($p < 0,05$), no arranjo 9×3 m, com queda mais acentuada do *IAF* até o centro da entrelinha para o clone 2. No manejo por alto fuste, no arranjo $(2 \times 2) + 10$ m, com maior densidade de plantio, apenas o clone 58 não apresentou diferença significativa ao longo da entrelinha. Os clones GG100, 58 e 62 não apresentaram variações nos valores de *IAF* até o centro da entrelinha para os arranjos $(3 \times 3) + 9$ m e 9×3 m.

Todavia, ao realizar a análise pela média ao longo da distância entre linha simples ou renques (linha dupla) de plantio, o *IAF* diferiu ($p < 0,05$) entre o arranjo espacial e clone, tendo sido significativo, também, a interação entre regime de corte x clone (Tabela 10). Para arranjo espacial, o *IAF* diferiu ($p < 0,05$) com valores de 2,06 no arranjo $(2 \times 2) + 10$ m, 2,00 no arranjo $(3 \times 3) + 9$ m e 1,82 no arranjo 9×3 m, diferentes entre si.

O *IAF* foi significativamente maior ($p < 0,05$) para os clones 19 e 62 no regime de alto fuste e para o clone 2 em talhadia. O clone 2 dentro de cada regime de corte (talhadia e alto fuste) apresentou maiores valores de *IAF* ($p < 0,05$), sendo em média de 2,72. Os clones 58 e 62 apresentaram os menores índices de *IAF*, 1,68 em média.

Tabela 9 - Parâmetros do modelo $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$ de índice de área foliar (Y) em função da distância da árvore (X) de cinco clones de eucalipto, nos arranjos espaciais (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m e regimes de talhadia e alto fuste, em sistemas silvipastoris, aos 90 meses após o plantio, em Vazante, MG

Clone	Arranjo espacial (m)	Regime de corte	β_0	β_1	r^2	p-valor para β_1	
GG100	(2x2) + 10	Talhadia	1,9605	-0,0090	58%	0,429 ns	
		Alto fuste	1,9756	-0,0163		0,004 *	
	(3x3) + 9	Talhadia	1,8684	-0,0070		0,532 ns	
		Alto fuste	1,7767	0,0025		0,793 ns	
	9x3 m	Talhadia	1,6711	0,0089		0,684 ns	
		Alto fuste	1,5072	0,0096		0,616 ns	
2	(2x2) + 10	Talhadia	3,0338	-0,0382	35%	0,043 *	
		Alto fuste	2,8585	-0,0237	46%	0,016 *	
	(3x3) + 9	Talhadia	2,8119	-0,0205	48%	0,140 ns	
		Alto fuste	2,7586	-0,0446		0,012 *	
	9x3	Talhadia	3,0278	-0,1185		0,063 ns	
		Alto fuste	2,2139	-0,0259		74%	0,003 *
19	(2x2) + 10	Talhadia	1,9542	-0,0216		56%	0,196 ns
		Alto fuste	2,1497	-0,0373			0,005 *
	(3x3) + 9	Talhadia	1,9589	-0,0296	0,120 ns		
		Alto fuste	2,1411	-0,0466	60%		0,003 *
	9x3	Talhadia	1,8811	-0,0593	51%		0,030 *
		Alto fuste	1,9900	-0,0281	0,154 ns		
58	(2x2) + 10	Talhadia	1,9258	-0,0656	61%	0,003 *	
		Alto fuste	1,7865	0,0006		0,863 ns	
	(3x3) + 9	Talhadia	1,7706	-0,0195		0,393 ns	
		Alto fuste	1,7908	-0,0203		0,107 ns	
	9x3	Talhadia	1,7083	-0,0556		0,081 ns	
		Alto fuste	1,6306	-0,0111		0,435 ns	
62	(2x2) + 10	Talhadia	1,5395	-0,0207	51%	0,597 ns	
		Alto fuste	1,8134	-0,0241		0,010 *	
	(3x3) + 9	Talhadia	1,6592	-0,0197		0,478 ns	
		Alto fuste	1,7516	-0,0037		0,590 ns	
	9x3	Talhadia	1,5950	-0,0156		0,529 ns	
		Alto fuste	1,5994	-0,0022		0,858 ns	

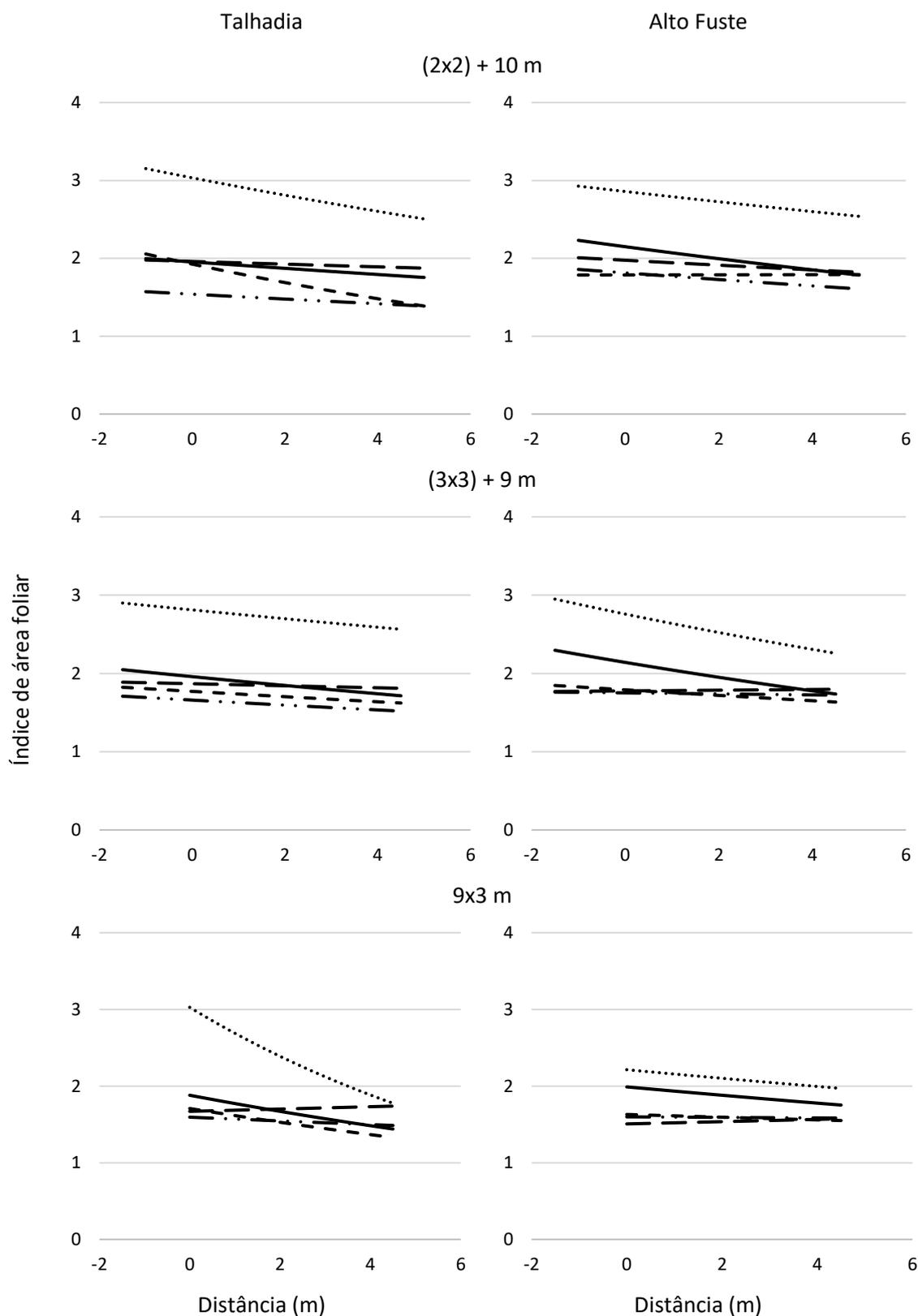


Figura 5 - Índice de área foliar médio (Y) em função da distância (X) de clones de eucalipto (GG100 — — , 2 , 19 — — — , 58 - - - e 62 - . .), nos arranjos espaciais (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m, nos regimes de talhadia e alto fuste, em sistemas silvipastoris, aos 90 meses após o plantio, em Vazante, MG. A distância negativa refere-se à interseção de diagonais de quatro plantas dos arranjos de fileira dupla (renque).

Tabela 10 - Índice de área foliar do dossel arbóreo de cinco clones de eucalipto, nos regimes de talhadia e alto fuste, em sistemas silvipastoris, aos 90 meses após o plantio, em Vazante, MG

Clone	Talhadia		Alto Fuste		Média
GG100	1,84	A b	1,77	A c	1,81
2	2,85	A a	2,60	B a	2,72
19	1,87	B b	2,04	A b	1,96
58	1,73	A bc	1,73	A c	1,73
62	1,57	B c	1,72	A c	1,64

A ≠ B em cada linha ($p < 0,05$); médias com mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,05$).

4.7. Produção da parte aérea da pastagem

A massa seca da parte aérea da pastagem (kg ha^{-1}) diferiu ($p < 0,05$) entre regime de corte e clone, tendo sido significativa, também entre as interações regime de corte x clone e arranjo espacial x clone (Tabelas 11 e 12).

Tabela 11 - Produção de matéria seca (kg ha^{-1}) de *Urochloa brizantha* (braquiária) em sistemas silvipastoris, com cinco clones de eucalipto, nos regimes de talhadia e alto fuste, aos 90 meses após o plantio, em Vazante, MG

Clone	Regime de corte				Média
	Talhadia		Alto fuste		
GG100	790,4	A a	836,0	A a	813,2
2	451,7	A bc	299,3	B cd	375,5
19	855,4	A a	463,0	B bc	659,2
58	367,6	A c	279,1	A d	323,4
62	569,9	A b	498,7	A b	534,3
Média	561,1		385,0		

Médias com mesma letra maiúscula na linha (clones) e letra minúscula na coluna (regime de corte), não diferem ($p > 0,05$) pelo teste Tukey.

Os tratamentos no regime de talhadia apresentaram média de biomassa da parte aérea de braquiária superior ($p < 0,05$) aos tratamentos em alto fuste para os clones 2 e 19. A produção de massa seca da pastagem foi menor ($p < 0,05$) para o clone GG100 no arranjo 9x3 m e no clone 2, no arranjo (3x3) + 9 m.

Tabela 12 - Produção de matéria seca (kg ha^{-1}) de *Urochloa brizantha* (braquiária) em sistemas silvipastoris, com cinco clones de eucalipto, nos arranjos espaciais (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m, aos 90 meses após o plantio, em Vazante, MG

Clone	Arranjo espacial (m)									Média
	(2x2) + 10			(3x3) + 9			9x3			
GG100	898,2	A	a	855,8	AB	a	685,6	B	ab	813,2
2	374,0	AB	c	263,1	B	d	489,5	A	bc	375,5
19	635,0	A	b	628,1	A	b	714,5	A	a	659,2
58	244,0	A	c	396,1	A	cd	329,9	A	c	323,4
62	445,5	A	bc	590,9	A	bc	566,5	A	ab	534,3
Média	519,3			546,8			557,2			

Médias com mesma letra maiúscula na linha (clones) e letra minúscula na coluna (arranjo espacial), não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,05$).

O regime por talhadia apresentou, em média, maior valor de biomassa de braquiária ($561,1 \text{ kg ha}^{-1}$) que o regime por alto fuste ($385,0 \text{ kg ha}^{-1}$). O clone GG100 apresentou o maior valor médio de produção de matéria seca de braquiária, sendo $813,2 \text{ kg}$ por hectare. As menores produções de massa seca ocorreram nos sistemas silvipastoris com os clones 2 e 58, em média de $375,5$ e $323,4 \text{ kg}$ por hectare, respectivamente.

5. DISCUSSÃO

A sobrevivência de cepas após o corte de árvores adultas tem sido registrada acima de 67% em diversos trabalhos com vários materiais genéticos de eucalipto no Brasil (SOUZA et al., 2004; GONÇALVES et al., 2009; OLIVEIRA, 2014; GADELHA et al., 2015; BARTIERES et al., 2016). As variações na sobrevivência são decorrentes, principalmente, da capacidade de cada genótipo em emitir brotações após o corte (BLAKE, 1983; WALTERS et al., 2005). Valores elevados de sobrevivência têm sido observados para cepas de plantas jovens de eucalipto em SAFs (CACAU et al., 2008; FONTAN et al., 2011; PAULA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2016) e em espaçamentos densos (CEULEMANS et al., 1996; SOUZA et al., 2012; SOUZA et al., 2015), a exemplo do que, também, foi observado no presente trabalho.

As brotações apresentam maior taxa de transpiração (FARIA et al., 2002; TEIXEIRA et al., 2002), implicando em maior uso de água do solo. Em regiões sob severo estresse hídrico, as cepas podem ter sua sobrevivência comprometida. O clone 2, com menores valores de sobrevivência de cepas, é híbrido natural de *E. urophylla*, considerado menos tolerante ao déficit hídrico em comparação aos clones provenientes de *E. camaldulensis* (REIS et al., 2006), o que pode explicar sua menor sobrevivência. Os elevados valores de taxa de sobrevivência de cepas para os demais clones indicam que a decepa de plantas em estágio juvenil pode ser usada nos diferentes arranjos espaciais estudados. Após a decepa, há acentuada morte de raízes finas (REIS et al., 2006), mas, possivelmente, para estes genótipos, a taxa de recuperação do sistema radicular deve ser elevada, o que precisa ser comprovado em estudos futuros. Os clones 58 e 62, híbridos de *E. camaldulensis*, apresentaram valores elevados de sobrevivência de cepas, possivelmente, em razão de *E. camaldulensis* apresentar controle estomático adequado e seu sistema radicular ser relativamente profundo. Isto favorece a absorção de água em camadas mais profundas do solo, em períodos de acentuada deficiência hídrica (REIS et al., 2006). Com base nesta observação pode-se inferir sobre a superioridade de genótipos de *E. camaldulensis* em condições de limitações hídricas.

Cuidados especiais devem ser observados quando o manejo de corte por talhadia é aplicado em sistema silvipastoril, no caso de haver a movimentação de máquinas nas linhas e entrelinhas de plantio. A depender desta mecanização, pode ocorrer danos às cepas, como o descolamento de casca, comprometendo a sua sobrevivência. Também, o recobrimento das cepas pelos resíduos da colheita pode afetar a sobrevivência da brotação e, ou, seu crescimento inicial (KLEIN et al., 1997). Eventuais danos às cepas e aos brotos, também, podem ser oriundos da atividade animal. A entrada de animais na área manejada por talhadia deve ser permitida somente após os brotos atingirem porte adequado (FONTAN et al., 2011).

Nos tratamentos em talhadia, os clones 58 e 62 retiveram o maior número médio de brotos aos 90 meses após o plantio. Elevado número de brotos por cepa no clone 58, também foi observado por Cacau et al. (2008) e Souza et al. (2012), quando as plantas foram decepadas em idades jovens. Adicionalmente, a soldadura inadequada dos brotos junto à cepa e a competição entre brotos nas cepas (HARRINGTON; FOWNES, 1993; SOUZA et al., 2012), bem como a baixa disponibilidade de água no solo após o período de emissão das brotações (REIS et al., 2006), podem contribuir para a perda de

dominância de alguns brotos e a sua subsequente supressão, principalmente, com os clones GG100, 2 e 19, conforme observado na região de estudo (REIS et al., 2017). Arranjos espaciais mais amplos, possivelmente, tenham possibilitado a redução da competição entre os brotos e permitido a persistência destes na cepa, resultando, por exemplo, em maior sobrevivência de fustes no arranjo 9x3 m.

A desbrota não foi realizada no presente experimento. Esta técnica silvicultural pode reduzir a área foliar da planta, comprometendo a fixação de carbono demandado para sustentar o rápido crescimento inicial dos brotos dominantes, principalmente, quando uma desbrota intensa é realizada precocemente (REIS; KIMMINS, 1986; KAUPPI et al., 1988). Cacau et al. (2008) recomendaram não realizar a desbrota, quando plantas jovens de eucalipto são decepadas, em razão de ocorrer desbrota natural acentuada. Analisando a decepa de plantas jovens de eucalipto, Souza et al. (2012) observaram que, com a desbrota para dois brotos, o diâmetro desses brotos foi igual ou superior ao das plantas não desbrotadas, no arranjo de 3x3 m. O que levou os autores a não recomendar a desbrota em plantas jovens.

Para todos os clones, independentemente do regime de corte, foi observado maior número de fustes de maiores classes de diâmetro para as plantas em arranjos espaciais com menor densidade. Plantas estabelecidas em espaçamentos amplos podem explorar maior volume de solo e quantidade de recursos de crescimento. O crescimento em diâmetro é influenciado, principalmente, pela disponibilidade de recursos de crescimento às plantas (MONTE et al., 2009; SOARES, et al., 2017; REIS et al., 2017). Diferentes espaçamentos por planta e densidades populacionais podem ser obtidos variando a disposição das árvores no plantio, ou ainda, através da aplicação de desbaste (PAULA et al., 2013; ELLIS et al., 2017). Para os arranjos espaciais estudados, a proximidade entre as plantas nos renques de linhas duplas de plantio pode explicar o maior crescimento em diâmetro das árvores. Enquanto no arranjo 9x3 m, de linha simples, foi observado maior diâmetro, para o mesmo genótipo. O aumento da frequência das árvores em classes de diâmetro superiores agrega valor à madeira produzida (RAMOS et al., 2014). Ou seja, arranjos espaciais com maior distância entre as plantas e com genótipos de maior taxa de crescimento permitem maior variabilidade de uso da madeira produzida.

As plantas em regime de talhadia apresentam potencial de crescimento, na maioria das vezes, igual ou superior ao das plantas no regime de alto fuste. A presença

de sistema radicular estabelecido e a possibilidade de prontamente mobilizar as reservas orgânicas e inorgânicas presentes nas cepas e nas raízes, além de facilitar a absorção de água e nutrientes, facultam às plantas conduzidas no regime de talhadia a capacidade de apresentarem elevada taxa de crescimento inicial (REIS; KIMMINS, 1986; REIS et al., 2006). No entanto, a vantagem relativa ao sistema radicular já estabelecido na talhadia tende a reduzir-se com o avanço da idade da planta. Este fato fica claro ao não se observar diferenças significativas na produção entre os dois regimes de corte, aos 90 meses após o plantio, tendo atingido produção média de 207,39 m³ ha⁻¹ no regime de talhadia e de 231,60 m³ ha⁻¹ para o alto fuste.

Segundo Barros e Comerford (2002), se for mantida a disponibilidade de recursos de crescimento, a produção obtida em povoamentos de eucalipto em regime de talhadia seria semelhante ao de alto fuste. A queda de produtividade com a condução das brotações, no entanto, pode estar associada a fatores como sensibilidade do genótipo às variações ambientais (MIRANDA et al., 1998), como sua exposição ao déficit hídrico, danos à cepa e às brotações (CEULEMANS et al., 1996; MIRANDA; PEREIRA, 2015), época de aplicação e altura da decepa (SOUZA et al., 2012), sobrevivência da cepa (CACAU et al., 2008), competição e intensidade de desbrota, dentre outros.

A produção dos clones GG100 e 2, em talhadia, e dos clones 2, 19 e 58, em alto fuste, diferiram quando as plantas foram estabelecidas em arranjos de linha dupla, em relação ao de linha simples, indicando que a disposição das plantas pode acentuar a competição intraespecífica, influenciando positiva e negativamente a produção do eucalipto (CACAU et al., 2008; PAULA et al., 2013; OLIVEIRA, 2014).

A produção florestal está associada à sobrevivência das plantas e ao crescimento em altura e em diâmetro (SOARES et al., 2017). O clone GG100 no arranjo em talhadia e o clone 58 em alto fuste, ambos no arranjo (3x3) + 9 m, apresentaram as maiores produções. Apesar das plantas no arranjo (3x3) + 9 m não apresentarem o maior diâmetro médio, a densidade de plantio no arranjo (3x3) + 9 m (556 plantas ha⁻¹) é superior à do arranjo 9x3 m (370 plantas ha⁻¹), não sendo a competição no renque suficiente para causar queda de produção, aos 90 meses após o plantio, como possivelmente ocorreu no arranjo (2x2) + 10 m. O clone GG100 apresentou, ainda, diâmetro médio mais elevado entre os genótipos avaliados no regime de talhadia. O maior diâmetro aliado à baixa retenção de brotos do clone GG100 pode ter concentrado recursos de crescimento e elevado a produção de madeira da talhadia. Não houve

variação entre talhadia e alto fuste, na sobrevivência das plantas. No entanto, o elevado número de brotos nos clones 58 e 62 (média de 1441 cepas por hectare) pode ter influenciado a produção do eucalipto manejado por talhadia, embora tenha tido predominância de fustes com diâmetros em classes inferiores.

A produção por talhadia em única rotação aos 90 meses em comparação com a projeção para o horizonte de planejamento de 90 meses utilizando a ITC_{ta} , foi observado redução na produção deste último apenas para situações com a ITC_{ta} mais elevada (65 meses). Com a redução da ITC_{ta} houve aumento da produção total (comercial + residual), em relação ao obtido com uma única rotação aos 90 meses. A ITC_{ta} varia com o genótipo, fatores ambientais, como competição intra e interespecífica (pastagem) por recursos em determinado arranjo espacial, dentre outros, resultando em diferentes ritmos de crescimento ao longo do tempo. A maior ITC_{ta} reduz a possibilidade das plantas atingirem idade suficiente na rotação subsequente que permita a obtenção de produção residual elevada. Adotando ITC de 65 meses, a produção residual será obtida apenas para 25 meses na rotação subsequente para completar 90 meses de horizonte de planejamento. Foi observada alta correlação entre ITC_{ta} e a taxa de acréscimo na produção da talhadia, depreendendo-se que há elevada viabilidade silvicultural em conduzir povoamentos de eucalipto em sistemas silvipastoris ou estabelecido em espaçamentos amplos quando o corte é realizado no momento adequado.

A produção semelhante da talhadia com o alto fuste, em diversos sistemas, indica que a decepta de plantas jovens pode ser utilizada com finalidade de produção de madeira de dimensões reduzidas, em espaçamentos amplos. A madeira produzida com dimensões diferenciadas permite que sejam obtidos multiprodutos e a adoção destes dois regimes de corte, de modo a otimizar os rendimentos nos sistemas silvipastoris com eucalipto. A decepta do eucalipto, ainda em idade jovem, pode, também, constituir-se em alternativa para a recuperação de povoamentos jovens danificados por estresse hídrico, geada, pragas, doenças, incêndios, dentre outros, conforme sugerido por Cacau et al. (2008).

Para ambos os regimes de corte, o emprego do modelo de programação dinâmica (*software SigmaE*) otimizou o sortimento de madeira entre quatro usos, considerando questões técnicas, como comprimento e diâmetro mínimos da tora, de forma a chegar ao ótimo econômico. Embora as porcentagens tenham se mantido

praticamente constantes entre os multiprodutos, houve diferença entre os regimes de corte na produção e receita obtidos pelo sortimento da madeira. Esta variação se justifica pela distribuição de *dap* ter ocorrido mais deslocada à esquerda na talhadia e à direita no alto fuste, neste último gerando maior renda por hectare.

O *IAF* tem sido utilizado para avaliar a disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa (*RFA*), devido a estreita relação desse índice com a transmitância da radiação, com a vantagem do *IAF* ser de fácil obtenção no campo (WILL et al., 2005; CHAVES et al., 2007; DEVKOTA et al., 2009; HAKAMADA et al., 2016; SANTOS et al., 2016). Segundo Paciullo et al. (2011), a *RFA* afeta a produção da pastagem ou das culturas agrícolas na entrelinha de plantio do componente arbóreo em sistemas silvipastoris. O *IAF* pode variar com o genótipo, disponibilidade de recursos de crescimento, idade, tratamentos silviculturais e regime de corte (talhadia ou alto fuste) (XAVIER et al., 2002; CHAVES et al., 2007; PRASAD et al., 2010; FONTAN et al., 2011). Reis et al. (2017) constataram a tendência de redução do *IAF* com a idade da planta para vários materiais genéticos e arranjos espaciais.

Aos 90 meses após o plantio, houve pouca variação do *IAF* em função da distância da linha ou do renque de plantio do componente arbóreo. No entanto, Oliveira et al. (2016) observaram que aos 38 e 62 meses após o plantio, neste mesmo experimento, o *IAF* apresentou maiores variações em função da distância da linha de plantio. Ou seja, com o crescimento das árvores espera-se maior disponibilidade de radiação à pastagem próxima da linha ou renque de plantio, em sistemas silvipastoris. O eucalipto, estabelecido em *SAF's*, em idades jovens, pode apresentar maior *IAF* na linha de plantio em relação à entrelinha em arranjos espaciais amplos (PRASAD et al., 2010). No entanto, aos 90 meses, em razão do elevado porte das plantas e menor efeito da projeção de copa, que se encontra mais distante da superfície do solo, a proximidade à linha de plantio, de forma geral, não influenciou os valores de *IAF* em função da distância. Para *SAF's*, Cacao et al. (2008) e Oliveira et al. (2016) relataram a tendência de diminuição da diferença entre linha e entrelinha com o aumento da idade do povoamento, como também observado neste estudo.

O *IAF* variou ao longo da entrelinha, havendo constatação que arranjos espaciais mais amplos apresentaram menor valor de *IAF*. Oliveira (2014) observou que o raio de projeção de copa variou com o arranjo de plantio e com o genótipo de eucalipto, aos 38 meses após o plantio. O *IAF* geralmente aumenta, podendo manter-se

estável, até o fechamento do dossel, porém, é esperado certo decréscimo a partir deste momento (FORRESTER et al., 2010). O decréscimo do *IAF* depende de fatores como densidade populacional e capacidade de sítio (XAVIER et al., 2002; CACAU et al., 2008; REIS et al., 2013). A menor proximidade das plantas, como ocorre no arranjo 9x3 m, pode interferir na transmitância média da radiação (PAULA et al., 2013), refletindo no maior valor de *IAF*. Em relação aos arranjos espaciais de linha dupla (renque), espera-se que o fechamento do dossel aconteça em idades mais jovens (BURNER, BRAUER, 2003; PACIULLO et al., 2011). No arranjo (2x2) + 10, em que a distância entre plantas é reduzida na linha e na entrelinha, o *IAF* foi menor, possivelmente porque a abscisão de folhas e de galhos foi intensa.

As diferenças de *IAF* entre clone e regime de corte ocorreram, possivelmente, em razão de diferenças nas características da copa, destacando-se a altura de inserção do primeiro galho vivo, diâmetro e comprimento de galhos, o que determina a altura da copa viva, e arranjo das folhas e galhos na copa, conforme relatado por Fontan et al. (2011). O genótipo e a interação genótipo x ambiente podem proporcionar diferentes copas, galhos e abscisão foliar (CHAVES et al., 2007; PRASAD et al., 2010; SANTOS et al., 2015).

A produção de massa seca de braquiária, nos sistemas silvipastoris, variou com o regime de corte para os clones 2 e 19 e, com arranjo espacial de plantio, para os clones GG100 e 2. As diferenças na produção de biomassa da pastagem em função dos genótipos de eucalipto e dos arranjos espaciais estudados indicam a possibilidade de maximizar a produção do sistema silvipastoril, adotando-se o genótipo adequado de modo a proporcionar elevada produção de pastagem. O componente arbóreo do sistema silvipastoril deve ser estabelecido escolhendo-se genótipos produtivos e que apresentem reduzida competição com a pastagem (NAIR, 1993; ROZADOS-LORENZO et al., 2007), devendo-se analisar principalmente as características de copa que permitam maior transmitância da radiação até o sobosque. Os sistemas silvipastoris com os clones 2 e 58 apresentaram as menores produções de massa seca de pastagem, independentemente de manejo aplicado (regime de corte e arranjo espacial), indicando não serem adequados para o propósito de consórcio com a pastagem (*SAF*).

A produção de massa seca de braquiária não variou com a distância em relação à árvore, ou seja, houve distribuição uniforme da braquiária. A falta de relação entre linha ou renque de plantio pode ser explicada pela altura do componente arbóreo

e o efeito da projeção da copa, aos 90 meses após o plantio. Em idades mais jovens, a transmitância da radiação solar pode ser menor na linha de plantio ou no renque em relação à entrelinha. De forma contrária, menor efeito da projeção de copa sobre a transmitância da radiação é esperado com o avançar da idade e altura das árvores. Isto ocorre, porque, o dossel arbóreo se encontra mais distante da superfície do solo, afetando pouco a produção da pastagem junto a linha ou renque de plantio. Castro et al. (2009), analogamente, não encontraram relação entre o nível de sombreamento de diversas espécies arbóreas com a produção de pastagem, quando avaliaram a massa seca em diferentes épocas do ano, na latitude 21°33'22''S.

Adicionalmente, a variação da posição relativa do sol ao longo do dia e do ano e a orientação das linhas de plantio no sentido Leste-Oeste, na latitude 17°36'09''S, não exerceria significativa influência no sombreamento da pastagem no sentido de diminuir sua produção. O planejamento das áreas de sistema silvipastoril em relação às espécies arbóreas, arranjo espacial das árvores, orientação das linhas de plantio, e qual o período de tempo ideal para entrada de animais em função da altura e tamanho de copa das árvores, entre outros, são fundamentais para se estabelecer a pastagem e o consórcio com maior potencial de retorno.

A maior ou menor proximidade das plantas, como ocorre respectivamente, nos arranjos (2x2) + 10 m ou 9x3 m, pode não interferir na transmitância média da radiação ao longo do dia e na produção de pastagem, quando o eucalipto atingir idades mais elevadas, como no caso deste estudo (90 meses após o plantio). Informações sobre *IAF* podem auxiliar na definição de genótipos arbóreos mais adequados para o estabelecimento de *SAF's*, pois a produção da pastagem depende, principalmente, da disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa em nível de sobosque (PACIULLO et al., 2007; 2011; OLIVEIRA, 2014).

As árvores no regime de corte de talhadia apresentaram taxa de crescimento inicial elevada permitindo a exploração em rotações curtas. A decepa de plantas jovens pode viabilizar a produção de biomassa para usos múltiplos como a colheita dos clones 58 e 62 que retiveram elevado número de brotos com diâmetros deduzidos. Contrariamente, os clones GG100 e 2, que usualmente retêm um a dois brotos por cepa, podem produzir madeira de diâmetro mais elevado e atender a outros usos. O clone GG100 quando manejado através da talhadia, no arranjo (3x3) + 9 m, apresentou produção maior que por alto fuste. Em sistemas silvipastoris, o clone GG100 pode, ainda,

ter grande aplicação, devido à maior produção da pastagem, em ambos os regimes de corte, especialmente, nos arranjos de fileira dupla.

6. CONCLUSÕES

O clone 2 não deve ser recomendado para a região de estudo, principalmente, em SAFs, pois apresentou baixa sobrevivência nos arranjos (2x2) + 10 m e 9x3 m e baixa produção de pastagem. A produção de pastagem, também, foi baixa em sistemas silvipastoris com o clone 58.

O clone 62 em talhadia apresentou elevado número de brotos e menor diâmetro, podendo ser utilizado para fins energéticos, especialmente nos arranjos (2x2) + 10 m e 9x3 m.

O clone GG100 em talhadia apresentou baixo número de brotos, o que resultou em maior diâmetro. O manejo do componente arbóreo em sistema silvipastoril, através de talhadia, com a decepa de plantas jovens, em substituição ao alto fuste, pode ser adotado para este clone, em razão da produção ter sido maior que a do alto fuste, no arranjo (3x3) + 9 m, considerando rotação de 90 meses.

O regime de alto fuste apresentou plantas de maiores dimensões, maior aproveitamento volumétrico e maior receita no sortimento da madeira para quatro produtos quando comparado à talhadia. Fustes de maiores dimensões permitem maior variabilidade de uso da madeira em sistema silvipastoril, podendo estes serem obtidos em arranjos com maior distância entre as plantas, principalmente, em fileiras simples e com genótipos de elevada taxa de crescimento.

A adoção da ITC_{ta} para avaliar a produção projetada para idades mais longas, para os genótipos de eucalipto e arranjos espaciais analisados, é recomendada porque foi observada elevada correlação negativa entre a taxa de acréscimo de produção e a ITC_{ta} . O corte em rotações mais curtas, quando o incremento médio anual é máximo, possibilita a otimização da produção residual da talhadia.

Aos 90 meses após o plantio, houve pouca influência do componente arbóreo sobre a produção da pastagem, possivelmente, porque o IAF variou pouco ao longo da entrelinha de plantio para a maioria dos sistemas. Arranjos espaciais mais amplos apresentaram menor valor de IAF .

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R.G.; NASCIMENTO-JUNIOR, D.E.; BATISTA, MACEDO, V.P.; MOTTA, M.C.; FONSECA, D.M.; BRÂNCIO, P.A.; GARCEZ-NETO, A.F. Disponibilidade, composição botânica e valor nutritivo da forragem de pastos consorciados, sob três taxas de lotação. **R. Bras. Zootec.**, 32(1), 36-46, 2003 <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982003000100005>
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol. Z.**, 22, 2, 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.D.F.; COSTA, S.E.V.G.A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropico brasileiro. In.: ARAÚJO, A.P.; AVELAR, B.J.R. (Eds.) **Tópicos Ciência do Solo**, 221-278, 2013. Disponível em: <http://www.integrarcampo.com.br/altera/capitulos/arquivos/27.pdf>
- AMORIM, J.S. **Viabilidade de sistemas agroflorestais em alto fuste e talhadia de plantas jovens de eucalipto com ciclos agrícolas estendidos**. Viçosa, MG, 2016. 45f. Dissertação de Mestrado (Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/8371>
- BARTIERES, E.M.M.; CARNEVALI, N.; LIMA, E.; CARNEVALI, T.; MALLMANN, V. Hidrogel, calagem e adubação no desenvolvimento inicial, sobrevivência e composição nutricional de plantas híbridas de eucalipto. **Pesq. Florestal bras.**, 36(86), 145-151, 2016. <http://dx.doi.org/10.4336/2016.pfb.36.86.990>
- BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**, 487-592, 2002.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. TEIXEIRA, J.L.; FERNANDES FILHO, E.I. **NUTRICALC 2.0 - Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto**. Bosque, 16: 129-131, 1995.
- BLAKE, T.J. Effects of coppicing on growth rates, stomatal characteristics and water relations in *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. **Aust. J. Plant Physiol.**, 7(1), 81-87, 1980. Disponível em: <http://www.publish.csiro.au/FP/PP9800081>
- BLAKE, T.J. Coppice systems for short-rotation intensive forestry: the influence of cultural, seasonal and plant factors. **Australian Forest Research**, 3(3/4), 279-291, 1983.
- BUDIHARTA, S.; MEIJAARD, E.; WELLS, J.A.; ABRAM, N.K.; WILSON, K.A. Enhancing feasibility: incorporating a socio-ecological systems framework into restoration planning. **Environ. Sci. Pol.**, 64, 83–92. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.014>

- BURNER D.M.; BRAUER D.K. Herbage response to spacing of loblolly pine trees in a minimal management silvopasture in southeastern USA. **Agrofor. Syst.**, 57, 69–77, 2003. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022943224478>
- CACAU, F.V.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; LEITE, H.G.; ALVES, F.F.; SOUZA, F.C. Decepa de plantas jovens de eucalipto e manejo de brotações, em um sistema agroflorestal. **Pesq. agropec. bras.**, 43, 1457-1465, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008001100003>
- CASTRO, C.; PACIULLO, D.; GOMIDE, C.; MÜLLER, M.; NASCIMENTO-JÚNIOR, É. Características Agronômicas, Massa de Forragem e Valor Nutritivo de *Brachiaria decumbens* em Sistema Silvopastoril. **Pesq. Flor. Bras.**, 0(60), 19, 2010. <https://doi.org/10.4336/2009.pfb.60.19>
- CEULEMANS, R.; McDONALD, A.J.S.; PEREIRA, J.S. A comparison among eucalypt, poplar and willow characteristics with particular reference to a coppice, growth-modelling approach. **Biomass Bioenerg.**, 11(2-3), 215-231, 1996. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(96\)00035-9](https://doi.org/10.1016/0961-9534(96)00035-9)
- CHAVES, R.A.; REIS, M.G.F.; REIS, G.G.; PEZZOPANE, J.E.M.; XAVIER, A.; MONTE, M.A. Dinâmica de cobertura de dossel de povoamentos de clones de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden submetidos a desrama artificial e desbaste. **Rev. Árvore**, 31(6), 989-998, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622007000600002>
- CLEMENTE, M.A.; FARIA, M.V.; LANA, R.M.Q.; MAGESTE, J.G.; ALBUQUERQUE, C.J.B. Initial growth of *Eucalyptus* with different spatial arrangements in agrosilvopastoral Systems. **Am. J. Plant. Sc.**, 8(06), 1296 -1303, 2017. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.86086>
- CLOUG, Y; BARKMANN, J.; JUHRBANDT, J.; KESSLER, M.; WANGER, T.C.; ANSHARY, A.; BUCHORI, D.; CICUZZA, D.; DARRAS, K.; PUTRA, D.D. Combining high biodiversity with high yields in tropical agroforests. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, 108(20), 8311–8316, 2011. www.pnas.org/lookup/suppl/doi:10.1073/pnas.1016799108/-/DCSupplemental
- CUARTAS-CARDONA, C.A.; NARANJO-RAMÍREZ, J.F.; TARAZONA-MORALES, A.M.; MURGUEITIO-RESTREPO, E.; CHARÁ-OROZCO, J.D.; KU VERA, J.; SOLORIO-SÁNCHEZ, F.J.; FLORE-ESTRADA, M.X.; SOLORIO-SÁNCHEZ, B.; BARAHONA-ROSALES, R. Contribución de los sistemas silvopastoriles intensivos al desempeño animal y a la adaptación y mitigación al cambio climático. **Rev. Colomb. Cienc. Pec.**, 27(2), 76-94, 2014. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902014000200003&lng=en&tlng=es
- DEVKOTA, N.R.; KEMP, P.D.; HODGSON, J.; VALENTINE, I.; JAYA, I.K.D. Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees. **Agrofor. Syst.**, 76(2), 363-374, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9192-8>

DUBÈ, F.; COUTO, L.; SILVA, M.L.; LEITE, H.G.; GARCIA, R.; ARAÚJO, G.A.A. A simulation model for evaluating technical and economic aspects of an industrial *Eucalyptus*-based agroforestry system in Minas Gerais, Brazil. **Agrofor. Syst.**, 55, 73-80, 2002.

<http://dx.doi.org/10.1023/a:1020240107370>

ELLIS, M.V.; TAYLOR, J.E.; RAYNER, L. Growth characteristics of *Eucalyptus camaldulensis* trees differ between adjacent regulated and unregulated rivers in semi-arid temperate woodlands. **Forest Ecol. Manag.**, 398, 1-9. 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.05.004>

EMBRAPA SOLOS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006.

FARIA, G.E.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LIMA, J.C.; TEIXEIRA, J.L. Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. **Rev. Árvore**, v.26, p.577-584, 2002.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000500008>

FERREIRA, A.E.D.; SERRA, A.P.; LAURA, V.A.; ORTIZ, A.C.B.; ARAUJO, A.R.; PEDRINHO, D.R.; CARVALHO, A.M. Influence of spatial arrangements on silvicultural characteristics of three *Eucalyptus* clones at integrated crop-livestock-forest system. **Afr. J. Agric. Res.**, 11(19), 1734-1742. 2016.

<http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.10990>

FERREIRO-DOMÍNGUEZ, N.; NAIR, V.D.; FREESE, D. Phosphorous dynamics in poplar silvopastoral systems fertilised with sewage sludge. **Agric. Ecosyst. Environ.**, 223, 87-98, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.02.022>

FONTAN, I.C.I.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; LEITE, H.G.; MONTE, M.A.; RAMOS, D.C.; SOUZA, F.C. Growth of pruned eucalypt clone in an agroforestry system in southeastern Brazil. **Agrofor. Syst.**, 83, 121-131, 2011.

<https://doi.org/10.1007/s10457-011-9432-1>

FORRESTER, D.I. MEDHURST, J.L.; WOOD, M.; BEADLE, C.L.; VALENCIA, J.C. Growth and physiological responses to silviculture for producing solid-wood products from *Eucalyptus* plantations: An Australian perspective. **Forest Ecol. Manag.**, 15(4), 1819-1835, 2010.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.08.029>

GADELHA, F.H.L.; SILVA, J.A.A.; FERREIRA, R.L.C.; SANTOS, R.C.; TAVARES, J.A. Produtividade de clones de eucaliptos em diferentes sistemas de manejo para fins energéticos. **Pesq. Flor. Bras.**, 35(83), 263-270, 2015.

<https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.83.827>

GONÇALVES, J.D.M.; STAPE, J.L.; LACLAU, J.P.; BOUILLET, J.P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern For.: J. of For. Sci.**, 70(2), 105-118, 2008.

<http://dx.doi.org/10.2989/SOUTH.FOR.2008.70.2.6.534>

HAKAMADA, R.; NETO, C.G.; LEMOS, C.C.; SILVA, S.R.; OTTO, M.S. G.; HALL, K.B.; STAPE, J.L. Validation of an efficient visual method for estimating leaf area index in clonal *Eucalyptus* plantations. **Southern For.: J. of For. Sci.**, 78(4), 275-281, 2016.

<http://dx.doi.org/10.2989/20702620.2016.1201641>

HARRINGTON R.A.; FOWNES J.H. Allometry and growth of planted versus coppice stands of four fast-growing tropical tree species. **Forest Ecol. Manag.**, 56, 315-327, 1993. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(93\)90120-C](https://doi.org/10.1016/0378-1127(93)90120-C)

HUSCH, B.; MILLER, C.H.; BEERS, F.W. **Forest mensuration**. New York, J. Wiley, 410p. 1972.

KARVATTE, N.; KLOSOWSKI, E.S.; DE ALMEIDA, R.G.; MESQUITA, E.E.; DE OLIVEIRA, C.C.; ALVES, F.V. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. **Int. J. Biometeorol.**, 60(12), 1933-1941, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1180-5>

KAUPPI, A.; KIVINIITTY, M.; FERM, A. Growth habits and crown architecture of *Betula pubescens* Ehrh. of seed and sprout origin. **Can. J. For. Res.**, 18, 1603-1613, 1988.

KIRSCHENMANN, F.L. Potential for a new generation of biodiversity in agroecosystems of the future. **Agron. J.**, Madison, 99, 373-376, 2007.

<https://doi.org/10.2134/agronj2006.0104>

KLEIN, J.E.M.; BORTOLAS, E.P.; ASSIS, T. F.; PERRANDO, E.R. **Fatores operacionais que afetam a regeneração do *Eucalyptus* manejado por talhadia**. Série Técnica – IPEF, Piracicaba, SP, 11(30), 95-104, 1997.

KOZAK, A.; MUNRO, D.D.; SMITH, J.G.H. Taper functions and their applications in Forest inventory. **Forest Chronicle**, v. 45, p. 278-283, 1969.

<https://doi.org/10.5558/tfc45278-4>

LANA, R.M.Q.; LANA, A.M.Q.; REIS, G.L.; LEMES, E.M. Productivity and nutritive value of brachiaria forage intercropping with eucalyptus in a silvopastoral system in the Brazilian Cerrado biome. **Aust. J. Crop Sci.**, 10(5), 654-659, 2016.

<http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.05.p7346>

LAZZAROTTO, J.J.; SANTOS, M.L.; LIMA, J.E. Viabilidade financeira e riscos associados à integração lavoura-pecuária no Estado do Paraná. **Organizações Rurais e Agroindustriais** (UFLA), 1, 113-130, 2010.

<http://revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/view/38>

LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; PAULA JUNIOR, G.G. Emprego de um modelo de programação dinâmica para conversão de troncos em multiprodutos da madeira. **Rev. Árvore**, 19, 447-465, 1995.

LEMOS-JUNIOR, J.E.M.; SILVA-NETO, C.D.M.; SOUZA, K.R.; GUIMARÃES, L.E.; OLIVEIRA, F.D.; GONÇALVES, R.A.; MONTEIRO, M.M.; LIMA, N.L.; VENTUROLI, F.; CALIL, F.N. Volumetric models for *Eucalyptus grandis* x *urophylla* in a crop-livestock-forest integration (CLFI) system in the Brazilian cerrado. **Afr. J. Agric. Res.**, 11(15), 1336-1343, 2016. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.10806>

LOPES, H.N.S. **Crescimento e produção de eucalipto submetido à desbrota, interplântio e reforma**. Viçosa, MG, 2012. 65f. Dissertação de Mestrado (Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <http://repositorio.ufv.br/handle/123456789/3100>

MAAS, B.; CLOUGH, Y.; TSCHARNTKE, T. Bats and birds increase crop yield in tropical agroforestry landscapes. **Ecol. Lett.**, 16, 1480–1487. 2013. <http://dx.doi.org/10.1111/ele.12194>

MARTHA-JUNIOR, G.B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. **Agric. Syst.**, 110, 173-177, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.03.001>

MIRANDA, G.A.; BARROS, N.F.; LEITE, H.G.; COUTO, L.; MOACIR, N.F. Produtividade de povoamentos de eucalipto em regime de talhadia, em função da adubação parcelada, no Vale do Jequitinhonha-MG. **Rev. Árvore**, 22(1), 51-60, 1998. Disponível em: <https://goo.gl/J1cMO9>

MIRANDA, I.; PEREIRA, H. Variation of wood and bark density and production in coppiced *Eucalyptus globulus* trees in a second rotation. **IFOREST**, 9(2), 270-275, 2015. <https://doi.org/10.3832/ifor1442-008>

MONTE, M.A.; REIS, M.G.F.; REIS, G.G.; LEITE, H.G.; CACAU, F.V.; ALVES, F.F. Crescimento de um clone de eucalipto submetido a desrama e desbaste. **Rev. Árvore**, 33, 777-787, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622009000500001>

NAIR, P.K.R. **An introduction to agroforestry**. Dordrecht: Kluwer academic publishers. 1993. 499f.

NAIR, P.K.R.; NAIR, V.D.; KUMAR, B.M.; SHOWALTER, J.M. Carbon sequestration in agroforestry systems. **Adv. Agron.**, 108, 237–307, 2010. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00138-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00138-5)

NOGUÉ, S.N.; TOVAR, C.; BHAGWAT, S.A.; FINSINGER, W.; WILLIS, K.J. Exploring the ecological history of a tropical agroforestry landscape using fossil pollen and charcoal analysis from four sites in Western Ghats, India. **Ecosystems**, 1-11, 2017. <http://dx.doi.org/doi:10.1007/s10021-017-0132-1>

OLIVEIRA, C.H.R. **Produção de eucalipto em alto fuste e talhadia e de braquiária em sistemas silvipastoris com diferentes arranjos espaciais**. Viçosa, MG, 2014. 106f. Tese

de Doutorado (Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Disponível em:
<http://repositorio.ufv.br/handle/123456789/597>

OLIVEIRA, C.H.R.; REIS, G.G.; REIS, M.G. F.; LEITE, H.G.; SOUZA, F.C.; FARIA, R.S.; OLIVEIRA, F.B. Dynamics of eucalypt clones canopy and *Brachiaria brizantha* production in silvopastoral systems with different spatial arrangements. **Agrofor. Syst.**, 90, 190, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9884-9>

OLIVEIRA, T.K.; MACEDO, R.L.G.; SANTOS, Í.P.A.; HIGASHIKAWA, E.M.; VENTURIN, N. Produtividade de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu sob diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril com eucalipto. **Ciência e Agrotecnologia**, 31(3), 748-757, 2007. <https://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000300022>

PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ; M.J.F.; LOPES, F.C.F.; ROSSIELLO, R.O.P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesq. Agropec. Bras.**, 42(4), 573-579, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400016>

PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; FERNANDES, P.B.; MÜLLER, M.D.; PIRES, M.F.A.; FERNANDES, E.N.; XAVIER, D.F. Productive and nutritional traits of pasture in an agrosilvopastoral system, according to the distance from trees. **Pesq. Agropec. Bras.**, 46(10), 1176-1183, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000009>

PAIVA, H.N., PAULA-NETO F.; BRANDI, R.M.; VALE, A.B. Influência das idades de corte e de desbrota e do número de brotos sobre o desenvolvimento da brotação de cepas de *Eucalyptus* spp. **Rev. Árvore**, 7, 1-10, 1983.

PAULA-NETO, F.; PEREIRA, A.R.; BRANDI, R.M.; PAIVA, H.N. Fatores que influenciam no desenvolvimento de brotações em povoamentos de eucaliptos. **Rev. Árvore**, 6(2), 133-139, 1982.

PAULA, R.R.; REIS, G.G.; REIS, MARIA G.F.; OLIVEIRA NETO, S.N.; LEITE, H.G.; MELIDO, R.C.N.; LOPES, H.N.S.; SOUZA, F.C. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. **Agrofor. Syst.**, 87(6), 1295-1307, 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-013-9638-5>

PEZZOPANE, J.R.M.; BOSI, C.; NICODEMO, M.L.F.; SANTOS, P.M.; CRUZ, P.G.; PARMEJANI, R.S. Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. **Bragantia**, 74(1), 110-119, 2015. <https://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0334>

PRASAD, J.V.N.S.; KORWAR, G.R.; RAO, K.V.; MANDAL, U.K.; RAO, C.A.R.; RAO, G.R.; RAMAKRISHNA, Y.S.; VENKATESWARLU, B.; RAO, S.N.; KULKARNI, H.D.; RAO, M.R. Tree row spacing affected agronomic and economic performance of Eucalyptus-based

agroforestry in Andhra Pradesh, Southern India. **Agrofor. Syst.**, 78, 253-267, 2010.

<http://dx.doi.org/10.1007/s10457-009-9275-1>

PUMARIÑO, L.; SILESHI, G.W.; GRIPENBERG, S.; KAARTINEN, R.; BARRIOS, E.; MUCHANE, M.N.; MIDEGA, C.; JONSSON M. Effects of agroforestry on pest, disease and weed control: a meta-analysis. **Basic Appl. Ecol.**, 2015.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.baae.2015.08.006>

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2016. Disponível em <http://www.R-project.org/>

RAMOS, D.C.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; LEITE, H.G.; STOCKS, J.J.; LIMA, A.P.L.; FARIA, R.S. Thinning effect on plant growth of pruned eucalypt clone. **Rev. Árvore**, Viçosa, 38(3), 495-503, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000300012>

REIS, M.G.F.; KIMMINS, J.P. Importância do sistema radicular no crescimento inicial de brotos de *Eucalyptus* spp. **Rev. Árvore**, 10, 112-125, 1986.

REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; FONTAN, I.C.I.; MONTE, M.A.; GOMES, N.A.; OLIVEIRA, C.H.R. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus* spp. submetidos a dois regimes de irrigação no campo. **Rev. Árvore**, 30, 921-931, 2006.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000600007>

REIS, G.G.; ALVES, F.F.; REIS, M.G.F.; SOUZA, F.C.; BAIERO, D.S.; CACAU, F.V.; FARIA, R.S.F. Dieback, leaf area index and production of eucalypt clones plantation in the Brazilian Savannah region. **Rev. Árvore**, 41(4), 3, 2017.

<http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000300009>

ROZADOS-LORENZO, M.J.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M.P.; SILVA-PANDO, F.J. Pasture production under different tree species and densities in an Atlantic silvopastoral system. **Agrofor. Syst.**, 70(1), 53-62, 2007. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-007-9032-2>

SANTOS, G.A.; VILELA RESENDE, M.D.; DUQUE SILVA, L.; HIGA, A.; ASSIS, T.F. Interação genótipos x ambientes para produtividade de clones de *Eucalyptus* L'hér. no estado do Rio Grande do Sul. **Rev. Árvore**, 39(1), 81-91, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000100008>

SANTOS, D.C.; JÚNIOR, R.G.; VILELA, L.; PULROLNIK, K.; BUFON, V.B.; FRANÇA, A.F.S. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. **Agric. Ecol. Environ.**, 233, 16-24, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.026>

SCHÖNAU, A.P.G. Growth, yield and timber density of short rotation coppice stands of *Eucalyptus grandis*. **S. A. Forestry J.**, 156(1), 12-22, 1991.

<http://dx.doi.org/10.1080/00382167.1991.9629082>

SCHROTH, G.; GARCIA, E.; GRISCOM, B.W.; TEIXEIRA, W.G.; BARROS, L.P. Commodity production as restoration driver in the Brazilian Amazon? Pasture re-agro-forestation with cocoa (*Theobroma cacao*) in southern Pará. **Sustain. Sci.**, 11(2), 277-293, 2016.

<http://dx.doi.org/10.1007/s11625-015-0330-8>

SCHUMACHER, F.X.; HALL, F.S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **J. Agric. Res.**, 47(9), 719-734, 1933.

SESBOU, A.; NEPVEU, G. Intraspecific variability in *Eucalyptus camaldulensis* coppice and effect of the first cutting on wood density, pulp yield and fiber length. **Silvae Genet.**, 40: 173-179, 1991.

<http://dx.doi.org/10.3832/ifor1442-008>

SMUKLER, S.M.; SÁNCHEZ-MORENO, S.; FONTE, S.J.; FERRIS, H.; KLONSKY, K.; O'GREEN, A.T.; SCOW, K.M.; STEENWERTH, K.L.; JACKSON, L.E. Biodiversity and multiple ecosystem functions in an organic farmscape. **Agric. Ecol. Environ.**, 139, 80-97, 2010.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2010.07.004>

SOARES, A.A.; LEITE, H.G.; CRUZ, J.P.; FORRESTER, D.I. Development of stand structural heterogeneity and growth dominance in thinned *Eucalyptus* stands in Brazil. **Forest Ecol. Manag.**, 384, 339-346, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.11.010>

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, 344 (6182), 363-364, 2014.

<http://dx.doi.org/10.1126/science.1246663>

SOUSA, L.F.; MAURICIO, R.M.; PACIULLO, D.S.C.; SILVEIRA, S.; RIBEIRO, R.; CALSAVARA, L.; MOREIRA, G.R. Forage intake, feeding behavior and bio-climatological indices of pasture grass, under the influence of trees, in a silvopastoral system. **Trop. grassl. - Forrajes trop.**, 3, 129-141, 2015.

[https://doi.org/10.17138/tgft\(3\)129-141](https://doi.org/10.17138/tgft(3)129-141)

SOUZA, C.R.D.; ROSSI, L.M.B.; AZEVEDO, C.P.D.; LIMA, R. Comportamento da *Acacia mangium* e de clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em plantios experimentais na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**, 65, 95-101, 2004. Disponível em

<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br:80/handle/123456789/17287>

SOUZA, F.C.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; LEITE, H.G.; ALVES, F.F.; FARIA, R.S.; PEREIRA, M.M. Sobrevivência e Diâmetro de Plantas Intactas e Brotações de Clones de Eucalipto. **Floresta e Ambiente**, 19, 44-54, 2012.

<http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.006>

SOUZA, F.C.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; LEITE, H.G.; FARIA, R.S.; CALIMAN, J.P.; BARBOSA, R. A.; OLIVEIRA, C.H.R. Growth of intact plants and coppice in short rotation eucalypt

plantations. **New forests**, 47(2), 195-208. 2015. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9509-1>

TEIXEIRA, P.C.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. de; NEVES, J.C.L.; TEIXEIRA, J.L. *Eucalyptus urophylla* root growth, stem sprouting and nutrient supply from the roots and soil. **Forest Ecol. Manag.**, v.160, p.263-271, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00469-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00469-8)

TREMBLAY, S.; LUCOTTE, M.; REVÉRET, J.; DAVIDSON, R.; MERTENS, F.; PASSOS, C.J.S.; ROMAÑA, C.A. Agroforestry systems as a profitable alternative to slash and burn practices in small-scale agriculture of the Brazilian Amazon. **Agrofor. Syst.**, 89-193, 2015. <https://doi.org/doi:10.1007/s10457-014-9753-y>

VALE, R.S; COUTO, L.; SILVA, M.L.; GARCIA, R.; ALMEIDA, J.C.C.; LANI, J.L. Análise da viabilidade econômica de um sistema Silvopastoril com eucalipto para a Zona da Mata de Minas Gerais. **Agrossilvicultura**, 1(2), 107-120, 2004.

VILELA, L; MARTHA-JUNIOR, G. B.; MACEDO, M.C.M.; MARCHÃO, R.L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; KARINA PUL-ROLNIK, K.; MACIEL, G.A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 46(10), 1127-1138, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000003>

WALL, A.J.; KEMP, P.D.; MACKAY, A.D.; POWER, I. L. Evaluation of easily measured stand inventory parameters as predictors of PAR transmittance for use in poplar silvopastoral management. **Agric. Ecosyst. Environ.**, 139(4), 665-674, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.10.012>

WALTERS, J.R.; BELL, T.L.; READ, S. Intra-specific variation in carbohydrate reserves and sprouting ability in *Eucalyptus* oblique seedlings. **Aust. J. Bot.**, 53(3), 195-203, 2005. <https://doi.org/10.1071/BT04016>

WILL, R.E.; NARAHARI, N.V.; SHIVER, B.D.; TESKEY, R.O. Effects of planting density on canopy dynamics and stem growth for intensively managed loblolly pine stands. **Forest Ecol. Manag.**, 205, 29-41, 2005. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.10.002>

XAVIER, A.C.; SOARES, J.V.; ALMEIDA, A.C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Rev. Árvore**, 26(4), 421-427, 2002.

XAVIER, D.F.; LÉDO, F.J.S.; PACIULLO, D.S.C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Nitrogen cycling in a brachiaria-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. **Nutri. Cycl. Agroecosyst.**, 99, 45-62, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10705-014-9617-x>