

RANIERI RIBEIRO PAULA

**AVALIAÇÃO SILVICULTURAL DE EUCALIPTO EM MONOCULTIVO E EM
SISTEMA AGROFLORESTAL COM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS**

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
2011

RANIERI RIBEIRO PAULA

AVALIAÇÃO SILVICULTURAL DE EUCALIPTO EM MONOCULTIVO E EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS

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 Scientiarum*.

APROVADA: 11 de Julho 2011.



Prof. Maria das Graças Ferreira Reis
(Coorientadora)



Prof. Sílvio Mônico de Oliveira Neto
(Coorientador)



Prof. Hélio Garcia Leite



Dr. Marcela Dias Müller



Prof. Geraldo Gonçalves dos Reis

(Orientador)

*Aos meus pais Umberto e Jussara e irmãos
Renan e Natália*

*“A mente que se abre a uma nova idéia
jamais voltará ao seu tamanho original”*

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Ao que não consigo explicar, mas que sempre me direcionou e me deu força para alcançar todos os meus objetivos, que eu aprendi a chamar de Deus.

Aos meus pais, irmãos e avós, pelo carinho e amor, pelo companheirismo e total apoio as minhas decisões.

À Engenheira Florestal Julianne de Castro Oliveira, por me entender, me dar apoio e ser tão parceira!

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) pela oportunidade de realizar meus estudos ao nível de graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade de continuar meu treinamento e aos professores, por proporcionar-me valiosa formação pessoal e profissional.

Aos professores Geraldo Gonçalves dos Reis e Maria das Graças Ferreira Reis, pela amizade, ensinamentos, dedicação e pelo profissionalismo, que muito contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional.

Aos professores Sílvio Nolasco de Oliveira Neto e Helio Garcia Leite, pela amizade, ensinamentos e solicitude, que foram essenciais na elaboração desta dissertação e de minha formação.

À professora Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, pela consideração, e disponibilização e auxílio na realização das análises de laboratório.

Ao Dr. Marcelo Dias Müller, pelas correções e sugestões nesse documento.

À Ritinha, ao Alexandre e ao Chiquinho, por serem tão solícitos.

Ao CNPq, a FAPEMIG, a CAPES e a UFV, pelo apoio a pesquisa e pela concessão da bolsa de estudos.

À Votorantim Siderurgia, pela disponibilização da área experimental e apoio logístico, em especial, ao Engenheiro Florestal Raul Cesar Nogueira Melido, e aos funcionários Monica e Evandro, pela disposição em ajudar.

Aos colegas e amigos de programa de Pós-Graduação, de UFV e de República, que não necessitam serem citados, mas que tornaram esse período de minha vida muito mais agradável e enriquecedor.

Aos amigos do Laboratório de Ecologia e Fisiologia Florestal: Felipe, Fred e Hortênsia e aos demais colegas da equipe: Diego, Guilherme, Mariana, Ronan e Rodolfo pelo auxílio nas coletas de campo e no laboratório, e pelo apoio, companheirismo e ótimos bate papos.

Ao amigo Marco, pelas dicas, pelo auxílio nas análises do experimento e pelos ótimos bate papos.

Aos amigos da UFRRJ, os quais sempre serão lembrados.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho.

BIOGRAFIA

RANIERI RIBEIRO PAULA, filho de Umberto de Oliveira Paula e Jussara Mesquita Ribeiro Paula, nasceu em Volta Redonda, Rio de Janeiro, em 09 de maio de 1985.

No ano de 2000, ingressou no Colégio Agrícola Nilo Peçanha (CANP) tendo concluído o Ensino Médio e Técnico em Agropecuária em 2002. Em 2004, ingressou no Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro obtendo, no ano de 2009, o título de Engenheiro Florestal. Nesse mesmo ano, ingressou no programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa obtendo o título de *Magister Scientiae* em Ciência Florestal, no ano de 2011.

SUMÁRIO

RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUÇÃO	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3
CAPÍTULO I	6
CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CLONE DE EUCALIPTO EM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTIO	6
RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. MATERIAL e MÉTODOS.....	9
2.1. Área de estudo.....	9
2.2. Instalação do experimento.....	9
2.3. Coleta e avaliação de dados.....	10
3. RESULTADOS.....	11
4. DISCUSSÃO.....	15
5. CONCLUSÕES.....	20
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
CAPÍTULO II	24
CRESCIMENTO DE BROTAÇÕES E DE PLANTAS INTACTAS DE CLONE DE EUCALIPTO EM TRÊS ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTIO EM SISTEMA SILVIPASTORIL	24
RESUMO.....	24
ABSTRACT.....	24
1. INTRODUÇÃO.....	25
2. MATERIAL e MÉTODOS.....	27
2.1. Área de estudo.....	27
2.2. Instalação do experimento.....	27
2.3. Coleta de dados e avaliação do experimento.....	28
3. RESULTADOS.....	29
4. DISCUSSÃO.....	34
5. CONCLUSÕES.....	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
CAPÍTULO III	42
ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DE PLANTAS INTACTAS E DE BROTAÇÕES DE EUCALIPTO E BIOMASSA DE PASTAGEM EM SISTEMA SILVIPASTORIL	42
RESUMO.....	42
ABSTRACT.....	42
1. INTRODUÇÃO.....	43
2. MATERIAL e MÉTODOS.....	44
2.1. Área de estudo.....	44
2.2. Instalação do experimento.....	45
2.3. Índice de área foliar.....	46
2.4. Biomassa da pastagem.....	47
2.5. Análise dos dados experimentais.....	48
3. RESULTADOS.....	49
4. DISCUSSÃO.....	52
5. CONCLUSÕES.....	56
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
CONCLUSÕES GERAIS	61

RESUMO

PAULA, Ranieri Ribeiro, M. Sc. Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011.
Avaliação silvicultural de eucalipto em monocultivo e em sistema agroflorestal com diferentes arranjos espaciais. Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis.
Coorientadores: Maria das Graças Ferreira Reis e Sílvio Nolasco de Oliveira Neto.

O presente estudo visou avaliar o efeito de arranjos espaciais de plantio no crescimento de clone de eucalipto (híbrido natural de *Eucalyptus camaldulensis*) e na produção de biomassa de *Brachiaria brizantha* Stapf cv. Marandu, na região de cerrado (17°36'09"S e 46°42'02"W). Os arranjos do monocultivo foram 3,6x2,5 m (1111 covas ha⁻¹); 3,3x3,3 m (918 covas ha⁻¹) e do sistema agroflorestal (SAF) foram (2x2) + 10 m (833 covas ha⁻¹); (3x3) + 9 m (556 covas ha⁻¹) e 9x3 m (370 covas ha⁻¹). Parte das plantas do SAF foi decepa aos 11,5 meses após o plantio. O diâmetro a 1,3 m de altura (*DAP*) e a altura total das plantas intactas e das brotações foram avaliados até 50 meses após o plantio. O índice de área foliar (*IAF*) do povoamento florestal de todos os arranjos e a biomassa da forrageira nos SAF's foram obtidos aos 38 e 50 meses após o plantio. Os arranjos de plantio não influenciaram a altura das plantas, mas as brotações apresentaram valor assintótico menor do que as plantas intactas. O *DAP* e o volume individual das plantas intactas decresceram com a proximidade das plantas. O maior volume ($p \leq 0,01$) por hectare de plantas intactas ocorreu nos arranjos 3,6x2,5 m, 3,3x3,3 m e (2x2) + 10 m. O arranjo espacial não influenciou o *DAP* das brotações ($p > 0,05$). A produção por hectare das brotações foi igual à das plantas intactas ($p > 0,05$), em razão do maior número de fustes, sendo maiores ($p \leq 0,01$) no arranjo (2x2) + 10 m. O *IAF* decresceu com a idade e com a densidade arbórea ($p \leq 0,05$). A biomassa da pastagem se correlacionou negativamente ($\leq 0,01$), com o *IAF* aos 38 meses de idade e foi superior nos arranjos com baixa densidade arbórea. A decepa de plantas jovens possibilitou a obtenção de madeira de menores dimensões, independentemente do arranjo de plantio. Os arranjos (2x2) + 10 m e 3,6x2,5 m são os mais indicados para produção de madeira de menor diâmetro, para plantas intactas. Madeira de maiores diâmetros e maior produção de biomassa da pastagem podem ser obtidas no 9x3 m, favorecendo o sistema silvipastoril.

Palavra-chave: Crescimento; espaçamento; densidade de plantio; decepa de plantas jovens; brotação; *Eucalyptus camaldulensis*; sistema silvipastoril

ABSTRACT

PAULA, Ranieri Ribeiro, M. Sc. Universidade Federal de Viçosa, July, 2011.
Silvicultural evaluation of eucalypt in monoculture and agroforestry system with different spatial arrangements. Adviser: Geraldo Gonçalves dos Reis. Co-Advisers: Maria das Graças Ferreira Reis and Sílvio Nolasco de Oliveira Neto.

This study aimed to evaluate the effect of spatial arrangements on the growth of eucalypt clone (natural hybrid of *Eucalyptus camaldulensis*) and on biomass production of *Brachiaria brizantha* Stapf cv. Marandu, in the cerrado region, in Brazil (17°36'09"S and 46°42'02"W). Monoculture spatial arrangements included .6 x2.5 m (1111 trees ha⁻¹) and 3.3 x3.3 m (918 trees ha⁻¹) and, agroforestry system (AFS) included (2x2) + 10 m (833 trees ha⁻¹); (3x3) + 9 m (556 trees ha⁻¹) and 9x3 m (370 trees ha⁻¹). Part of the plants in AFS's arrangements was cut at 11.5 months after planting. Tree diameter at breast height (*DBH*) and total height of intact plants and coppice were measured up to 50 months after planting. Leaf area index (*LAI*) of eucalypt stand of all spatial arrangements and biomass of pasture for the AFS's arrangements were obtained at 38 and 50 months after planting. The tree arrangements did not affect plant height but asymptotic value was smaller for coppice than for intact plants. *DBH* and individual volume of intact plants decreased with plant proximity. The greatest volume per hectare ($p \leq 0.01$) of intact plants was obtained in 3.6x2.5 m, 3.3x3.3 m and (2x2) + 10 m arrangements. The spatial arrangement did not affect the coppice diameter ($p > 0.05$). Coppice production per hectare was similar to that of intact plants ($p > 0.05$), due to the higher number of stems per stump, being larger ($p \leq 0.01$) in the arrangement (2x2) + 10 m. *LAI* decreased with age and tree density. The pasture biomass was negatively correlated with the *LAI* at 38 months after tree planting, being greater in low tree density arrangements ($p \leq 0.05$). Decapitation of juvenile plants allowed the production of smaller diameter logs, regardless of the tree planting arrangements. The arrangement (2x2) + 10 m and 3.6x2.5 m are appropriate to produce small-diameter logs of intact plants. To obtain larger diameter logs and higher pasture biomass, one can use the 9x3 m arrangement favoring the silvopastoral system.

Keywords: Growth; spacing; tree planting density; juvenile plant decapitate; coppice; *Eucalyptus camaldulensis*; silvopastoral system

INTRODUÇÃO

A madeira de eucalipto tem sido amplamente utilizada na produção de polpa, papel, carvão, painéis reconstituídos, dentre outros. A área plantada com eucalipto, no Brasil, é de 4,259 milhões de hectares, com crescimento médio anual de 7,4 % no período de 2004 a 2008 (ABRAF, 2009). Os reflorestamentos com eucalipto para fins energéticos, principalmente, em Minas Gerais, onde se concentra a indústria siderúrgica brasileira (ABRAF, 2009), são manejados em rotações curtas (5 a 7 anos), em espaçamentos reduzidos, de 6 a 12 m² por planta.

Em virtude do melhoramento genético e da seleção de genótipos adaptados às condições específicas de sítio, esses materiais apresentam produtividade e uma utilização eficiente dos recursos de crescimento (STAPE et al., 2006; BINKLEY et al., 2010). A escolha adequada do espaçamento e do arranjo de plantio no estabelecimento dos plantios florestais é necessária para a exploração da capacidade de suporte do sítio e do destino da madeira (PINKARD e NEILSEN, 2003; GONÇALVES et al., 2004; KRUSCHEWSKY et al., 2007; HARRINGTON et al., 2009).

Nas últimas décadas têm sido buscados modelos produtivos mais sustentáveis e que possam se adequar a realidade de pequenos agricultores, gerando maior renda e menor necessidade de insumos agrícolas. Nesse aspecto, os sistemas silvipastoris, que são constituídos pela combinação de árvores e pastagens para a criação de animais (DANIEL et al., 1999; LOPÉZ-DÍAS et al., 2009), são promissores. Esses sistemas possibilitam a obtenção de renda extra pelos múltiplos produtos, além de favorecer à conservação do solo e incorporação de nutrientes, sendo que, as pastagens podem, também, aumentar sua biomassa e melhorar a qualidade nutricional (GARCIA e COUTO, 1997; CARVALHO et al., 2002; SOUZA et al., 2007). Entretanto, quando há estabelecimento de consórcios é necessária a escolha de espaçamentos e arranjos espaciais de plantio do componente florestal, visando a interação otimizada do sistema (MACEDO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2007; PRASAD et al., 2010; OLIVEIRA NETO et al., 2010).

Espaçamentos reduzidos aceleram a competição entre as árvores, principalmente em razão do rápido fechamento de copas e senescência de galhos e folhas, resultando em fustes com diâmetro mais reduzido (REIS e REIS, 1997; BERNARDO et al., 1998; LEITE et al., 2006; MAGALHÃES et al., 2007; HARRINGTON et al., 2009). Espaçamentos amplos favorecem o maior crescimento em diâmetro e volume individual

das árvores, podendo facilitar o crescimento da forrageira ou cultivos agrícolas no consórcio, desde que tolerantes ao sombreamento (CARVALHO et al., 2002; PINKARD e NEILSEN, 2003; OLIVEIRA et al., 2007; KRUSCHEWSKY et al., 2007; CLARK III et al., 2008; HARRINGTON et al., 2009; PACIULLO et al., 2009). Madeira de menores dimensões, em espaçamentos amplos, pode ser obtida com a aplicação de decepa das plantas em idade jovem (CACAU et al., 2008).

A maioria dos estudos sobre brotações de eucalipto são desenvolvidos em povoamentos explorados em idades acima de 5 anos, devido à idade da rotação florestal (HIGA e STURION, 2000; MIRANDA et al., 1998; CAVICHIOLLO et al., 2004; ZBONAK et al., 2007). Entretanto, tem sido mostrada, também, a possibilidade da decepa de plantios jovens, no intuito de obter madeira de menores dimensões para energia, ou para reforma de povoamentos jovens que sofreram algum dano, em espaçamentos amplos (CACAU et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2008). Essa técnica pode, outrossim, ser utilizada para estender a safra das culturas anuais.

A rebrota após o corte raso do eucalipto é uma vantagem, principalmente, devido a presença de um sistema radicular desenvolvido, com reservas que poderão ser prontamente mobilizadas possibilitando o rápido crescimento das brotações e evitando gasto com a sua reforma (KAUPPI et al., 1988; LAMPRECHT, 1990; WALTER et al., 2005; ZBONAK et al., 2007; CACAU et al., 2008; LUOSTARINEN et al., 2009). Todavia, a arquitetura das copas das brotações pode diferir da de plantas na primeira rotação, apresentando maior número de folhas e galhos (KAUPPI et al., 1988; REIS e REIS, 1991; 1997; OLIVEIRA et al., 2008), o que pode afetar a efetividade do consórcio envolvendo forrageiras ou culturas agrícolas, pela menor disponibilização de radiação fotossintética ativa.

Dessa forma, assumindo que a deficiência nutricional do solo possa ser corrigida, e havendo disponibilidade de água no solo, a radiação solar pode determinar a produtividade do componente agrícola ou forrageiro do consórcio (OLIVEIRA et al., 2007). Através da determinação do índice de área foliar (IAF) é possível estimar a cobertura do dossel e inferir sobre a capacidade de fixação de carbono em povoamentos de eucalipto (MEDHURST e BEADLE, 2001; XAVIER et al., 2002; DOVEY e TOIT, 2006; MONTE et al., 2007; CHAVES et al., 2007), o que pode servir para subsidiar o manejo adequado de consórcios envolvendo plantas arbóreas, culturas anuais e, ou, animais.

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito do arranjo espacial de plantio sobre o crescimento e a produtividade de plantas intactas e brotações de clone de eucalipto, e sobre a produção de forrageira, quando em sistema silvipastoril.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico, ano base 2008**. ABRAF: Brasília, 2009.

BERNARDO, A. L. et al. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 104, n. 1-3, p. 1-13, 1998.

BINKLEY, D. et al. Explaining growth of individual trees: Light interception and efficiency of light use by *Eucalyptus* at four sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1704-1713, 2010.

CACAU, F. V. et al. Decepa de plantas jovens de eucalipto e manejo de brotações, em um sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.11, p.1457-1465, 2008.

CARVALHO, M. M.; FREITAS, V. P.; XAVIER, D. F. Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condições de sombreamento natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.5, p. 717-722, 2002.

CAVICHIOLO, S. R.; DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Preparo do solo e o estado nutricional da rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Scientia Forestalis**, v.66, p.120-127, 2004.

CHAVES, R. A. et al. Dinâmica de cobertura de dossel de povoamentos de clones de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden submetidos a desrama artificial e desbaste. **Revista Árvore**, v.31, n.6, p.989-998, 2007.

DANIEL, O. et al. Proposta para a padronização da terminologia empregada em sistemas agroflorestais no Brasil. **Revista Árvore**, v.23, n.3, p. 367-370, 1999.

DOVEY, S. B.; TOIT, B. Calibration of LAI-2000 canopy analyser with leaf area index in a young eucalypt stand. **Trees**, v. 20, n. 3, p. 273-277, 2006.

GARCIA, R.; COUTO, L. Sistemas Silvopastoris: tecnologia emergente de sustentabilidade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1, Viçosa, MG. **Anais..** Viçosa: UFV, 1997. p. 446-471.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 193, n. 1-2, p. 45-61, 2004.

- HARRINGTON, T. B.; HARRINGTON, C. A.; DEBELL, D. S. Effects of planting spacing and site quality on 25-year growth and mortality relationships of Douglas-fir (*Pseudotsugamenziesii* var. *menziesii*). **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 1, p. 18–25, 2009.
- HIGA, R. C. V.; STURION, J. A. Efeito do espaçamento na capacidade de brotação de *Eucalyptus viminalis*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 40, p.77-83, 2000.
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**. Berlim: GTZ, 1990. 343 p.
- KAUPPI, A.; KIVINIITTY, M.; FERM, A. Growth habits and crown architecture of *Betula pubescens* Ehrh. of seed and sprout origin. **Canadian Journal of Forest Research**, v.18, p.1603-1613, 1988.
- KRUSCHEWSKY, G. C. et al. Arranjo estrutural e dinâmica de crescimento de *Eucalyptus spp.* em sistema agrossilvipastoril no cerrado. **Cerne**, v. 13, n. 4, p. 360-367, 2007.
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamento de *Pinus Taeda* L. **Revista Árvore**, v.30, n.4, p.603-612, 2006.
- LÓPEZ-DÍAZ, M. L.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MOSQUERA-LOSADA, M. R. Influence of pasture botanical composition and fertilization treatments on tree growth. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 4, p. 1363-1372, 2009.
- LUOSTARINEN, K.; HUOTARI, N.; TILLMAN-SUTELA, E. Effect of regeneration method on growth, wood density and fibre properties of downy birch (*Betula pubescens* Ehrh.). **Silva Fennica**, v. 43, n. 3, p. 329-338, 2009.
- MAGALHÃES, W. M. et al. Desempenho silvicultural de clones e espécies/procedências de *Eucalyptus* na região noroeste de Minas Gerais. **Cerne**, v. 13, n. 4, p. 368-375, 2007.
- MACEDO, R. L. G. et al. Desempenho silvicultural de clones de eucalipto e características agrônômicas de milho cultivados em sistema silviagrícola. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, 701-709, 2006.
- MEDHURST, J. L.; BEADLE, C. L. Crown structure and leaf area index development in thinned and unthinned *Eucalyptus nitens* plantations. **Tree Physiology**, v. 21, n. 12-13, p. 989–999, 2001.
- MIRANDA, G. A. et al. Produtividade de povoamento de eucalipto em regime de talhadia, em função da adubação parcelada, no Vale do Jequitinhonha, MG. **Revista Árvore**, v.22, p.51-60, 1998.
- MONTE, M. A. et al. Métodos indiretos de estimação da cobertura de dossel em povoamentos de clone de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.6, p.769-775, 2007.

OLIVEIRA, T. K. et al. Produtividade de *Brachiaria brizantha* (hochst. ex a. rich.) stapf cv. marandu sob diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril com eucalipto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 748-757, 2007.

OLIVEIRA, C. H. R. et al. Área foliar e biomassa de plantas intactas e de brotações de plantas jovens de clone de eucalipto em sistemas agrossilvipastoris. **Revista Árvore**, v.32, n.1, p.59-68, 2008.

OLIVEIRA NETO, S. N. et al. Arranjos estruturais do componente arbóreo em Sistema Agrossilvipastoril e seu manejo por desrama e desbaste. **Informe Agropecuário**, v. 31, p. 47-58, n. 257, 2010.

PACIULLO, D. S.C. et al. Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.11, p.1528-1535, 2009.

PINKARD, E. A.; NEILSEN, W. A. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, v. 172, n. 2-3, p. 215-227, 2003.

PRASAD, J. V. N. S. et al. Tree row spacing affected agronomic and economic performance of *Eucalyptus*-based agroforestry in Andhra Pradesh, Southern India. **Agroforest Systems**, v. 78, n. 2, p. 253–267, 2010.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Respostas estomáticas e mudanças nos níveis de reservas de plantas intactas e de brotações de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. submetidas a deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, v.15, n.2, p.112-125, 1991.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Fisiologia da brotação de eucalipto com ênfase nas suas relações hídricas. Série Técnica **IPEF**, v.11, n.30, p.9-22, 1997.

SOUZA, A. N. et al. Viabilidade econômica de um sistema agroflorestal. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 96-106, 2007.

STAPE, J. L. et al. A twin-plot approach to determine nutrient limitation and potential productivity in *Eucalyptus* plantations at landscape scales in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 223, n. 1-3, p. 358–362, 2006.

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. **Revista Árvore**, v.26, n. 4, p.421-427, 2002.

WALTERS, J. R.; BELL, T. L.; READ, S. Intraspecific variation in carbohydrate reserves and sprouting ability in *Eucalyptus obliqua* seedlings. **Australian Journal of Botany**, v.53, n.3, p.195-203, 2005.

ZBONAK, A.; BUSH, T.; GRZESKOWIAK, V. Comparison of tree growth, wood density and anatomical properties between coppiced trees and parent crop of six *Eucalyptus* genotypes. **IUFRO**, Durban, p. 1-10, 2007.

CAPÍTULO I

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CLONE DE EUCALIPTO EM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTIO

RESUMO

O crescimento, a produtividade e o índice de área foliar (IAF) do clone 62 (híbrido natural de *Eucalyptus camaldulensis*) foram avaliados nos arranjos 3,6x2,5 m (1111 árvores ha⁻¹); 3,3x3,3 m (918 árvores ha⁻¹); (2x2) + 10 m (833 árvores ha⁻¹); (3x3) + 9 m (556 árvores ha⁻¹) e 9x3 m (370 árvores ha⁻¹). O diâmetro a altura de 1,3 m (*DAP*) e a altura total (*Ht*) das árvores foram avaliados até a idade de 50 meses. O IAF foi avaliado aos 38 e 50 meses após plantio. O arranjo de plantio não influenciou o crescimento em altura ($p>0,05$). O *DAP* médio foi influenciado pela proximidade das plantas ($p\leq 0,01$), sendo menor nos arranjos (2x2) + 10 m e 3,6x2,5 m, que se mostraram iguais ($p>0,05$). O volume por planta aumentou com a densidade de plantio, destacando-se no arranjo 9x3 m ($p\leq 0,01$). O maior volume por hectare ($p\leq 0,01$) foi verificado nos arranjos (2x2) + 10 m, 3,6x2,5 e 3,3x3,3 m. O IAF decresceu com a idade e com a densidade de plantio, indicando haver maior transmitância da radiação solar nos arranjos com 9 a 10 m entre linhas. Os resultados sugerem que: os arranjos (2x2) + 10 m e 3,6x2,5 m são recomendados principalmente para a produção de madeira para carvão, celulose e outros, em razão da elevada produção; o arranjo 9x3 m é recomendado para a produção de madeira serrada e postes devido ao maior diâmetro das árvores e, sistemas agroflorestais podem ser estabelecidos nos arranjos com maior distância entre linhas simples ou duplas.

Palavras-chave: Espaçamento; densidade de plantas; *Eucalyptus camaldulensis*

ABSTRACT

Growth, productivity and leaf area index (LAI) of an eucalypt clone (natural hybrid of *Eucalyptus camaldulensis*) were evaluated in the 3.6x2.5 m (1111 trees ha⁻¹); 3.3x3.3 m (918 trees ha⁻¹); (2x2) + 10 m (833 trees ha⁻¹); (3x3) + 9 m (556 trees ha⁻¹) and 9x3 m (370 trees ha⁻¹) arrangements. Tree diameter at breast height (*DBH*) and total height

were measured up to 50 months. The LAI was estimated at 38 and 50 months. Tree arrangements did not affect plant height growth ($p>0.05$). Average *DBH* was affected by plant proximity, being smaller ($p\leq 0.01$) in the arrangements (2x2) + 10 m and 3.6x2.5 m. Volume per plant increased with planting density, being the highest value ($p\leq 0.01$) obtained for the single row arrangement (9x3 m) The highest volume per hectare ($p>0.05$) was observed in the arrangements (2x2) + 10 m, 3.6x2.5 m and 3.3x3.3 m. LAI decreased from 38 to 50 months. In the arrangement with large distance between single or double rows, LAI was the greatest, which indicates greater radiation transmittance allowing for crops consortium. The results suggest that: the arrangement (2x2) + 10 m and 3.6x2.5 m can be recommended to produce wood for uses that require high biomass production; 9x3 m can be adopted for uses that require larger diameter logs and, the arrangement with larger distances between single or double rows can be used in consortium with crops or pasture.

Keywords: tree spacing; tree density; *Eucalyptus camaldulensis*

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, grande parte dos plantios florestais, sobretudo com espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, são realizados em espaçamentos, com área útil por planta variando de 4 a 12 m² planta⁻¹ (BERNARDO et al., 1998; GONÇALVES et al., 2004; LEITE et al., 2006; NOGUEIRA et al., 2008). E, para um mesmo espaçamento de plantio, é possível utilizar variados arranjos espaciais, o que pode influenciar a implantação, manutenção e colheita (GONÇALVES et al., 2004). Também, a escolha da densidade, espaçamento e arranjo das plantas no campo deve levar em consideração o material genético utilizado, a capacidade de suporte do sítio, o uso que será dado à madeira, além do interesse em consórcios com outras espécies.

Elevando-se a densidade de plantio, aumenta-se a competição entre plantas, contribuindo para o surgimento de árvores dominadas (BERNARDO et al., 1998; LEITE et al., 2006; KRUSCHEWSKY et al., 2007; HARRINGTON et al., 2009). Sítios de melhor qualidade comportam maior número de plantas por unidade de área e mantêm maior taxa de crescimento das árvores, com antecipação da rotação florestal (LACERDA e COUTO, 1993; CAMPOS e LEITE, 2009). O aumento de produtividade dos povoamentos pode ser obtido pela disponibilização de recursos de crescimento, principalmente, pela adoção adequada de espaçamento e arranjo espacial (BERNARDO

et al., 1998; MAGALHÃES et al., 2007; KRUSCHEWSKY et al., 2007), e pela aplicação de adubação, irrigação e, ou fertirrigação (STAPE et al., 2006; ALMEIDA et al., 2010; HUBBARD et al., 2010). Porém, para a aplicação dessas técnicas, tem que ser levado em conta a relação custo/ benefício (GONÇALVES et al., 2004).

Há uma correlação positiva entre o incremento em diâmetro por árvore com o aumento da sua área útil (BERNARDO et al., 1998; PINKARD e NEILSEN, 2003; BARTON e MONTAGU, 2006; LEITE et al., 2006; CLARK III et al., 2008; HARRINGTON et al., 2009). Ao longo do tempo, em espaçamentos mais adensados, a altura média do povoamento pode ser menor, devido a competição entre plantas, o que pode gerar estratificação do dossel (PINKARD e NEILSEN, 2003; LEITE et al., 2006; HARRINGTON et al., 2009), a depender do material genético, da tolerância à competição e da eficiência na captura e no uso dos recursos de crescimento do ambiente (BINKLEY, 2004; MACEDO et al., 2006; MAGALHÃES et al., 2007; BOYDEN et al., 2008). Em povoamentos clonais de eucalipto, é esperada maior uniformidade entre as plantas, mas o ambiente pode acarretar modificações no crescimento (MAGALHÃES et al., 2007; BOYDEN et al., 2008). Em regiões de solos de baixa fertilidade natural e distribuição irregular de chuvas, como no cerrado, há necessidade da escolha de materiais genéticos adaptados a essas condições limitantes (MACEDO et al., 2006). Há, também, necessidade de adequação da densidade de plantio para essas condições específicas de sítio (GONÇALVES et al., 2004).

Empresas e pequenos produtores podem adotar os sistemas agroflorestais para obtenção de múltiplos produtos (MACEDO et al., 2006), destacando-se os sistemas silvipastoris (LÓPEZ-DÍAZ et al., 2009; PRASAD et al., 2010). Estes sistemas podem ser estabelecidos com eucalipto como componente arbóreo (PRASAD et al., 2010; OLIVEIRA NETO et al., 2010). O desafio no seu estabelecimento seria a determinação de espaçamentos e arranjos espaciais de plantio, de forma a otimizar a produção de madeira e de forragem (MACEDO et al., 2006; SOUZA et al., 2007; PRASAD et al., 2010; OLIVEIRA NETO et al., 2010).

O objetivo do presente estudo foi analisar o efeito de diferentes arranjos espaciais de plantio de um clone de híbrido natural de *Eucalyptus camaldulensis* na região de cerrado sobre o crescimento, a produtividade e o índice de área foliar do povoamento.

2. MATERIAL e MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido com o clone 62 (híbrido natural de *Eucalyptus camaldulensis*) na Votorantim Siderurgia, no Município de Vazante, MG (17°36'09"S e 46°42'02"W), com altitude média de 550 m, em área de pastagem de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu que já se encontrava estabelecida na região. A precipitação média anual na área do estudo é de 1.312 mm (1989-2009), com média mensal de 222 mm, entre novembro e março e de 29 mm, de abril a outubro. A temperatura média anual é de 26°C, a média das máximas é de 35°C, e das mínimas de 18°C, com umidade relativa do ar média anual de 74 %. A evaporação potencial é de 1.689 mm e a região apresenta déficit hídrico, nos meses de abril a outubro, de 497 mm, estimado pelo método de Thornthwaite (1948) através do software BHÍDRICO GD 4.0-2004 (D'ANGIOLELLA e VASCONCELLOS, 2004). A vegetação natural constitui em formações do bioma Cerrado e os solos da região se englobam na ordem do LATOSSOLOS (CACAU et al., 2008).

2.2. Instalação do experimento

No preparo do solo para o plantio foi utilizado o subsolador na profundidade de 30-40 cm, com aplicação de 743 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo. O plantio foi realizado em dezembro de 2006, com aplicação imediata de 130 kg ha⁻¹ de NPK na formulação 10-28-06 + 0,6 % de B e 0,4 % de Zn, em covetas duplas laterais. Dois meses após o plantio, fez-se capina química na entrelinha, seguida de aplicação de 95 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio. Em abril, foi feita a segunda aplicação com 106 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio e 25 kg ha⁻¹ de borogram (10 % de B).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco arranjos de plantio e três repetições, com 24 plantas por parcela. Os arranjos testados foram: (T1) 3,6x2,5 m; (T2) 3,3x3,3 m, arranjos do eucalipto em monocultivo; (T3) (2x2) + 10 m; (T4) (3x3) + 9 m e (T5) 9x3 m, arranjos do sistema silvipastoril. As correspondentes densidades (árvores ha⁻¹) são: 1111 (T1), 918 (T2), 833 (T3), 556 (T4) e 370 (T5).

2.3. Coleta e avaliação de dados

As medições de diâmetro à altura de 1,3 m (*DAP*) e da altura total (*Ht*) de todas as árvores foram realizadas aos 10, 18, 23, 33, 38 e 50 meses após o plantio do eucalipto. Aos 50 meses, foram selecionadas, de três a seis árvores, em cada classe de diâmetro até perfazer 15 árvores, para abate e cubagem, nos arranjos (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m. O diâmetro com casca foi medido nas alturas: 0 (altura de abate da árvore); 0,5 m; 1,0 m; 2,0 m; 4,0 m e, assim, sucessivamente, a cada dois metros, até a altura onde o diâmetro do tronco fosse de 4,0 cm. Essas medições foram empregadas para o ajuste do modelo de Schumacher e Hall (1933), na sua forma linear (LEITE et al., 2006), sendo a equação utilizada para a determinação do volume por planta em todas as idades. Para os arranjos 3,6x2,5 m e 3,3x3,3 m, foram aproveitadas equações volumétricas fornecidas pela empresa, para o material genético em estudo, referentes ao mesmo modelo utilizado nos demais arranjos. O volume por planta foi utilizado para a totalização do volume por parcela experimental e sua conversão para hectare.

Os modelos Gompertz (1) e Logístico (2), descritos a seguir, foram ajustados para diâmetro, altura, área basal e volume, sendo esses ajustamentos avaliados pelo coeficiente de correlação entre valores observados e aqueles estimados ($r_{\hat{y}y}$) e pelo erro padrão residual (S_{yx}) (CAMPOS e LEITE, 2009). As equações selecionadas foram comparadas empregando testes de identidade para modelos não lineares (REGAZZI, 2003).

$$y = \alpha e^{(e^{(\beta - \gamma I)})} \quad (1)$$

$$y = \frac{\alpha}{(1 + \beta e^{(-\gamma I)})} \quad (2)$$

em que: y : variável de interesse; α , β , γ : parâmetros do modelo; I : idade, em meses.

Aos 38 (fev./2010) e 50 (fev./2011) meses após o plantio foram realizadas leituras para obtenção do índice de área foliar (IAF) com o analisador de dossel Licor LAI-2000. Foram utilizados dois sensores: um em área próxima as parcelas, a céu aberto, e o outro, onde foram feitas as leituras, nas parcelas experimentais. As leituras do IAF foram realizadas sob luz difusa, geralmente, ao amanhecer ou no final da tarde (XAVIER et al., 2002), e, se iniciaram a partir da segunda planta no início de cada parcela útil. Foram realizadas leituras em quatro pontos nos arranjos (2x2) + 10 m e

(3x3) + 9 m: o primeiro localizado na interseção entre diagonais de quatro plantas na linha dupla de plantio; o segundo entre duas plantas de uma das linhas; e, outros dois, em distâncias regulares, em linha reta, 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 foram realizadas leituras 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. Nos arranjos 3,6x2,5 m e 3,3x3,3 m, foi realizada uma leitura abaixo da copa das árvores localizada na interseção entre diagonais de quatro plantas, a partir da segunda planta do início da parcela útil.

As leituras de IAF realizadas aos 38 (fev./2010) e 50 (fev./2011) meses foram empregadas na expressão 3, descrita a seguir, para determinar o percentual de variação do IAF, tendo sido convertida para logaritmo natural (Ln), a fim de colocar na mesma escala das leituras.

$$Ln(IAF) = \frac{L38-L50}{L38} * 100 \quad (3)$$

em que: L38: Leitura do IAF realizada aos 38 meses após plantio e L50: Leitura aos 50 meses.

As análises estatísticas dos dados foram realizadas com os softwares Statistica 9.0 (STATSOFT, INC, 2009), CurveExpert 1.4 (HYAMS, D., 2009) e Sigmaplot 10.0 (SYSTATSOFT, INC, 2006).

3. RESULTADOS

As equações ajustadas para volume individual nos arranjos (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m apresentaram coeficientes de correlação superiores a 0,99 ($p \leq 0,05$) (Tabela 1).

O modelo de Gompertz descreveu adequadamente o crescimento em diâmetro médio, altura total e área basal por hectare e o crescimento em altura das árvores dominantes, volume por planta e volume por hectare pelo modelo Logístico (Tabela 2). Esses dois modelos, em sua maioria, apresentaram coeficientes de correlação superiores a 0,94 ($p \leq 0,05$).

O valor assintótico para altura média foi 27,9 m e, para a altura média das árvores dominantes, 29,7 m, aos 50 meses de idade, independentemente do arranjo espacial (Figura 1; Tabela 2).

Tabela 1. Estimativa dos parâmetros e indicador de ajuste do modelo Schumacher e Hall ajustado para o volume individual do clone 62 de eucalipto, sob diferentes arranjos espaciais, em Vazante, MG

Trat.	Arranjo (m)	Espaçamento (m ² árvore ⁻¹)	Densidade (árvores ha ⁻¹)	Parâmetros			r _{yy} ¹
				β ₀	β ₁	β ₂	
T1	3,6x2,5	9,0	1.111	- 8,9210	2,0484	0,3861	-----
T2	3,3x3,3	10,9	918	- 8,9210	2,0484	0,3861	-----
T3	(2x2) + 10	12,0	833	- 10,2377	1,8946	1,0729	0,99
T4	(3x3) + 9	18,0	556	- 8,5734	2,1927	0,2610	0,99
T5	9x3	27,0	370	- 9,9219	1,7332	1,1144	0,99

¹ r_{yy}= Coeficiente de correlação.

Tabela 2. Estimativa dos parâmetros dos modelos Gompertz e Logístico para altura média, altura das árvores dominantes, diâmetro médio, área basal por hectare, volume individual e volume por hectare e correspondentes coeficientes de correlação e erro padrão residuais, para o clone 62 de eucalipto, sob diferentes arranjos espaciais, em Vazante, MG

Trat. ¹	$y = \alpha e^{(e^{(\beta-\gamma I)})}$			r _{yy}	S _{yx}	$y = \frac{\alpha}{(1 + \beta e^{(-\gamma I)})}$			r _{yy}	S _{yx}
	α	β	γ			α	β	γ		
	-----Altura média (m) -----					-----Altura dominante (m) -----				
T1-5	27,9229	1,2157	0,0510	0,97	1,44	29,6798	12,1794	0,0833	0,97	1,49
	-----Diâmetro médio (cm)-----					-----Volume (m ³ planta ⁻¹)-----				
T1	16,2084	1,2406	0,0797	0,96	1,10	0,1244	53,6035	0,1247	0,91	0,01
T2	18,3513	1,3601	0,0826	0,98	0,78	0,1863	154,6736	0,1458	0,97	0,14
T3	16,2084	1,2406	0,0797	0,96	1,10	0,2020	459,6863	0,1726	0,97	0,14
T4	18,3513	1,3601	0,0826	0,98	0,78	0,2353	128,2483	0,1541	0,99	0,00
T5	21,3343	1,3960	0,0759	0,99	0,44	0,3169	248,3599	0,1460	0,99	0,00
	-----Área basal (m ² ha ⁻¹)-----					-----Volume (m ³ ha ⁻¹)-----				
T1	22,9968	1,6469	0,0607	0,94	2,08	151,9156	91,0076	0,1286	0,95	13,74
T2	22,9968	1,6469	0,0607	0,94	2,08	151,9156	91,0076	0,1286	0,95	13,74
T3	22,9968	1,6469	0,0607	0,94	2,08	151,9156	91,0076	0,1286	0,95	13,74
T4	12,8777	2,0449	0,0790	0,96	2,08	119,8492	142,3333	0,1415	0,95	10,80
T5	14,0891	1,9141	0,0638	0,98	0,57	119,8492	142,3333	0,1415	0,95	10,80

¹ T1= 3,6 x 2,5 m; T2= 3,3 x 3,3 m; T3= (2x2) + 10 m; T4= (3x3) + 9 m e T5= 9 x 3 m.

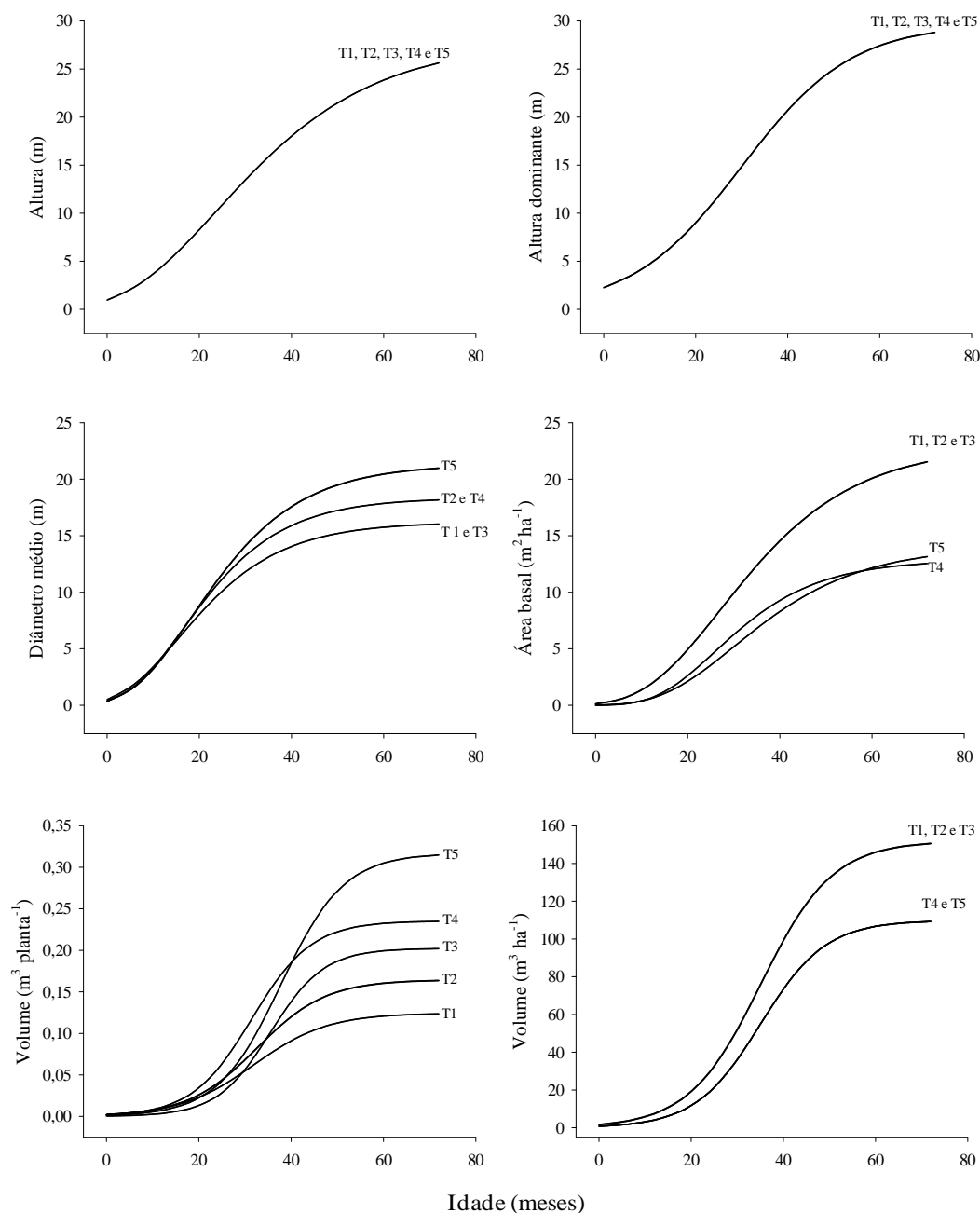


Figura 1. Crescimento do clone 62 de eucalipto, em função da idade das plantas, na região de cerrado, em Vazante, MG. Em que: T1= 3,6x2,5 m; T2= 3,3x3,3 m; T3= (2x2) + 10 m; T4= (3x3) + 9 m e T5= 9x3 m.

O maior valor assintótico do diâmetro médio das árvores foi verificado para o arranjo 9x3m (21,3 cm), com curva de crescimento estatisticamente diferente ($p \leq 0,01$) de dois outros grupos de arranjos: 3,6x2,5m e (2x2)+10m e, 3,3x3,3m e (3x3)+9m, que se mostraram iguais entre si ($p > 0,05$) (Tabela 2, Figura 1). Observou-se máximo incremento em diâmetro médio no arranjo 9x3 m, tendo ocorrido em idade mais

avançada, e menor incremento em diâmetro ocorreu nos arranjos (2x2) + 10 m e 3,6x2,5 m (Figura 2).

A área basal foi similar ($p>0,05$) para os arranjos 3,6x2,5 m, 3,3x3,3 m e (2x2) + 10 m, com valores assintóticos de $22,99 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, com maior densidade de plantio (Tabela 1), sendo os valores assintóticos mais baixos ($p\leq 0,01$) observados no arranjo (3x3) + 9 m ($12,98 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) (Tabela 2; Figura 1).

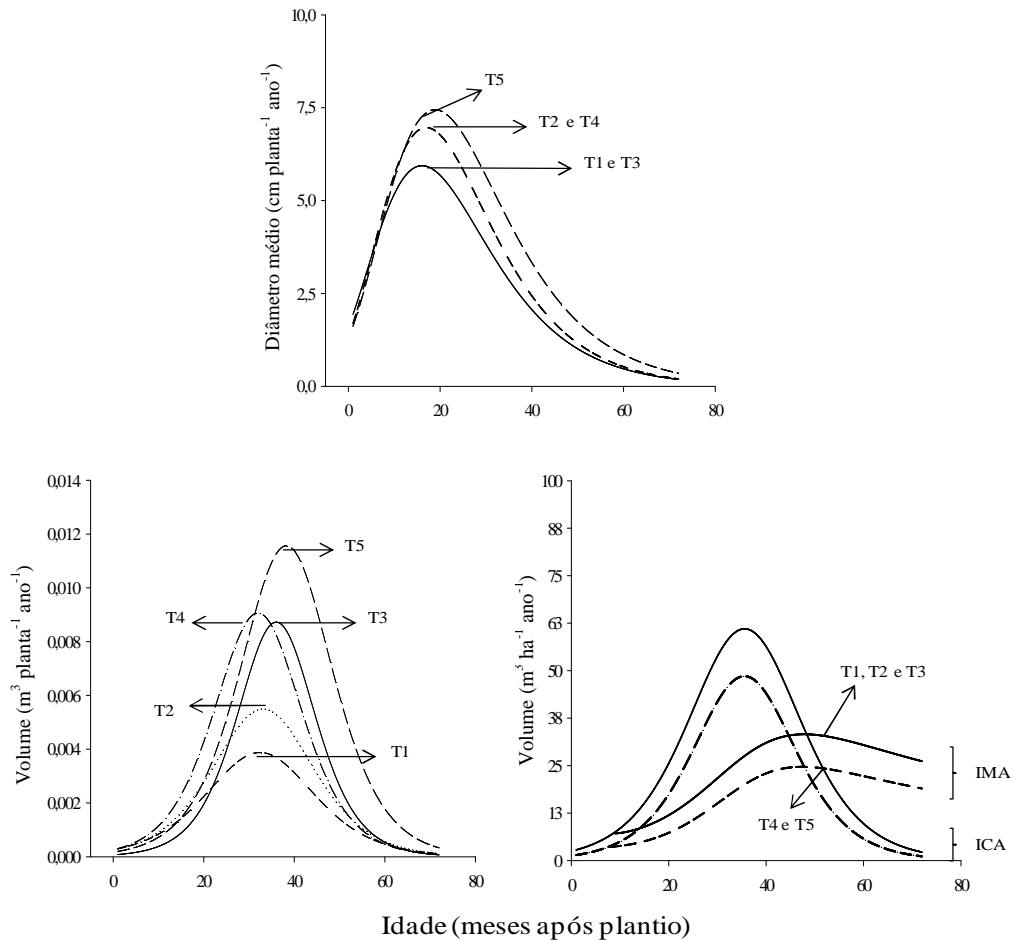


Figura 2. Incremento do clone 62 de eucalipto em função da idade, em Vazante, MG. Em que: T1= 3,6x2,5 m; T2= 3,3x3,3 m; T3= (2x2) + 10 m; T4= (3x3) + 9 m e; T5= 9x3 m. IMA= Incremento médio anual; ICA= Incremento corrente anual.

As curvas para volume individual apresentaram comportamento diferenciado entre todos os tratamentos ($p\leq 0,05$) (Figura 1), onde valores assintóticos mais elevados foram encontrados no arranjo 9x3m ($0,3169 \text{ m}^3 \text{ planta}^{-1}$) (Tabela 2), havendo decréscimo do volume individual com a diminuição da área útil por árvore. O maior

incremento em volume individual se deu, em idade mais avançada, no arranjo 9x3 m e o menor no arranjo 3,6x2,5 m, ocorrido mais precocemente (Figura 2).

O maior volume por hectare ($p \leq 0,05$) foi verificado nos arranjos 3,3x2,5 m (1.111 árvores ha^{-1}), 3,3x3,3 m (918 árvores ha^{-1}) e (2x2) + 10 m (833 árvores ha^{-1}), com valor assintótico de $151,92 m^3 ha^{-1}$ e menores ($p \leq 0,01$) nos arranjos (3x3) + 9 m (556 árvores ha^{-1}) e 9x3 m (370 árvores ha^{-1}) ($119,84 m^3 ha^{-1}$) (Tabela 2; Figura 1). O maior incremento médio anual das árvores ocorreu nos arranjos 3,6x2,5 m, 3,3x3,3 m e (2x2) + 10 m ($32 m^3 ha^{-1} ano^{-1}$) seguido pelo das árvores dos arranjos (3x3) + 9 m e 9x3 m ($24 m^3 ha^{-1} ano^{-1}$). Dessa forma, foi determinado que a idade técnica de corte para o clone nas condições estudadas variou de 47 a 48 meses.

Maiores valores de IAF ocorreram nos arranjos de plantio que continham maior densidade de plantas, como no 3,6x2,5 m (1.111 árvores ha^{-1}) e 3,3x3,3 m (918 árvores ha^{-1}), em ambas idades. Tendências de maiores reduções, entre idades, ocorreram, também, nesses dois últimos arranjos, acrescidos do arranjo (2x2) + 10 m (833 árvores ha^{-1}) com valores um pouco abaixo (Figura 2).

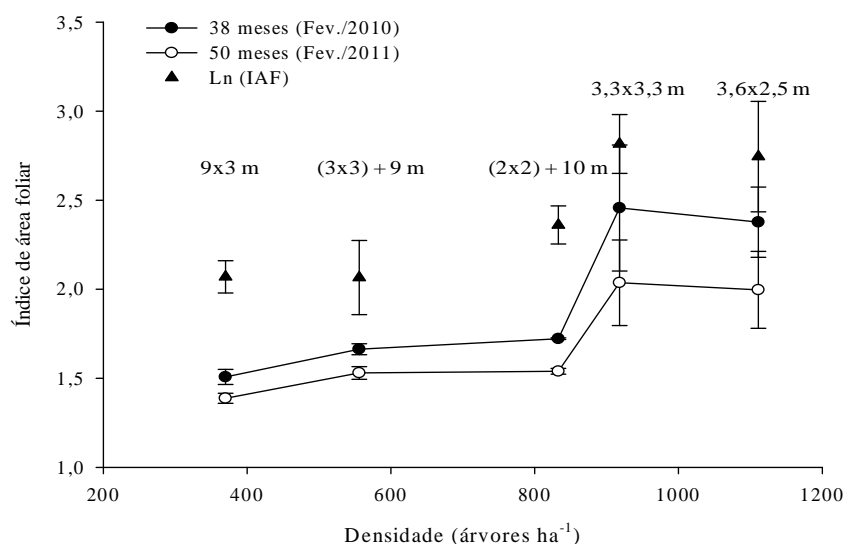


Figura 2. Índice de área foliar em povoamento do clone 62 de eucalipto em função da densidade de plantio, em Vazante, MG. Barras verticais correspondem ao desvio padrão (N=3).

4. DISCUSSÃO

O crescimento das árvores ao longo do tempo se deve, principalmente, à subdivisão e alongamento celular e pode ser influenciado por um conjunto de fatores

que afetam os recursos de crescimento (RYAN e YODER, 1997; BINKLEY, 2004; CAMPOS e LEITE, 2009; STAPE et al., 2006; ALMEIDA et al., 2010; HUBBARD et al., 2010). O potencial de resposta a esses recursos é intrínseco do material genético (RYAN e YODER, 1997; GONÇALVES et al., 2004). O potencial produtivo de um sítio pode ser expresso pela altura média das árvores dominantes, devido ao menor efeito da competição sobre as mesmas (CLUTTER et al., 1983; PINKARD e NEILSEN, 2003; CAMPOS e LEITE, 2009). Conforme observado no presente estudo, os arranjos espaciais de plantio não influenciaram a altura média das árvores dominantes.

A altura média de todas as árvores do povoamento pode ser influenciada pela densidade de plantio para uma mesma condição de sítio, pois, maiores densidades podem estar associadas a escassez de recursos do meio, ocasionando, quase sempre, estratificação do dossel (HAWLEY e SMITH, 1972; PINKARD e NEILSEN, 2003; BINKLEY, 2004; HARRINGTON et al., 2009). Harrington et al. (2009) verificaram, para *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*, menor altura média no espaçamento de 1 m² por planta em relação aos de 2 a 6 m², aos 25 anos após plantio, em solos de fertilidade média. Kruschewsky et al. (2007) verificaram menores alturas médias nas plantas de clones de *E. camaldulensis* x *E. urophylla*, com 51 meses de idade, no arranjo 3,3x2,0 m, em comparação com os arranjos 3,3x3 m; 5x2 m e 10x2 m. Embora as condições edafoclimáticas da região de estudo possam limitar o crescimento das árvores, independentemente do espaçamento ou arranjo espacial, por apresentarem solos de baixa fertilidade natural e acentuado déficit hídrico, sugere-se que a inexistência de diferenças na altura média das árvores no presente estudo esteja relacionada com a idade, ainda reduzida, do povoamento (50 meses). Também, poderia estar relacionado às características do material genético em estudo, que é constituído de um clone de híbrido natural de *E. camaldulensis*. Essa espécie e seus híbridos possuem sistema radicular profundo, o que facilita a absorção de água e nutrientes em um maior volume de solo e favorece seu crescimento mesmo em condições de elevada competição em regiões com déficit hídrico acentuado (BERNARDO et al., 1998; LELES et al., 2001; REIS et al., 2006). Essas características do sistema radicular são importantes para o crescimento do componente arbóreo bem como dos outros componentes do consórcio (DAS e CHATURVEDI, 2008). Magalhães et al. (2007) não verificaram, aos 9,5 anos de idade, diferenças na altura média das plantas nos arranjos espaciais de plantio (3x2, 6x2, 6x3, 6x4 m) de vários materiais genéticos de eucalipto, na região de cerrado.

Os arranjos espaciais de plantio influenciaram o crescimento em diâmetro das plantas. Nos arranjos (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m, em que as plantas foram

estabelecidas em linhas duplas e simples, com a maior distância entre plantas de 9 e 10 m, o que favorece a aquisição de recursos de crescimento pelas plantas. O diâmetro das árvores nos arranjos (2x2) + 10 m e 3,6x2,5 m, que apresentam maior proximidade entre plantas, foram iguais ($p > 0,05$) e apresentaram a menor assíntota para o diâmetro. Ou seja, o diâmetro foi afetado pelo espaço disponível por planta e pela disposição relativa das plantas no arranjo. Esse efeito foi observado por Kruschewsky et al. (2007), que encontraram menores diâmetros aos 51 meses de idade no arranjo 3,3x2,0 m (11,8 cm) em comparação ao 3,3x3,0 m (14,0 cm), para clone de *E. camaldulensis* x *E. urophylla*. Em razão da distância maior entre as plantas na linha de plantio, a interação entre plantas no que se refere a parte aérea e sistema radicular deve acontecer em idade mais avançada no arranjo 9x3 m em comparação com os demais, em que as plantas vizinhas são mais próximas. Leles et al. (2001) verificaram que, quando em espaçamentos mais adensados, a proporção de biomassa de raízes é menor, do que em espaçamentos mais amplos, para *E. pellita* e *E. camaldulensis*, aos 52 meses de idade, na região de cerrado. O maior espaço disponível para o crescimento de *E. camaldulensis* promoveu maior biomassa de folhas, galhos, fuste e raízes grossas, aos 41 meses, sendo maiores no arranjo 4x3 m em comparação ao 3x1,5 m, na região de cerrado (BERNARDO et al., 1998). Dessa forma, é de grande importância a análise da distribuição de raízes para melhor entender as respostas da parte aérea das plantas em relação a arranjo espacial e espaçamento.

A área basal variou com a densidade de plantio e com a existência de árvores de maiores diâmetros. A área basal foi maior nos arranjos 3,6x2,5 m, 3,3x3,3 m e (2x2) + 10 m, em razão de apresentar maiores densidades de plantio, bem como pela existência de árvores nas classes superiores e médias de diâmetro (CLUTTER et al., 1983; CAMPOS e LEITE, 2009). O maior valor assintótico para área basal no arranjo 9x3 m, apesar da menor densidade de plantio, em comparação ao (3x3) + 9 m, se deve, principalmente, ao maior crescimento em diâmetro. Esse efeito, também, foi verificado em clone de *E. camaldulensis* x *E. urophylla*, aos 51 meses de idade, onde, no arranjo 10x3 m, apesar da menor densidade de plantio comparado ao (3x3) + 10 m, as árvores apresentaram maiores diâmetros e, conseqüentemente, maior área basal (OLIVEIRA et al., 2009).

Os resultados encontrados para o crescimento em volume individual sugerem o efeito benéfico quando as plantas foram dispostas em linhas duplas e simples, com distâncias mínimas de 9 m entre essas. Efeito de maiores distâncias entre plantas sobre o volume individual foram verificados em outros estudos (BERNARDO et al., 1998;

PINKARD e NEILSEN, 2003; LEITE et al., 2006; MACEDO et al., 2006; MAGALHÃES et al., 2007; KRUSCHEWSKY et al., 2007; HARRINGTON et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2009). A retangularidade, ou seja, a relação entre a maior e a menor distância entre plantas, pode interferir na disponibilização de recursos de crescimento (PINKARD e NEILSEN, 2003; GONÇALVES et al., 2004). No geral, maiores valores de retangularidade indicam que as plantas estão mais próximas nas linhas ou entrelinhas. Oliveira et al. (2009) relataram árvores de maior volume quando dispostas no arranjo (3x3) + 10 m (0,1638 m³) do que aquelas no arranjo 3,3x3,0 m (0,1271 m³), sendo que, nesse último arranjo, o volume das árvores de clone de eucalipto com 51 meses de idade, não distinguiu em relação aquele obtido no arranjo 5x2 m (0,1218 m³), apesar da maior retangularidade. O maior volume individual no arranjo (3x3) + 10 m, se deve, principalmente, a maior disponibilidade de recursos de crescimento entre as fileiras duplas. Dessa forma, percebe-se que a retangularidade, não deve ser avaliada sozinha, pois o crescimento das árvores individualmente, também, é influenciado pelo número de árvores vizinhas (densidade de plantio). É provável que as plantas arranjadas com maiores espaços entre fileiras ou com menor número de plantas vizinhas, beneficie o crescimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas. Porém, elevada distância entre plantas na linha e na entrelinha podem favorecer o crescimento radicular em detrimento da parte aérea (LELES et al., 2001).

O maior volume por planta contribuiu para que o volume por hectare fosse igual entre o arranjo (2x2) + 10 m (sistema silvipastoril) e aqueles em monocultivo (3,6x2,5 m e 3,3x3,3 m), apesar da maior densidade de plantio desses dois últimos. Embora houvesse menor densidade de plantio nos arranjos com distância de 3 m entre plantas (linha simples e duplas – sistema silvipastoril), o maior crescimento em diâmetro e volume individual, favoreceu a sua produção em volume por hectare; viabilizando o uso dos arranjos (3x3) + 9 m e 9x3 m, desde que, seja possível obter rendimentos adicionais com os demais componentes do consórcio ou quando o interesse for madeira de maiores dimensões, no caso do 9x3 m. Kruschewsky et al. (2007) verificaram, aos 67 meses de idade, para clone de *E. camaldulensis* x *E. urophylla* na região de cerrado, que os arranjos 3,3x2 m, 3,3x3 m e 10x2 m apresentaram produções de 197, 192 e 164 m³ ha⁻¹, respectivamente. Entretanto, no arranjo 3,3x2, houve 1000 árvores ha⁻¹ a mais, em relação ao 10x2 m, e, mesmo assim, o volume por hectare não se mostrou muito diferente do 10x2 m. Árvores com maiores volumes individuais contribuem marcadamente na produção por hectare, quando os plantios são estabelecidos em menores densidades. Oliveira et al. (2009) relataram que as maiores

produções para clone de *E. camaldulensis* x *E. urophylla*, aos 51 meses de idade, foram observadas no arranjo 10x3 m, em comparação ao (3x3) + 10 m.

A obtenção de maiores volumes por hectare observados por Kruschewsky et al. (2007), em comparação ao obtido no presente estudo, pode estar associado ao fato que o plantio do eucalipto se deu após o cultivo de culturas agrícolas, e, no presente estudo, o eucalipto foi estabelecido em área de pastagem abandonada. O efeito residual dos fertilizantes aplicados nas culturas agrícolas beneficia o plantio de eucalipto que as sucede (COUTO et al., 2004).

A caracterização do IAF em povoamentos florestais é de grande importância, principalmente quando se implantam consórcios envolvendo culturas agrícolas ou forrageiras. Os valores de IAF foram maiores nos arranjos 3,6x2,5 m e 3,3x3,3 m, que apresentaram as maiores densidade de plantio, respectivamente, 1.111 e 918 árvores ha⁻¹ tendendo, e valores decrescentes à medida em que houve diminuição da densidade de plantio, o que foi, outrossim, observado por Grigg et al. (2008) para *E. marginata*, aos 18 anos de idade e por Leite et al. (1997) em povoamentos de *E. grandis*, aos 39 meses de idade. Houve diminuição do IAF com o aumento da idade, em todos os arranjos, o que foi verificado em outros estudos com eucalipto, principalmente após o fechamento de copa (XAVIER et al., 2002; HUBBARD et al., 2010). Maiores diferenças do IAF entre as leituras aos 38 meses (fev./2010) e 50 meses (fev./2011) foram observadas, também, com o aumento da densidade de plantio, ou seja, da competição entre plantas, promovendo a abscisão foliar, mesmo no arranjo (2x2) + 10 m, onde se tem maior distância entre as linhas duplas de plantio.

Os resultados do presente estudo indicam que o arranjo (2x2) + 10 m, em sistema silvipastoril, pode ser utilizado em detrimento aqueles em monocultivo, para a região e material genético estudado. Nesse arranjo, é possível obter densidade arbórea próxima as dos arranjos 3,6x2,5 e 3,3x3,3 m, contudo, as árvores tem o benefício de maiores espaços entre as linhas duplas de plantio, favorecendo o maior volume por planta. Apesar da maior densidade de plantio nos arranjos 3,6x2,5 e 3,3x3,3 m, as árvores apresentaram reduzido volume, o que influenciou na produção. Em razão da maior produção, associado a fustes de menor diâmetro médio, para os arranjos (2x2) + 10 m e 3,6x2,5 m, é possível utilizar estes arranjos para produzir madeira para energia. Havendo interesse por árvores de maior diâmetro e volume individual, a opção seria utilizar arranjos simples e amplos, como, por exemplo, 9x3 m. No caso desse arranjo, poder-se-ia optar por prorrogar a rotação por meio de desbastes, podendo, a madeira remanescente, ser destinada à produção de madeira serrada, postes, dentre outros.

Contudo, torna-se necessário averiguar qualidade tecnológica da madeira e sua viabilidade econômica. Os arranjos (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m podem favorecer, também, o consórcio com cultivos intercalares nos intervalos de 10 e 9 m entre fileiras, respectivamente. Os plantios de eucalipto neste tipo de arranjo podem ser de interesse para empresas e agricultores, principalmente, em programas de fomento florestais, o que permitiria agricultores e pecuaristas continuarem com suas atividades tradicionais, incluindo-se a atividade florestal.

5. CONCLUSÕES

O arranjo (2x2) + 10 m, com eucalipto estabelecido em sistema silvipastoril, pode ser adotado em substituição aos arranjos do eucalipto em monocultivo, visto apresentarem produção similar.

O arranjo 9x3 m pode ser utilizado para produção de madeira de maiores dimensões.

A maior densidade de plantio propicia maior índice de área foliar, mas ocasiona maior redução com o aumento da idade, estando associado com abscisão foliar impulsionada pela competição entre plantas.

O índice de área foliar foi menor nos arranjos (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m, podendo favorecer maior transmitância de radiação para as culturas agrícolas e forrageiras do consórcio.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. C. R. et al. A positive growth response to NaCl applications in *Eucalyptus* plantations established on K-deficient soils. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1786–1795, 2010.

BARTON, C. V. M.; MONTAGU, K. D. Effect of spacing and water availability on root: shoot ratio in *Eucalyptus camaldulensis*. **Forest Ecology and Management**, v. 221, n. 1-3, p. 52–62, 2006.

BERNARDO, A. L. et al. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 104, n. 1-3, p. 1-13, 1998.

BINKLEY, D. A hypothesis about the interaction of tree dominance and stand production through stand development. **Forest Ecology and Management**, v. 190, n. 2-3, p. 265–271, 2004.

BOYDEN, S.; BINKLEY, D.; STAPE, J. L. Competition among *Eucalyptus* trees depends on genetic variation and resource supply. **Ecology**, v. 89, n. 10, p. 2850–2859, 2008.

CACAU, F. V. et al. Decepa de plantas jovens de eucalipto e manejo de brotações, em um sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.11, p.1457-1465, 2008.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 548p.

CLARK III, A. et al. Effect of initial planting spacing on wood properties of unthinned loblolly pine at age 21. **Forest Products Journal**, v. 58, n. 10, p. 78-83, 2008.

CLUTTER, J. L. et al. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Willey & Sons, 1983. 333p.

COUTO, L. et al. Produção e alocação de biomassa em um sistema agrissilvipastoril com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 4, p. 321-334, 2004.

DAS, D. K.; CHATURVEDI, O. P. Root biomass and distribution of five agroforestry tree species. **Agroforestry Systems**, v.74, n. 3, p. 223–230, 2008.

D'ANGIOLELLA, G. L. B.; VASCONCELLOS, V. L. D. BHÍDRICO GD 4.0-2004: planilha eletrônica para cálculo do balanço hídrico climatológico. **Revista Bahia Agrícola**, v.6, p.14-16, 2004.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 193, n. 1-2, p. 45–61, 2004.

GRIGG, A. H. et al. Does initial spacing influence crown and hydraulic architecture of *Eucalyptus marginata*? **Tree Physiology**, v. 28, n. 5, p. 753–760. 2008.

HARRINGTON, T. B.; HARRINGTON, C. A.; DEBELL, D. S. Effects of planting spacing and site quality on 25-year growth and mortality relationships of Douglas-fir (*Pseudotsugamenziesii* var. *menziesii*). **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 1, p. 18–25, 2009.

HAWLEY, R. C.; SMITH, D. M. **Silvicultura prática**. Barcelona: Omega, 1972. 544p.

HUBBARD, R. M. et al. Effects of irrigation on water use and water use efficiency in two fast growing *Eucalyptus* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1714-1721, 2010.

LACERDA, J. S.; COUTO, H. T. Z. O uso da Lei do Autodesbaste na definição do espaçamento para plantios de *Eucalyptus*. **IPEF**, v. 182, p. 1-7, 1993.

- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamento de *Pinus Taeda* L. **Revista Árvore**, v.30, n.4, p.603-612, 2006.
- LEITE, F. P. et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, v. 21, n. 3, p. 313-321, 1997.
- LELES, P. S. S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E. J. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 77-87, 2001.
- LÓPEZ-DÍAZ, M. L.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MOSQUERA-LOSADA, M. R. Influence of pasture botanical composition and fertilization treatments on tree growth. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 4, p. 1363-1372, 2009.
- KRUSCHEWSKY, G. C. et al. Arranjo estrutural e dinâmica de crescimento de *Eucalyptus spp.* em sistema agrossilvipastoril no cerrado. **Cerne**, v. 13, n. 4, p. 360-367, 2007.
- MAGALHÃES, W. M. et al. Desempenho silvicultural de clones e espécies/procedências de *Eucalyptus* na região noroeste de Minas Gerais. **Cerne**, v. 13, n. 4, p. 368-375, 2007.
- MACEDO, R. L. G. et al. Desempenho silvicultural de clones de eucalipto e características agronômicas de milho cultivados em sistema silviagrícola. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, 701-709, 2006.
- NOGUEIRA, G. S. et al. Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus Taeda* L. **Revista Árvore**, v.32, n.5, p.855-860, 2008.
- OLIVEIRA, T. K. et al. Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.60, p. 01-09, 2009.
- OLIVEIRA NETO, S. N. et al. Arranjos estruturais do componente arbóreo em Sistema Agrossilvipastoril e seu manejo por desrama e desbaste. **Informe Agropecuário**, v. 31, p. 47-58, n. 257, 2010.
- PACIULLO, D. S.C. et al. Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.11, p.1528-1535, 2009.
- PRASAD, J. V. N. S. et al. Tree row spacing affected agronomic and economic performance of *Eucalyptus*-based agroforestry in Andhra Pradesh, Southern India. **Agroforestry Systems**, v. 78, n. 2, p. 253–267, 2010.
- PINKARD, E. A.; NEILSEN, W. A. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, v. 172, n. 2-3, p. 215-227, 2003.
- REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**, v. 50, n. 287, p. 9-26, 2003.

- REIS, G. G. et al. 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. **Revista Árvore**, v.30, n. 6, p.921-931, 2006.
- RYAN, M. G., YODER, B. J. Hydraulic limits to tree height and tree growth. **Bioscience** v. 47, n. 7, p. 235–242, 1997.
- SOUZA, A. N. et al. Viabilidade econômica de um sistema agroflorestal. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 96-106, 2007.
- STAPE, J. L. et al. A twin-plot approach to determine nutrient limitation and potential productivity in *Eucalyptus* plantations at landscape scales in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 223, n. 1-3, p. 358–362, 2006.
- 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. **Revista Árvore**, v.26, n. 4, p.421-427, 2002.
- WALL, A. J. et al. Evaluation of easily measured stand inventory parameters as predictors of PAR transmittance for use in poplar silvopastoral management. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 139, n. 4, p. 665-674, 2010.

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO DE BROTAÇÕES E DE PLANTAS INTACTAS DE CLONE DE EUCALIPTO EM TRÊS ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTIO EM SISTEMA SILVIPASTORIL

RESUMO

O presente estudo objetivou verificar a possibilidade de uso da decepta de plantas de eucalipto em estágio juvenil para obtenção de madeira de menores dimensões, em rotações curtas, e a recuperação de povoamentos danificados, em idade jovem, em sistema silvipastoril. O clone 62 (híbrido natural de *Eucalyptus camaldulensis*) foi estabelecido nos seguintes arranjos espaciais: (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m. As plantas foram cortadas aos 11,5 meses de idade e o crescimento das brotações (BR) comparado com o de plantas intactas (PI). O crescimento em altura, diâmetro, área basal e volume foi avaliado até 50 meses após plantio. O crescimento em diâmetro médio e altura das brotações não foi influenciado pelo arranjo espacial ($p > 0,05$) e foi menor do que o de plantas intactas ($p \leq 0,01$). O aumento da distância entre plantas não influenciou na altura ($p > 0,05$), mas favoreceu o crescimento em diâmetro médio e volume do fuste das plantas intactas ($p \leq 0,01$). A maior densidade das brotações contribuiu para que sua área basal e volume, por planta e por hectare, fossem semelhantes ao das plantas intactas, no mesmo arranjo de plantio. A maior produção de brotações e plantas intactas foi observada no arranjo (2x2) + 10 m ($p \leq 0,01$). Os resultados do estudo sugerem a possibilidade de utilização da decepta de plantas jovens em razão da produção similar para brotações e plantas intactas.

Palavras-chave: Espaçamento; madeira de menores dimensões; clone de *Eucalyptus camaldulensis*; decepta de plantas jovens.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the use of juvenile eucalypt plants decapitation to obtain small diameter logs in short rotation, or, to recover young damaged stands, in silvopastoral system. An eucalypt clone (natural hybrid of *Eucalyptus camaldulensis*) was established in the following spatial arrangements: (2x2) + 10 m (3x3) + 9 m and

9x3 m. Plants aged 11.5 months were decapitated and the coppice (BR) growth was compared to intact plants (PI). Growth in height, diameter, basal area and volume was evaluated up to 50 months after planting. Average diameter and height of coppice was not affected by spatial arrangement ($p>0.05$) and it was smaller than for intact plants ($p\leq 0.01$). The increasing distance between plants did not influence plant height ($p>0.05$), but promoted the growth in average diameter and stem volume of intact plants ($p\leq 0.01$). The highest number of stems in the coppice contributed to maintain basal area and volume per plant and per hectare similar to that of intact plants, in the same spatial arrangement. The highest production of coppice and intact plants were observed in the arrangement (2x2) + 10 m ($p\leq 0.01$). The results suggest that decapitation of juvenile plants can be used to recover damaged stands or to produce small diameter logs, as coppice production is similar to that of intact plants.

Keywords: Spacing; small diameter; clone of *Eucalyptus camaldulensis*; coppice from juvenile plants.

1. INTRODUÇÃO

Na região de cerrado existe grande concentração de florestas estabelecidas com eucalipto, em razão da disponibilidade de área, e, principalmente, pela sua adaptação às características edafoclimáticas da região, onde tem sido possível obter elevadas produtividades. Embora a sua madeira possa ser amplamente utilizada, atualmente, na região, os reflorestamentos são de rotações curtas, geralmente, em espaçamentos reduzidos e visam atender a produção de energia.

Nos últimos anos, tem aumentado o interesse no estabelecimento de plantio de eucalipto em espaçamentos amplos visando a implantação de sistemas agroflorestais (MACEDO et al., 2006; KRUSCHEWSKY et al., 2007; CACAU et al., 2008; PRASAD et al., 2010), pois, permite a implantação de culturas agrícolas, ou pastagem, em razão da maior disponibilidade de radiação solar entre as linhas de plantio. Dentre os diversos tipos de sistemas agroflorestais, os sistemas silvipastoris, que envolve o cultivo de espécies arbóreas em consórcio com a pastagem, com a possibilidade de produção de madeira e criação de animais, têm sido mais frequentemente adotados pelos agricultores em razão da grande extensão de área com pastagem. Nesse sistema, é muito importante a definição de espaçamentos e arranjos espaciais de plantio, uma vez que podem afetar a rentabilidade do consórcio (MACEDO et al., 2006; PRASAD et al., 2010).

Para um mesmo espaçamento de plantio, é possível a utilização de diversos arranjos espaciais. Atualmente, as empresas reflorestadoras têm utilizado arranjos variados visando redução de custos de implantação, da manutenção e da colheita, principalmente quando visa mecanização (GONÇALVES et al., 2004). Os arranjos adotados na implantação podem afetar o crescimento e a formação da copa das árvores (BERNARDO et al., 1998; PINKARD e NEILSEN, 2003; LEITE et al., 2006; HARRINGTON et al., 2009), o que pode interferir negativamente na produtividade dos diversos componentes do consórcio (OLIVEIRA NETO et al., 2010).

O aumento da área útil por árvore favorece o crescimento em diâmetro e o volume individual das árvores (BERNARDO et al., 1998; PINKARD e NEILSEN, 2003; LEITE et al., 2006; KRUSCHEWSKY et al., 2007; HARRINGTON et al., 2009), o que pode resultar no aumento da idade técnica de colheita, para uma mesma condição de sítio (LACERDA e COUTO, 1993; CAMPOS e LEITE, 2009). Entretanto, nesses maiores espaçamentos, a colheita da floresta é dificultada, visto que muitos agricultores não possuem equipamentos adequados para o manuseio de madeira de maiores dimensões. A decepa de plantas jovens de eucalipto tem sido estudada, recentemente, visando a obtenção de madeira de dimensões reduzidas que, inclusive, pode ser explorada em rotações mais curtas, destinada para energia, mesmo em espaçamento amplo (CACAU et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2008).

A capacidade de rebrota do eucalipto, após o seu corte raso, depende da existência de gemas na cepa (BLACK, 1972; WILDY e PATE, 2002; WALTERS et al., 2005), além de reservas orgânicas e inorgânicas (REIS e KIMMINS, 1991; TSCHAPLINSKI e BLAKE, 1994; WALTERS et al., 2005). A brotação apresenta rápido crescimento, chegando a superar as plantas intactas, em poucos meses (KAUPPI et al., 1988; ZBONAK et al., 2007; CACAU et al., 2008; LUOSTARINEN et al., 2009).

Nesse estudo, avaliou-se o crescimento, a produtividade e a distribuição diamétrica de brotações e de plantas intactas de um clone de híbrido natural de *Eucalyptus camaldulensis*, em três arranjos espaciais de plantio, em sistema silvipastoril, na região de cerrado, MG.

2. MATERIAL e MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido com o clone 62 (híbrido natural de *Eucalyptus camaldulensis*) na Votorantim Siderurgia, no Município de Vazante, MG (17°36'09"S e 46°42'02"W), com altitude média de 550 m, em área de pastagem de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu que já se encontrava estabelecida na região. A precipitação média anual na área do estudo é de 1.312 mm (1989-2009), com média mensal de 222 mm, entre novembro e março e de 29 mm, de abril a outubro. A temperatura média anual é de 26°C, a média das máximas é de 35°C, e das mínimas de 18°C, com umidade relativa do ar média anual de 74 %. A evaporação potencial é de 1.689 mm e a região apresenta déficit hídrico, nos meses de abril a outubro, de 497 mm, estimado pelo método de Thornthwaite (1948) através do software BHÍDRICO GD 4.0-2004 (D'ANGIOLELLA e VASCONCELLOS, 2004). A vegetação natural constitui em formações do bioma Cerrado e os solos da região se englobam na ordem do LATOSSOLOS (CACAU et al., 2008).

2.2. Instalação do experimento

No preparo do solo para o plantio foi utilizado o subsolador na profundidade de 30-40 cm, com aplicação de 743 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo. O plantio foi realizado em dezembro de 2006, com aplicação imediata de 130 kg ha⁻¹ de NPK na formulação 10-28-06 + 0,6 % de B e 0,4 % de Zn, em covetas duplas laterais. Dois meses após o plantio, fez-se capina química na entrelinha, seguida de aplicação de 95 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio. Em abril, foi feita a segunda aplicação com 106 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio e 25 kg ha⁻¹ de borogram (10 % de B).

Aos 11,5 meses após plantio foi realizada a decepta de plantas jovens em parte das árvores dentro de cada arranjo espacial, na altura de 10 cm do solo. Não foi realizada a desbrota das plantas decepadas, devido as cepas apresentarem reduzido diâmetro e estudos preliminares com decepta de plantas jovens de clones de eucalipto, na região, não indicarem necessidade de desbrota (CACAU et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2008).

Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado com três arranjos espaciais de plantio e duas condições de manejo (plantas intactas-PI e brotações-BR), resultando

nos seguintes tratamentos: T1= (2x2) + 10 m – PI; T2= (2x2) + 10 m – BR; T3= (3x3) + 9 m - PI; T4= (3x3) + 9 m - BR; T5= 9x3 m - PI e; T6= 9x3 m - BR, com três repetições e 24 covas por parcela útil.

2.3. Coleta de dados e avaliação do experimento

As medições de diâmetro a 1,3 m de altura (*DAP*) e da altura total (*Ht*) de todas as árvores ou brotos na parcela útil foram realizadas aos 18, 23, 33, 38 e 50 meses após o plantio do eucalipto. O diâmetro médio foi obtido conforme Campos e Leite (2009). Para brotações, foram utilizados os diâmetros e alturas de todos os brotos em cada cepa. Aos 50 meses, foram selecionadas de 3 a 6 fustes, em cada classe de diâmetro, para abate e cubagem. O diâmetro com casca foi medido nas alturas: 0 (altura do corte); 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 m e, assim, sucessivamente, a cada 2 m, até a altura em que o diâmetro do fuste atingisse 4,0 cm. Essas medições foram empregadas para o ajuste do modelo de Schumacher e Hall (1933), na sua forma linear (LEITE et al., 2006), sendo a equação utilizada para a determinação do volume por fuste em todas as idades. As equações, também, foram utilizadas para totalização do volume por parcela experimental e sua conversão para hectare. Para brotações foi considerado como volume por fuste aquele de um broto e o volume por planta, se refere ao volume por cepa, contabilizando todas as brotações.

Os modelos Gompertz (1) e Logístico (2), descritos a seguir, foram ajustados para diâmetro médio, altura, área basal e volume, sendo esses ajustamentos avaliados pelo coeficiente de correlação entre valores observados e aqueles estimados ($r_{\hat{y}y}$) e pelo erro padrão residual ($S_{y\hat{y}}$) (CAMPOS e LEITE, 2009). As equações selecionadas foram comparadas empregando testes de identidade para modelos não lineares (REGAZZI, 2003).

$$y = \alpha e^{(e^{(\beta-\gamma I)})} \quad (1)$$

$$y = \frac{\alpha}{(1 + \beta e^{(-\gamma I)})} \quad (2)$$

em que: y = variável de interesse; α , β , γ = parâmetros do modelo; I = idade, em meses.

A distribuição dos diâmetros e respectivas frequências de fustes, por hectare, ao longo do período de coleta de dados, foram estudadas empregando a função Weibull

(3), descrita a seguir, com dois parâmetros, em classes diamétricas com amplitude de 1 cm.

$$F(x) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma}} \quad (3)$$

em que: F(x)= probabilidade acumulada; x= limite superior da classe diamétrica; β= parâmetros de escala; γ= parâmetro de forma.

As análises foram realizadas com os softwares Statistica 9.0 (STATSOFT, INC, 2009), CurveExpert 1.4 (HYAMS, D., 2009), Sigmaplot 10.0 (SYSTATSOFTWARE, INC, 2006) e EasyFit 5.2 (MATHWAVE TECHNOLOGIES, 2009).

3. RESULTADOS

As equações ajustadas para avaliação do volume por fuste da madeira de plantas intactas e brotações em todos os tratamentos apresentaram coeficientes de correlação superiores a 0,99 (p≤0,01) (Tabela 1).

O modelo de Gompertz foi o que melhor descreveu o crescimento em diâmetro médio, área basal e altura total das árvores e, o crescimento em volume, por fuste, por planta e por hectare, foi melhor descrito pelo modelo Logístico (Tabela 2). De modo geral, esses dois modelos apresentaram coeficientes de correlação superiores a 0,96 (p≤0,05).

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros do modelo Schumacher e Hall para o volume por fuste de plantas intactas (PI) e brotações (BR) de clone de eucalipto, aos 50 meses após plantio, em três arranjos espaciais, na região de Cerrado, MG

Trat.	Arranjo/Manejo	Espaçamento (m ² covas ⁻¹)	Densidade ¹		Parâmetros			r _{yy}
			(A)	(B)	β ₀	β ₁	β ₂	
T1	(2x2)+10m-PI	12,0	833		- 10,2377	1,8946	1,0729	0,99
T2	(2x2)+10m-BR			2,1	-10,3910	1,9251	1,1026	0,99
T3	(3x3)+9m-PI	18,0	556		- 8,5734	2,1927	0,2610	0,99
T4	(3x3)+9m-BR			2,3	-10,2891	2,0976	0,9397	0,99
T5	9x3m-PI	27,0	370		- 9,9219	1,7332	1,1144	0,99
T6	9x3m-BR			3,2	-10,1849	1,7091	1,2262	0,98

¹ A- Covas por hectare; B- Brotos por cepa.

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos Gompertz e Logístico para diâmetro médio, área basal, altura total, volume por fuste, volume por planta e volume por hectare e correspondentes coeficientes de correlação e erro padrão residuais, para o clone 62 de eucalipto, em Vazante, MG

Tratamentos ¹	$y = \alpha e^{(e^{(\beta-\gamma^1)})}$			$r_{\hat{y}y}$	S_{yx}	$y = \frac{\alpha}{(1 + \beta e^{(-\gamma^1)})}$			$r_{\hat{y}y}$	S_{yx}
	α	β	γ			α	β	γ		
	-----Altura (m)-----					-----Volume (m ³ fuste ⁻¹) ² -----				
T1	27,9229	1,2157	0,0510	0,97	1,44	0,1863	154,6736	0,1458	0,97	0,14
T2	23,0891	1,2232	0,0509	0,95	1,30	0,0944	289,5110	0,1490	0,96	0,00
T3	27,9229	1,2157	0,0510	0,97	1,44	0,2353	128,2483	0,1541	0,99	0,00
T4	23,0891	1,2232	0,0509	0,95	1,30	0,0944	289,5110	0,1490	0,96	0,00
T5	27,9229	1,2157	0,0510	0,97	1,44	0,3169	248,3599	0,1460	0,99	0,00
T6	23,0891	1,2232	0,0509	0,95	1,30	0,0983	1997,260	0,2125	0,99	0,00
	-----Diâmetro médio (cm)-----					-----Volume (m ³ planta ⁻¹) ³ -----				
T1	16,2084	1,2406	0,0797	0,96	1,10	0,1897	647,7176	0,1847	0,98	0,01
T2	14,4970	1,1144	0,0527	0,98	0,43	0,1897	647,7176	0,1847	0,98	0,01
T3	18,3513	1,3601	0,0826	0,98	0,78	0,2353	128,2483	0,1541	0,99	0,00
T4	14,4970	1,1144	0,0527	0,98	0,43	0,2508	165,9095	0,1327	0,99	0,00
T5	21,3343	1,3960	0,0759	0,99	0,44	0,3002	505,6604	0,1715	0,98	0,01
T6	14,4970	1,1144	0,0527	0,98	0,43	0,3002	505,6604	0,1715	0,98	0,01
	-----Área basal (m ² ha ⁻¹)-----					-----Volume (m ³ ha ⁻¹)-----				
T1	21,0554	1,6871	0,0580	0,98	0,75	150,7752	597,6520	0,1800	0,98	8,86
T2	21,0554	1,6871	0,0580	0,98	0,75	150,7752	597,6520	0,1800	0,98	8,86
T3	12,8777	2,0449	0,0790	0,96	1,08	112,4265	247,2299	0,1538	0,96	9,58
T4	15,5254	2,0196	0,0693	0,96	1,04	112,4265	247,2299	0,1538	0,96	9,58
T5	15,5254	2,0196	0,0693	0,96	1,04	112,4265	247,2299	0,1538	0,96	9,58
T6	15,5254	2,0196	0,0693	0,96	1,04	112,4265	247,2299	0,1538	0,96	9,58

¹ T1= (2x2) + 10 m – PI; T2=(2x2) + 10 m – BR; T3= (3x3) + 9 m - PI; T4= (3x3) + 9 m - BR; T5= 9x3 m - PI e; T6= 9x3 m – BR; ² T2, T4 e T6= volume por broto; ³ volume por cepa.

A altura das plantas diferiu ($p \leq 0,01$) entre plantas intactas e brotações, não tendo havido influência de arranjo de plantio ($p > 0,05$). As plantas intactas apresentaram valores assintóticos para altura de 27,9 m e, as brotações de 23,1 m (Tabela 2; Figura 1).

As brotações apresentaram rápido crescimento em altura até 6,5 meses, após a decepa das plantas, atingindo altura média superior a 2 m.

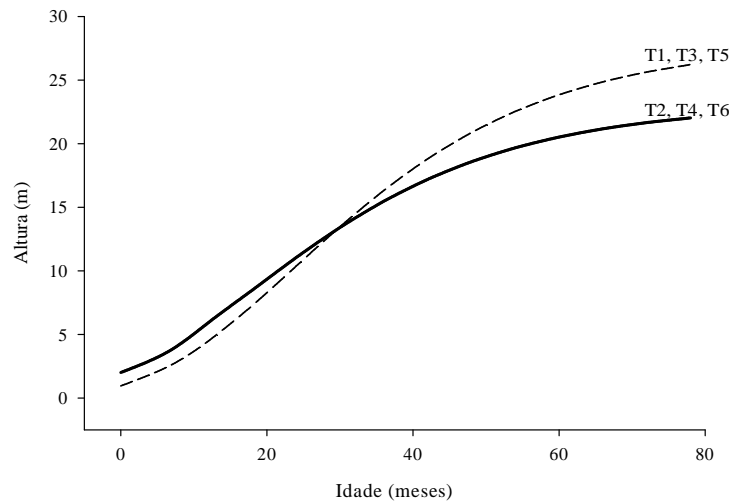


Figura 1. Crescimento em altura de plantas intactas (PI) e brotações (BR) do clone 62 de eucalipto, em Vazante, MG. Em que: T1= (2x2) + 10 m – PI; T2= (2x2) + 10 m – BR; T3= (3x3) + 9 m - PI; T4= (3x3) + 9 m - BR; T5= 9x3 m - PI e; T6= 9x3 m - BR.

As plantas intactas apresentaram maior crescimento em diâmetro médio e volume por fuste do que as brotações (Figura 2; Tabela 2). O maior diâmetro médio e volume por fuste para as plantas intactas foi verificado no arranjo 9x3 m ($p \leq 0,01$), com valor assintótico de 21,3 cm e $0,3169 \text{ m}^3$, respectivamente. Não houve diferença ($p > 0,05$) no diâmetro médio das brotações entre os arranjos espaciais estudados, sendo que os valores assintóticos se estabilizaram em torno de 14,5 cm (Tabela 2).

O volume do fuste de cada broto não diferiu ($p > 0,05$) entre os arranjos (2x2) + 10 m e (3x3) + 9 m, tendo sido inferior ao arranjo 9x3 m ($p \leq 0,01$) (Figura 2; Tabela 2). Aos 50 meses de idade, maiores valores do parâmetro beta (β), referentes à distribuição diamétrica, foram verificados no arranjo 9x3 m, demonstrando haver árvores englobando maior número de classes de diâmetro. Maior número de fustes por hectare foi verificado para brotações e plantas intactas no arranjo (2x2) + 10 m, em todas as idades (Figura 3).

A área basal de plantas intactas foi igual ($p > 0,05$) à de brotações no mesmo arranjo, exceto para o (3x3) + 9 m, com maior valor assintótico de $21,06 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, no arranjo (2x2) + 10 m (Tabela 2; Figura 2).

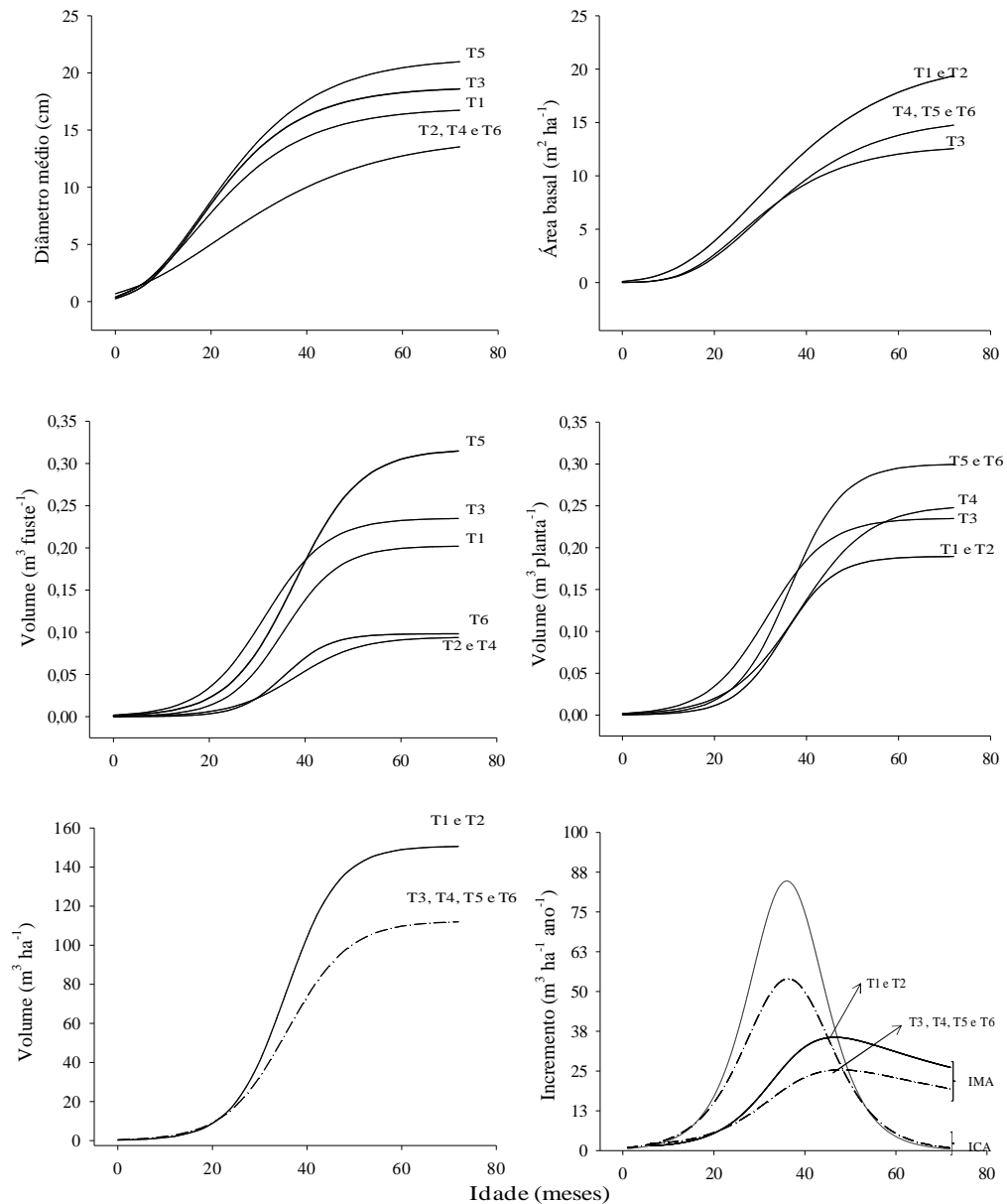


Figura 2. Crescimento de plantas intactas (PI) e brotações (BR) do clone 62 de eucalipto em função da idade das plantas, em Vazante, MG. Em que: T1= (2x2) + 10 m - PI; T2= (2x2) + 10 m - BR; T3= (3x3) + 9 m - PI; T4= (3x3) + 9 m - BR; T5= 9x3 m - PI e; T6= 9x3 m - BR.

O volume por planta, para brotações, foi estimado considerando o somatório do volume dos fustes em cada cepa. Esse volume, para plantas intactas, seria o mesmo considerado no volume por fuste. Contudo, neste caso, em virtude da igualdade ($p > 0,05$) entre curvas de crescimento, de brotações e plantas intactas, nos arranjos (2x2) + 10 m e 9x3 m, ajustou-se um único modelo para descrever o crescimento em volume das plantas, em cada arranjo (Tabela 2). O maior valor assintótico ($p \leq 0,01$) foi

verificado no arranjo 9x3 m ($0,3002 \text{ m}^3 \text{ planta}^{-1}$), e diferenças entre brotações e planta intacta foram verificadas no arranjo $(3 \times 3) + 9 \text{ m}$ (Figura 2).

Os valores assintóticos de crescimento em volume por hectare (Figura 2) foram iguais ($p > 0,05$) entre plantas intactas e brotações no arranjo $(2 \times 2) + 10 \text{ m}$ ($150,78 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), mas, diferenciaram dos demais ($p \leq 0,01$), os quais foram iguais entre si ($p > 0,05$) (Tabela 2).

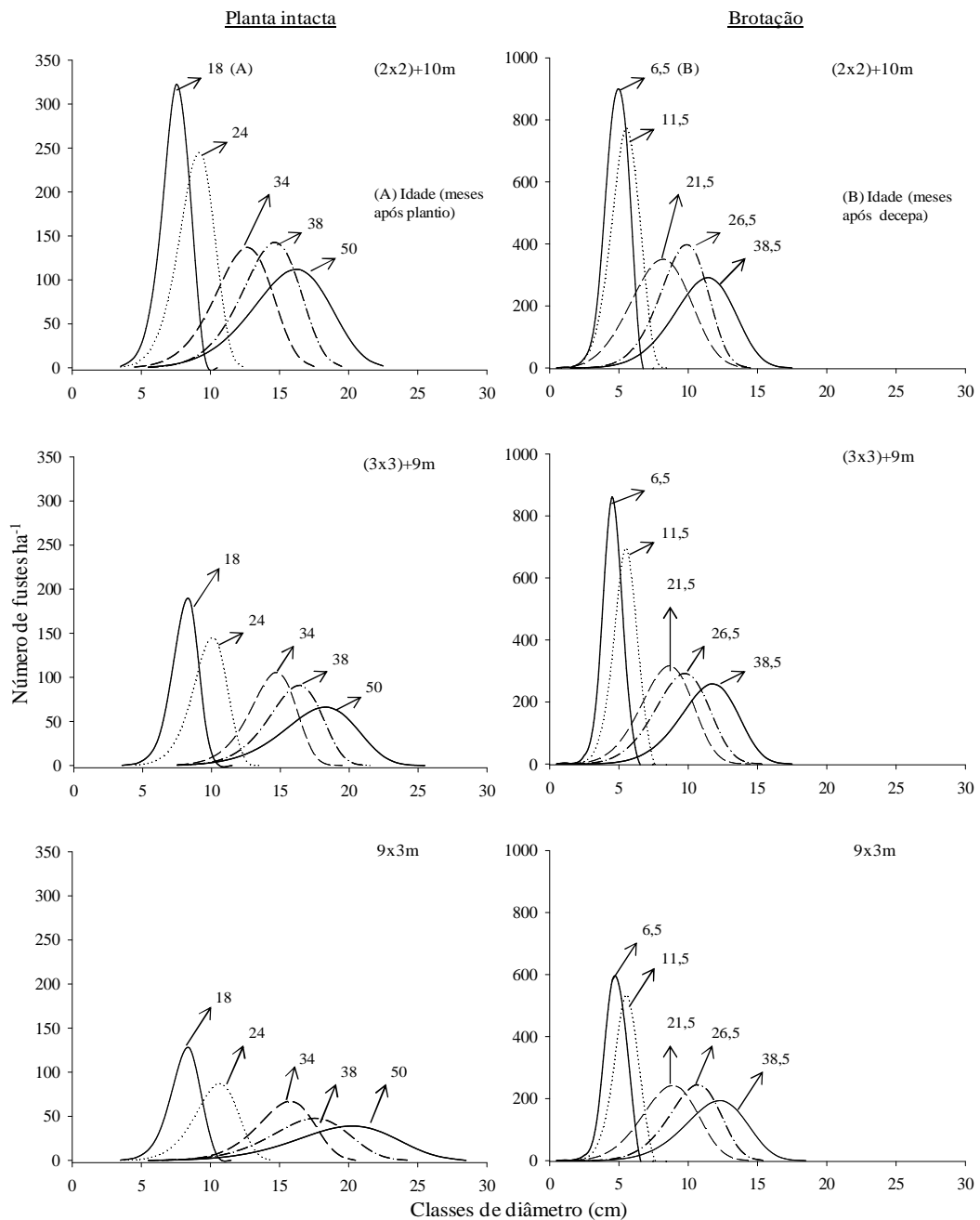


Figura 3. Número de fustes por hectare, por classe de diâmetro, de plantas intactas (PI) e de brotações (BR) do clone 62 de eucalipto, em Vazante, MG.

O máximo incremento corrente anual (ICA) foi observado para as plantas no arranjo (2x2) + 10 m ($81,36 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$), sendo os demais tratamentos iguais entre si aos 36 meses de idade. A idade técnica de corte foi de 47 meses após plantio nas plantas do arranjo (2x2) + 10 m com máximo incremento médio anual (IMA) de $34,08 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e, de 48 meses após plantio, com IMA de $24,36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para as plantas dos demais arranjos (Figura 2). Considerando a idade a partir da decepa aos 11,5 meses, a idade técnica de corte para as brotações seria de, respectivamente 35,5 e 36,5 meses, com a mesma produção das plantas intactas.

4. DISCUSSÃO

No presente estudo, os arranjos de plantio não influenciaram o crescimento em altura das plantas do clone 62 de eucalipto, provavelmente, em razão da idade ainda jovem dos plantios (50 meses). Em espaçamentos adensados, ao longo do tempo, a altura média do povoamento pode ser menor, devido a maior competição entre plantas, gerando estratificação do dossel (PINKARD e NEILSEN, 2003; LEITE et al., 2006; HARRINGTON et al., 2009). Harrington et al. (2009) verificaram menor altura média, para *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*, no espaçamento de 1 m^2 por planta em relação aos demais (2 a 6 m^2), aos 25 anos após plantio, em solos de fertilidade média. Entretanto, o crescimento dos plantios de eucalipto, também, está na dependência do material genético, de sua tolerância à competição e eficiência na captura e no uso dos recursos de crescimento do ambiente (BINKLEY, 2004; MACEDO et al., 2006; MAGALHÃES et al., 2007; BOYDEN et al., 2008). Isto pode explicar a inexistência de diferenças na altura das plantas intactas do clone de eucalipto no presente estudo. O *E. camaldulensis* e seus híbridos possuem sistema radicular profundo, o que facilita a absorção de água e nutrientes em um maior volume de solo e favorece seu crescimento em condições de déficit hídrico acentuado (BERNARDO et al., 1998; BARTON e MONTAGU, 2006; REIS et al., 2006). Essas características do sistema radicular são importantes para o crescimento do componente arbóreo bem como dos outros componentes do consórcio (DAS e CHATURVEDI, 2008). Magalhães et al. (2007) não observaram influência do arranjo de plantio sobre a altura de materiais genéticos de eucalipto, mesmo aos 9,5 anos de idade, na região de cerrado.

O diâmetro médio e o volume individual de madeira foram influenciados pelo arranjo espacial e pela densidade de plantio, para plantas intactas, sendo menores quando as árvores foram estabelecidas mais próximas. Estes resultados corroboram com

o de outros estudos (BERNARDO et al., 1998; PINKARD e NEILSEN, 2003; BARTON e MONTAGU, 2006; KRUSCHEWSKY et al., 2007; MAGALHÃES et al., 2007; HARRINGTON et al., 2009). Nos arranjos (2x2) + 10 m e (3x3) + 9 m, as plantas estão dispostas em fileiras duplas e no 9x3 m, em fileiras simples. Apesar da distância de 3 m entre plantas nos arranjos (3x3) + 9 m e 9x3 m, o fato de existir apenas uma fileira de árvores, ou seja, um reduzido número de árvores vizinhas, foram observados maiores diâmetros e volumes individuais nesse último arranjo. Magalhães et al. (2007) verificaram que a maior distância entre plantas favoreceu o crescimento em diâmetro e volume individual, de vários clones de eucalipto, aos 9,5 anos de idade, sendo os maiores valores, no geral, observados no arranjo 6x4 m e os menores no 3x2 m.

Menores alturas foram observadas para brotações em relação às plantas intactas. É provável que a maior competição promovida por mais de um broto na cepa, sobretudo nas idades iniciais do povoamento, esteja associado a diminuição na altura média, devido haver maior número de brotos dominados. Ao longo do tempo, também, pelo efeito da maior competição entre brotos na cepa, a altura média das brotações de *Betula peubescens* Ehrh. foi menor comparado às plantas intactas (KAUPPI et al., 1988). Resultados similares foram, também, observados para clone de híbrido de *E. camaldulensis* x *E. grandis*, para brotações originadas da decepa das plantas em idade juvenil, na região de cerrado (CACAU et al., 2008). Apesar do maior número de brotos por cepa observado no arranjo 9x3 m, em comparação aos demais, o diâmetro médio foi semelhante entre arranjos e foram menores quando comparado as plantas intactas. Resultados similares foram verificados por outros autores, para materiais genéticos de eucalipto, quando havia permanência de dois ou três brotos em uma mesma cepa (PAIVA et al., 1983; CACAU et al., 2008).

Embora tenha havido menor valor assintótico para altura e diâmetro médio das brotações, verificou-se que as brotações apresentaram maior taxa de crescimento, até 6,5 meses, após a decepa. A decepa foi realizada em outubro, após extenso período seco, onde a precipitação acumulada nos seis meses anteriores foi de apenas 48 mm. Esta resposta pode estar associada ao fato de, nesta ocasião, as plantas terem acumulado reservas que seriam, imediatamente, imobilizadas nesta fase de crescimento acelerado das brotações. Wildy e Pate (2002) registraram maior taxa de crescimento da parte aérea de *Eucalyptus kochii*, na Austrália, quando a decepa foi realizada no final da estação seca, no mês de outubro. Perrando e Corder (2006) constataram no outono e primavera a maior capacidade de rebrota das plantas de *Acacia mearnsii*, no sul do Brasil, verificada após o corte nos meses de junho a novembro. Esses resultados indicam que o

crescimento inicial das brotações está mais fortemente associada à cepa do que propriamente as características edáficas e ambientais. A presença de sistema radicular já estabelecido, como no caso das brotações, favorece a absorção de água e nutrientes, além de contribuir com reservas orgânicas e inorgânicas da cepa, conforme apresentado em vários estudos (REIS e KIMMINS, 1986; REIS e REIS, 1991, 1997; TEIXEIRA et al., 2002; WALTERS et al., 2005). Ao realizar o corte das árvores, também, pode ocorrer mortalidade de raízes finas que se recompõem assim que aumenta a dependência de absorção de nutrientes do solo (REIS e KIMMINS, 1986; REIS e REIS, 1991, 1997). Em brotações de *E. urophylla* com 60 dias de idade, após ter havido a colheita do povoamento aos sete anos de idade, o solo forneceu nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, ao passo que o potássio adveio, primariamente, das reservas nas raízes e, aos 330 dias, parte do nitrogênio, potássio e magnésio acumulados nas brotações havia sido fornecido pelas raízes, enquanto fósforo e cálcio continuaram sendo fornecidos pelo solo (TEIXEIRA et al., 2002). Esses resultados sugerem a importância do sistema radicular no suprimento de nutrientes para o rápido crescimento das brotações, sobretudo no fornecimento de potássio.

A existência de maior número de fustes nas brotações, certamente, contribuiu para que a área basal de brotações se igualasse à de plantas intactas no arranjo (2x2) + 10 m, sendo superiores aos demais. Existe consenso de que a área basal é influenciada pela densidade de plantio e, também, pela presença de árvores nas classes médias e superiores de diâmetro (CLUTTER et al., 1983; CAMPOS e LEITE, 2006; LEITE et al., 2006). Dessa forma, além do maior número de fustes, a existência de fustes de maior diâmetro poderia explicar a similaridade de área basal entre plantas intactas e brotações no arranjo 9x3 m e as brotações no (3x3) + 9 m. Plantas intactas, nesse último arranjo, apresentaram menores diâmetros médios, quando comparado às do arranjo 9x3 m, o que influenciou as diferenças entre curvas de crescimento. KRUSCHEWSKY et al. (2007) observaram que a maior área basal ocorreu nas maiores densidades de plantio (3,3x2 m), e menores quando as plantas estavam dispostas no arranjo 9x2 m, para clone de híbrido natural de *E. camaldulensis* x *E. urophylla*, aos 51 meses de idade. Entretanto, para este mesmo material genético, aos 51 meses de idade, Oliveira et al. (2009) verificaram que a área basal foi, também, influenciada pela existência de árvores de maior diâmetro, sendo maior no arranjo 10x3 m do que no (3x3) + 10 m, apesar de menor densidade de plantio.

As brotações apresentaram menores volumes por fuste quando comparado às plantas intactas. No arranjo 9x3 m, as brotações apresentaram maior volume por fuste,

quando comparado aos demais, mesmo com maior número de brotos. Nesse arranjo, as cepas estavam com maiores diâmetros no momento da decepta, o que contribuiria para a sustentação de brotos com maiores volumes, como verificado para *Eucalyptus* spp. cortado aos seis anos de idade (PEREIRA et al., 1980). Apesar do menor volume por fuste das brotações, observa-se igualdade no volume por planta entre brotações e plantas intactas nos arranjos (2x2) + 10 m e 9x3 m. No arranjo (3x3) + 9 m, os valores assintóticos desse volume foram muito próximos, sendo ligeiramente superior nas brotações. Esses resultados sugerem que as brotações tendem a acompanhar o volume das plantas intactas no mesmo arranjo de plantio, apesar da existência de fustes com menores volumes. CACAU et al. (2008) não verificaram diferenças, em volume por planta, entre brotações e plantas intactas jovens de clone de *E. camaldulensis* x *E. grandis*, no arranjo 9,5x4 m, tendo o volume se estabilizado em 0,1902 m³ cepa⁻¹, aos 48 meses após plantio.

O volume por hectare foi superior para plantas intactas no arranjo (2x2) + 10 m, em comparação aos demais arranjos, estando associado a maior densidade de plantio. Embora, no arranjo 9x3 m, houvesse menor densidade de plantio em comparação ao (3x3) + 9 m, as árvores apresentaram-se com maiores diâmetros e volumes. O efeito de árvores com maiores volumes influenciando no volume por hectare, mesmo que em menores densidades de plantio, também, foi constatado por Oliveira et al. (2009) em híbrido de *E. camaldulensis* x *E. urophylla*, aos 51 meses de idade, sendo maior no arranjo 10x3 m em comparação ao (3x3) + 10 m. Aos 50 meses após o plantio, quando as brotações apresentavam 38,5 meses de idade, verificou-se maior número de fustes por hectare (>200) nos arranjos (2x2) + 10 m e (3x3) + 9 m, na classe de 11-12 cm; e no 9x3 m, se concentraram em classes superiores a 12 cm. A existência dessa maior densidade de brotos de maior diâmetro corroborou para que o volume por hectare fosse semelhante entre brotações e plantas intactas no arranjo (2x2) + 10 m, sendo superior aos demais, que se mostraram iguais.

A idade técnica de corte foi muito próxima entre os arranjos, variando em torno de 48 meses após plantio. Vale ressaltar que as brotações eram 11,5 meses mais novas que as plantas intactas, mas atingiram rapidamente o volume por cepa e por hectare das plantas intactas, dentro de cada arranjo de plantio. Idade técnica de corte de 39 meses foi verificada para brotações e de 37 meses para plantas intactas de um clone de *E. camaldulensis* x *E. grandis* no arranjo 9,5x4 m (CACAU et al., 2008). Esses autores destacaram que, para ambos os tipos de manejo, a antecipação da idade técnica de corte estaria relacionada ao déficit hídrico acentuado na região de estudo, sendo que, no caso

das brotações, essas são mais sensíveis, devido ao menor controle estomático (REIS e REIS, 1991; WALTERS et al., 2005).

5. CONCLUSÕES

A decepa de plantas jovens do clone 62 de eucalipto pode ser utilizada em sistemas silvipastoris com os arranjos de plantio testados para obtenção de madeira de menores dimensões, sem perdas na produção final, não havendo necessidade de desbrota.

O arranjo (2x2) + 10 m favoreceu o maior volume por hectare e madeira de menor diâmetro, para plantas intactas e brotações.

O arranjo 9x3 m, com plantas intactas, é uma opção para a produção de madeira com maiores dimensões

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTON, C. V. M.; MONTAGU, K. D. Effect of spacing and water availability on root: shoot ratio in *Eucalyptus camaldulensis*. **Forest Ecology and Management**, v. 221, n. 1-3, p. 52–62, 2006.

BERNARDO, A. L. et al. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 104, n. 1-3, p. 1-13, 1998.

BLAKE, T. J. Studies on the lignotubers of *Eucalyptus obliqua* LHherit. **New Phytologist**, v. 71, p. 227-334, 1972.

BINKLEY, D. A hypothesis about the interaction of tree dominance and stand production through stand development. **Forest Ecology and Management**, v. 190, n. 2-3, p. 265–271, 2004.

BOYDEN, S.; BINKLEY, D.; STAPE, J. L. Competition among *Eucalyptus* trees depends on genetic variation and resource supply. **Ecology**, v. 89, n. 10, p. 2850–2859, 2008.

CACAU, F. V. et al. Decepa de plantas jovens de eucalipto e manejo de brotações, em um sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.11, p.1457-1465, 2008.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 548p.

CLUTTER, J. L. et al. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Willey & Sons, 1983. 333 p.

- D'ANGIOLELLA, G. L. B.; VASCONCELLOS, V. L. D. BHÍDRICO GD 4.0-2004: planilha eletrônica para cálculo do balanço hídrico climatológico. **Revista Bahia Agrícola**, v.6, p.14-16, 2004.
- GONÇALVES, J. L. M. et al. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 193, n. 1-2, p. 45–61, 2004.
- GRIGG, A. H. et al. Does initial spacing influence crown and hydraulic architecture of *Eucalyptus marginata*? **Tree Physiology**, v. 28, n. 5, p. 753–760. 2008.
- HARRINGTON, T. B.; HARRINGTON, C. A.; DEBELL, D. S. Effects of planting spacing and site quality on 25-year growth and mortality relationships of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*). **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 1, p. 18–25, 2009.
- HUBBARD, R. M. et al. Effects of irrigation on water use and water use efficiency in two fast growing *Eucalyptus* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1714–1721, 2010.
- KAUPPI, A.; KIVINIITTY, M.; FERM, A. Growth habits and crown architecture of *Betula pubescens* Ehrh. of seed and sprout origin. **Canadian Journal of Forest Research**, v.18, p.1603-1613, 1988.
- KRUSCHEWSKY, G. C. et al. Arranjo estrutural e dinâmica de crescimento de *Eucalyptus spp.* em sistema agrossilvipastoril no cerrado. **Cerne**, v. 13, n. 4, p. 360-367, 2007.
- LACERDA, J. S.; COUTO, H. T. Z. O uso da Lei do Autodesbaste na definição do espaçamento para plantios de *Eucalyptus*. **IPEF**, v. 182, p. 1-7, 1993.
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamento de *Pinus Taeda* L. **Revista Árvore**, v.30, n.4, p.603-612, 2006.
- LÓPEZ-DÍAZ, M. L.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MOSQUERA-LOSADA, M. R. Influence of pasture botanical composition and fertilization treatments on tree growth. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 4, p. 1363-1372, 2009.
- LUOSTARINEN, K.; HUOTARI, N.; TILLMAN-SUTELA, E. Effect of regeneration method on growth, wood density and fibre properties of downy birch (*Betula pubescens* ehrh.). **Silva Fennica**, v. 43, n. 3, p. 329-338, 2009.
- MAGALHÃES, W. M. et al. Desempenho silvicultural de clones e espécies/procedências de *Eucalyptus* na região noroeste de Minas Gerais. **Cerne**, v. 13, n. 4, p. 368-375, 2007.
- MACEDO, R. L. G. et al. Desempenho silvicultural de clones de eucalipto e características agronômicas de milho cultivados em sistema silviagrícola. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, 701-709, 2006.

OLIBEIRA NETO, S. N. et al. Arranjos estruturais do componente arbóreo em Sistema Agrossilvipastoril e seu manejo por desrama e desbaste. **Informe Agropecuário**, v. 31, p. 47-58, n. 257, 2010.

OLIVEIRA, C. H. R. et al. Área foliar e biomassa de plantas intactas e de brotações de plantas jovens de clone de eucalipto em sistemas agrossilvipastoris. **Revista Árvore**, v.32, n.1, p.59-68, 2008.

OLIVEIRA, T. K. et al. Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.60, p. 01-09, 2009.

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. **Revista Árvore**, v.7, n. 1, p.1-10, 1983.

PERRANDO, E. R.; CORDER, M. P. M. Rebrotas de cepas de *Acacia mearnsii* em diferentes idades, épocas do ano e alturas de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 555-562, 2006.

PEREIRA, A. R.; REGAZZI, A. J.; RIBEIRO, J. C.; RAMALHO, L. R. Efeito do diâmetro das cepas no desenvolvimento de brotações de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, v.4, n.2, p. 215-220, 1980.

PRASAD, J. V. N. S. et al. Tree row spacing affected agronomic and economic performance of *Eucalyptus*-based agroforestry in Andhra Pradesh, Southern India. **Agroforestry Systems**, v. 78, n. 2, p. 253–267, 2010.

PINKARD, E. A.; NEILSEN, W. A. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, v. 172, n. 2-3, p. 215-227, 2003.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Respostas estomáticas e mudanças nos níveis de reservas de plantas intactas e de brotações de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. submetidas a deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, v.15, n.2, p.112-125, 1991.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Fisiologia da brotação de eucalipto com ênfase nas suas relações hídricas. Série Técnica **IPEF**, Piracicaba, SP, v.11, n.30, p.9-22, 1997.

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

REIS, G. G. et al. 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. **Revista Árvore**, v.30, n. 6, p.921-931, 2006.

TEIXEIRA, P. C. et al. *Eucalyptus urophylla* root growth, stem sprouting and nutrient supply from the roots and soil. **Forest Ecology and Management**, v.160, p. 263-271, 2002.

TSCHAPLINSKI, T. J.; BLAKE, T. J. Carbohydrate mobilization following shoot defoliation and decapitation in hybrid poplar. **Tree Physiology**, v. 14, n.2, p. 141-151, 1994.

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. **Revista Árvore**, v.26, n. 4, p.421-427, 2002.

WALTERS, J. R.; BELL, T. L.; READ, S. Intraspecific variation in carbohydrate reserves and sprouting ability in *Eucalyptus obliqua* seedlings. **Australian Journal of Botany**, v.53, n.3, p.195-203, 2005.

WILDY, D. T.; PATE, J. S. Quantifying above- and below-ground growth responses of the western Australian oil mallee, *Eucalyptus kochii* subsp. *plenissima*, to contrasting decapitation regimes. **Annals of Botany**, v. 90, p. 185-197, 2002.

ZBONAK, A.; BUSH, T.; GRZESKOWIAK, V. Comparison of tree growth, wood density and anatomical properties between coppiced trees and parent crop of six *Eucalyptus* genotypes. **IUFRO**, Durban, p. 1 – 10, 2007.

CAPÍTULO III

ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DE PLANTAS INTACTAS E DE BROTAÇÕES DE EUCALIPTO E BIOMASSA DE PASTAGEM EM SISTEMA SILVIPASTORIL

RESUMO

O índice de área foliar (IAF) foi obtido em povoamentos do clone 62 de eucalipto (híbrido natural de *Eucalyptus camaldulensis*), nos arranjos espaciais (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m e foi correlacionado com a produção de biomassa de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com o objetivo de subsidiar a escolha de arranjos para o estabelecimento de sistemas silvipastoris. Aos 11,5 meses após plantio, parte das plantas de eucalipto foi decepada para comparação entre brotações e plantas intactas. A biomassa da pastagem foi amostrada aos 38 e 50 meses, a partir da linha de plantio até $\frac{1}{4}$ da entrelinha de maior distância de 9 ou 10 m e, deste ponto, até a metade da distância dessa entrelinha, em parcelas com 0,5 m de largura. O IAF do povoamento de eucalipto foi obtido nessas idades, com medições abaixo da copa das árvores e a $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ da maior distância entre duas linhas de plantio. Houve redução do IAF com a idade do povoamento florestal e com a diminuição da densidade arbórea. A produção da pastagem apresentou correlação negativa com o IAF, sendo superior nos arranjos com menor densidade arbórea, aos 38 meses, para todos os tratamentos. Os resultados sugerem a possibilidade de uso de menores densidades de árvores para o estabelecimento de sistemas silvipastoris.

Palavras-chave: Densidade arbórea; *Brachiaria brizantha*; decepa de plantas jovens de eucalipto; cobertura do dossel

ABSTRACT

Leaf area index (LAI) was obtained in eucalypt clone stands (natural hybrid of *Eucalyptus camaldulensis*) in the spatial arrangements (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m and 9x3 m to correlate with the biomass production of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. At the age of 11.5 months, eucalypt plants were decapitated to allow comparison between coppice and intact plants. The grass biomass was sampled at 38 and 50 months

after eucalypt had been planted. Samples were taken from the planting line up to one quarter of the greatest distance between rows (9 or 10 m) and from that point on to the middle of the distance between rows, in 0.5 m wide plots. LAI of the eucalypt stands was measured at these same ages, underneath tree crowns and at a quarter and half of the largest distance between two planting rows. There was a reduction in LAI with tree age and with decreasing tree density. The pasture biomass was negatively correlated with LAI and tended to be higher in arrangements with lower tree density at the age of 38 months for all spatial arrangements. The results suggest that lower tree planting densities should be used for the establishment of silvopastoral systems.

Keywords: Tree planting density; *Brachiaria brizantha*; coppice from juvenile plants; canopy cover

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas silvipastoris são constituídos pela combinação, no mesmo espaço, de árvores, pastagens e criação de animais (DANIEL et al., 1999; LOPÉZ-DÍAS et al., 2009). Podem ser estabelecidas espécies de rápido crescimento, como o eucalipto, em consórcio com forrageiras que serão utilizadas para o pastoreio de animais, o que possibilita aumentar o retorno econômico do sistema (MACEDO et al., 2006; SOUZA et al., 2007), bem como melhorar as condições do solo (FERREIRO-DOMÍNGUEZ et al., 2011). Há, porém, necessidade de se definir o material genético, bem como o espaçamento e o arranjo espacial do componente arbóreo, em razão de interferir na arquitetura de copa e disponibilização de recursos de crescimento para as árvores (BERNARDO et al., 1998; PINKARD e NEILSEN, 2003; HEIN et al., 2008; HARRINGTON et al., 2009), e para as forrageiras no sob-bosque, alterando, também, sua morfologia e qualidade nutricional (CARVALHO et al., 2002; PACIULLO et al., 2007, 2009; SNYDER et al., 2007; DAS e CHATURVEDI, 2008).

A disponibilização de radiação solar para as forrageiras do consórcio depende da cobertura do dossel das árvores, sendo importante, dentre outros, a adoção de espécies forrageiras tolerantes ao sombreamento (PACIULLO et al., 2009), como a espécie *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (CARVALHO et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2007). E, para avaliação da disponibilidade de radiação no sub-bosque, pode ser obtido o índice de área foliar, pois, fornece estimativa adequada sobre a cobertura do dossel (MEDHURST e BEADLE, 2001; XAVIER et al., 2002; DOVEY e TOIT, 2006;

MONTE et al. 2007; CHAVES et al., 2007) e poderia ser utilizada para correlações com a produtividade do componente forrageiro.

Em espaçamentos amplos, as árvores atingem maiores diâmetros e volumes individuais (BERNARDO et al., 1998; HEIN et al., 2008; HARRINGTON et al., 2009), em razão de menor competição entre plantas, prolongando a idade técnica de colheita para uma mesma condição de sítio (LACERDA e COUTO, 1993; CAMPOS e LEITE, 2009). Uma alternativa, principalmente, para produtores rurais que não utilizam colheitadeiras, seria a decepa de plantas jovens de eucalipto, a qual favorece a obtenção de madeira de menores dimensões, mesmo em espaçamentos amplos (CACAU et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2008). Porém, ao realizar a decepa, as brotações podem apresentar mudança na arquitetura de suas copas e nas respostas fisiológicas (KAUPPI et al., 1988; REIS e REIS, 1991; SNYDER et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2008), influenciando, outrossim, a disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa, de água e de nutrientes necessárias ao crescimento da forrageira estabelecida no sub-bosque, requerendo, assim, estudo mais detalhado da interação entre as brotações e a produção de biomassa da forrageira.

Nos sistemas silvipastoris, há requerimento da permeação de radiação para que a qualidade e a capacidade suporte da pastagem não sejam comprometidas (CARVALHO et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2007; PACIULLO et al., 2009). Contudo, estudos têm mostrado que a baixa disponibilidade de nutrientes no solo, sobretudo nitrogênio, limita o crescimento e a qualidade de pastagens nesses sistemas (ANDRADE et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2007; DAUDIN e SIERRA, 2008; MOSQUERA-LOSADA et al., 2010; SIERRA e DAUDIN, 2010).

O objetivo do presente estudo foi verificar a influência dos arranjos espaciais de plantio de um clone de eucalipto, em sistemas silvipastoris, com e sem decepa de plantas jovens de eucalipto, sobre o índice de área foliar e sua relação com a produção de biomassa de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu, na região de cerrado, de Minas Gerais.

2. MATERIAL e MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido em área da Votorantim Siderurgia, localizada no Município de Vazante, MG (17°36'09"S e 46°42'02"W), com altitude média de 550 m.

A precipitação média anual na área do estudo é de 1.312 mm (1989-2009), com maiores precipitações entre novembro a março, com média mensal de 222 mm e as menores precipitações de abril a outubro, com médias mensais de 29 mm. A temperatura média anual é de 26°C, sendo a média das temperaturas máximas de 35°C, e das mínimas de 18°C, com umidade relativa do ar média anual de 74 %. A evaporação potencial é de 1.689 mm e a região apresenta déficit hídrico de 497 mm nos meses de abril a outubro estimado pelo método de Thornthwaite (1948), através do software BHÍDRICO GD 4.0-2004 (D'ANGIOLELLA e VASCONCELLOS, 2004). A vegetação natural constitui em formações do bioma Cerrado e os solos da região se englobam na ordem do LATOSSOLOS (CACAU et al., 2008).

2.2. Instalação do experimento

A área de plantio do eucalipto era ocupada por pastagem de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu. Não foi realizado nenhum trato cultural visando à manutenção da pastagem no sistema silvipastoril, como a aplicação de fertilizantes. O plantio do eucalipto foi realizado em dezembro de 2006 com o clone 62 (híbrido natural de *E. camaldulensis*) em três arranjos espaciais de plantio: (2x2) + 10 m; (3x3) + 9 m e 9x3 m.

No preparo do solo para o plantio foi utilizado o subsolador na profundidade de 30-40 cm, com aplicação de 743 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo. O plantio foi realizado em dezembro de 2006, com aplicação imediata de 130 kg ha⁻¹ de NPK na formulação 10-28-06 + 0,6 % de B e 0,4 % de Zn, em covetas duplas laterais. Dois meses após o plantio, fez-se capina química na entrelinha, seguida de aplicação de 95 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio. Em abril, foi feita a segunda aplicação de 106 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio e 25 kg ha⁻¹ de borogram (10 % de B).

Aos 11,5 meses após o plantio foi realizada a decepta de plantas jovens em parte das árvores do clone de eucalipto, dentro de cada arranjo espacial, na altura de 10 cm do solo. Essa técnica foi aplicada visando a obtenção de madeira com menores dimensões, destinada a produção de energia. Não foi realizada a desbrota das plantas decepadas, devido as cepas apresentarem reduzido diâmetro e estudos preliminares com decepta de plantas jovens de clones de eucalipto, na região, não indicarem necessidade de desbrota (OLIVEIRA et al., 2008; CACAU et al., 2008).

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com três arranjos de plantio e duas condições de manejo (brotações - BR e plantas intactas - PI),

com três repetições e com 24 covas na área útil de cada parcela. Os tratamentos testados foram: T1= (2x2) + 10 m – BR; T2= (2x2) + 10 m – PI; T3= (3x3) + 9 m – BR; T4= (3x3) + 9 m – PI; T5= 9x3 m – PD e; T6= 9x3 m – PI. Em T1, T2, T3 e T4, o eucalipto foi implantado em fileiras duplas, com distância de 10 e 9 m entre elas e, no T5 e T6, em fileiras simples, com 9 m entre elas.

2.3. Índice de área foliar

Aos 38 (fev./ 2010) e 50 (fev./2011) meses após o plantio do eucalipto, quando as brotações apresentavam, respectivamente, 26,5 e 38,5 meses de idade, foi avaliado o índice de área foliar (IAF) com o analisador de dossel Licor LAI-2000; sendo as leituras realizadas sob luz difusa, ao amanhecer ou no final da tarde (XAVIER et al., 2002; CHAVES et al., 2007). Foram utilizados dois sensores: um colocado em área próxima às parcelas, a céu aberto e, o outro, para as leituras, nas parcelas experimentais.

As leituras do IAF foram tomadas a partir da segunda planta no início de cada parcela útil. Foram realizadas leituras em quatro pontos, em cada parcela, nos arranjos (2x2) + 10 m e (3x3) + 9 m: o primeiro localizado na interseção entre diagonais de quatro plantas na linha dupla de plantio; o segundo entre duas plantas de uma das linhas; e, outros dois, em distâncias regulares, em linha reta, 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 9 x 3 m foram realizadas leituras em três pontos nas parcelas: 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 (Figura 1).

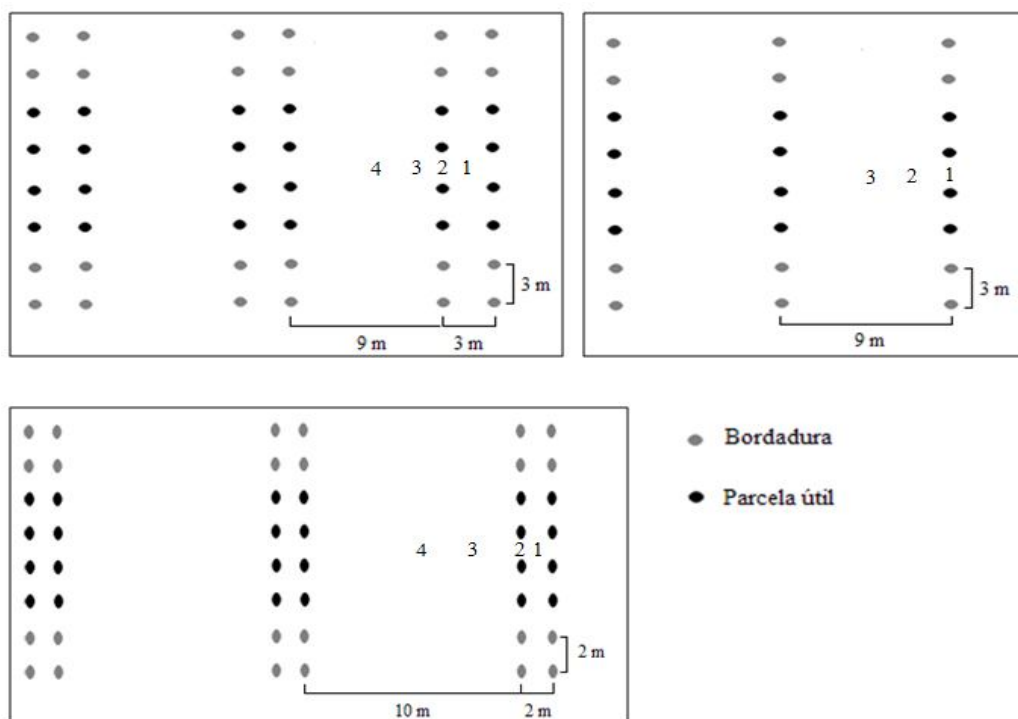


Figura 1. Perfil esquemático dos arranjos espaciais de plantio em sistema silvipastoril com o clone 62 de eucalipto, em Vazante, MG. Em que: Pontos 1, 2, 3 e 4, correspondem aos locais de leitura do índice de área foliar do eucalipto nas parcelas experimentais.

2.4. Biomassa da pastagem

A biomassa de *B. brizantha* foi coletada em duas épocas: abril de 2010 e fevereiro de 2011, respectivamente, aos 40 e 50 meses após o plantio do eucalipto. Foi realizada uma roçada mecânica, a 20 cm de altura, 45 dias antes da coleta de dados, a fim de representar a recuperação da pastagem após o pastoreio. Contudo, por questões logísticas da empresa, essa roçada não pode ser executada anteriormente a segunda coleta.

A biomassa foi coletada com gabaritos retangulares, sendo que, na primeira idade de avaliação, foi realizada uma amostragem por parcela do experimento e, na segunda, duas amostragens. Na primeira avaliação, os gabaritos foram instalados entre a segunda e terceira árvore da parcela útil, de modo a ficarem dispostas nos mesmos locais de coleta do IAF (Figura 1), excluindo apenas a região entre as linhas duplas, referente ao ponto 1, nos arranjos $(2 \times 2) + 10$ m e $(3 \times 3) + 9$ m. Na segunda avaliação, foi realizada amostragem adicional entre a terceira e quarta árvores da parcela útil, em lado oposto da primeira amostragem. Os gabaritos tinham largura fixa de 0,5 m e comprimento variando com o arranjo de plantio do eucalipto. No arranjo $(2 \times 2) + 10$ m,

eles foram de 5,0 m de comprimento; e nos arranjos (3x3) + 9 m e 9x3 m, o comprimento foi de 4,5 m. Esses gabaritos foram dispostos no sentido perpendicular a linha de plantio do eucalipto, buscando abranger maior gradiente de variação ambiental.

Cada parcela foi dividida ao meio, para analisar o efeito da proximidade da linha de plantio de árvores sobre a produção de biomassa no sub-bosque. Dessa forma adotou-se a terminologia PL (próximo a linha) para representar a biomassa da pastagem coletada no intervalo de 0 a $\frac{1}{4}$ da maior distância entre duas linhas de plantio do eucalipto e, DL (distante da linha) como a região compreendendo o intervalo de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ da distância entre essas linhas de plantio. Foi coletada toda a biomassa da gramínea acima de 10 cm de altura, após o corte com roçadeira manual.

As amostras foram condicionadas em sacolas plásticas e pesadas em balança digital no campo, obtendo-se a biomassa úmida total, para, posteriormente, retirar amostras representativas, devidamente identificadas, para pesagem em balança de precisão. Essas amostras foram condicionadas em sacolas de papel no laboratório e levadas a estufa com temperatura de $\pm 65^\circ \text{C}$ até peso constante, para determinação do teor de umidade, para, então, estimar a biomassa seca e sua produção por hectare (Mg ha^{-1}).

2.5. Análise dos dados experimentais

A caracterização do dossel através do IAF foi realizada por meio de análise de regressão. O modelo escolhido foi aquele que apresentou maior coeficiente de correlação entre valores observados e aqueles estimados e menor erro-padrão estimado (S_{yx}), sendo as análises realizadas no software SIGMAPLOT 10.0 (SYSTATSOFT, INC, 2006). A biomassa da pastagem foi avaliada por meio da análise descritiva, com os valores médios e respectivo desvio padrão. Também, determinou-se a correlação, por meio do teste de Pearson, entre o IAF médio, considerando todos os pontos avaliados e a produção e o teor de umidade da pastagem, dentro de cada idade de avaliação ($N=18$) e entre tratamentos nas diferentes idades ($N=6$). Sua significância foi testada pelo teste t a 1 e 5 % de probabilidade, utilizando o software SAEG 9.1 (FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES, 2007).

3. RESULTADOS

O índice de área foliar decresceu ($p \leq 0,01$) com o aumento do espaçamento de plantio nas duas idades analisadas, para brotações e plantas intactas, exceto para brotações aos 38,5 meses (Figura 2). Maior IAF para brotação foi observado no arranjo $(2 \times 2) + 10$ m (1,77) e $(3 \times 3) + 9$ m (1,73) aos 26,5 meses de idade; e menores para planta intacta no arranjo 9×3 m (1,39), aos 50 meses. O IAF das brotações decresceu de 12,5, 7,5 e 5,1 % entre a primeira e segunda idade de coleta e, para plantas intactas, o decréscimo foi de 10,5, 7,8 e 7,9 %, para os arranjos $(2 \times 2) + 10$ m, $(3 \times 3) + 9$ m e 9×3 m, respectivamente.

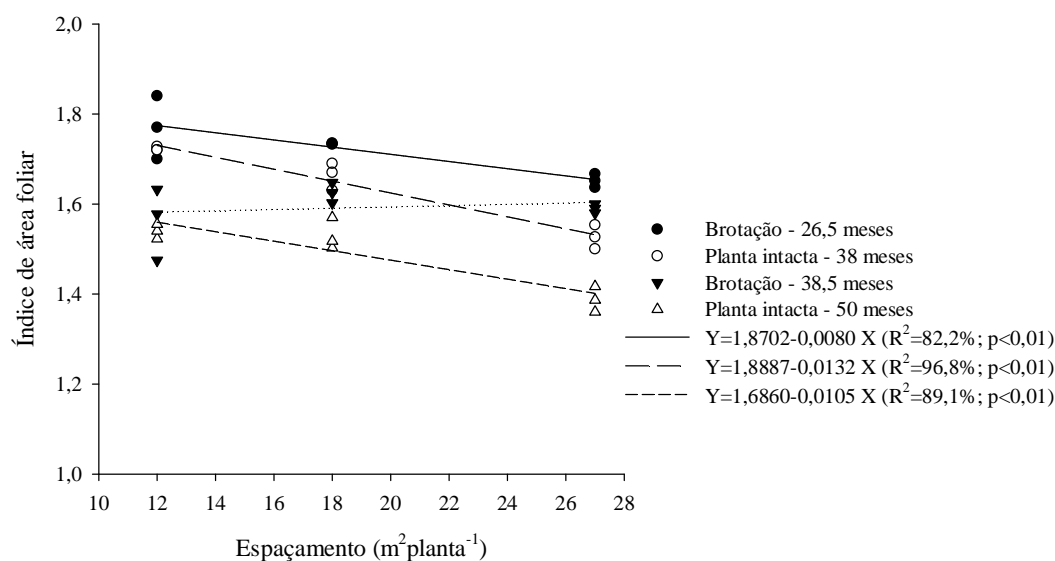


Figura 2. Índice de área foliar de plantas intactas e brotações de eucalipto em função do espaçamento de plantio, em sistema silvipastoril, em Vazante, MG. Em que: $(2 \times 2) + 10$ m, $(3 \times 3) + 9$ m e 9×3 m correspondem aos espaçamentos 12, 18 e $27 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$, respectivamente.

As brotações apresentaram correlação negativa entre IAF e DAP ($-0,82$; $p \leq 0,05$), no arranjo $(2 \times 2) + 10$ m. Para plantas intactas, houve correlação negativa do IAF com o DAP e altura nos arranjos $(2 \times 2) + 10$ m e 9×3 m, com valores superiores a 0,87 ($p \leq 0,01$); e apenas com DAP no $(3 \times 3) + 9$ m ($-0,89$; $p \leq 0,01$).

Os valores de IAF obtidos a partir da linha de plantio (abaixo da copa das árvores) até o centro da maior distância entre linhas diminuíram ($p \leq 0,01$), para cada arranjo de plantio, nas duas idades (Figura 3), exceto para brotação no $(2 \times 2) + 10$ m e planta intacta no 9×3 m, aos 38,5 e 38 meses de idade, respectivamente. A equação

ajustada não pode ser extrapolada além do último ponto de leitura, devido o IAF, a partir desse ponto, aumentar em razão da influência das árvores situadas nas linhas simples ou duplas adjacentes. Maiores diferenças médias entre a primeira e última distância de leitura do IAF ocorreram na primeira idade de avaliação para brotação no (2x2) + 10 m (16,85 %) e no (3x3) + 9 m para planta intacta (16,05 %). E menores diferenças foram observadas para plantas intactas, aos 50 meses (2,37%), e brotações aos 26,5 meses (3,53%) no arranjo 9x3 m.

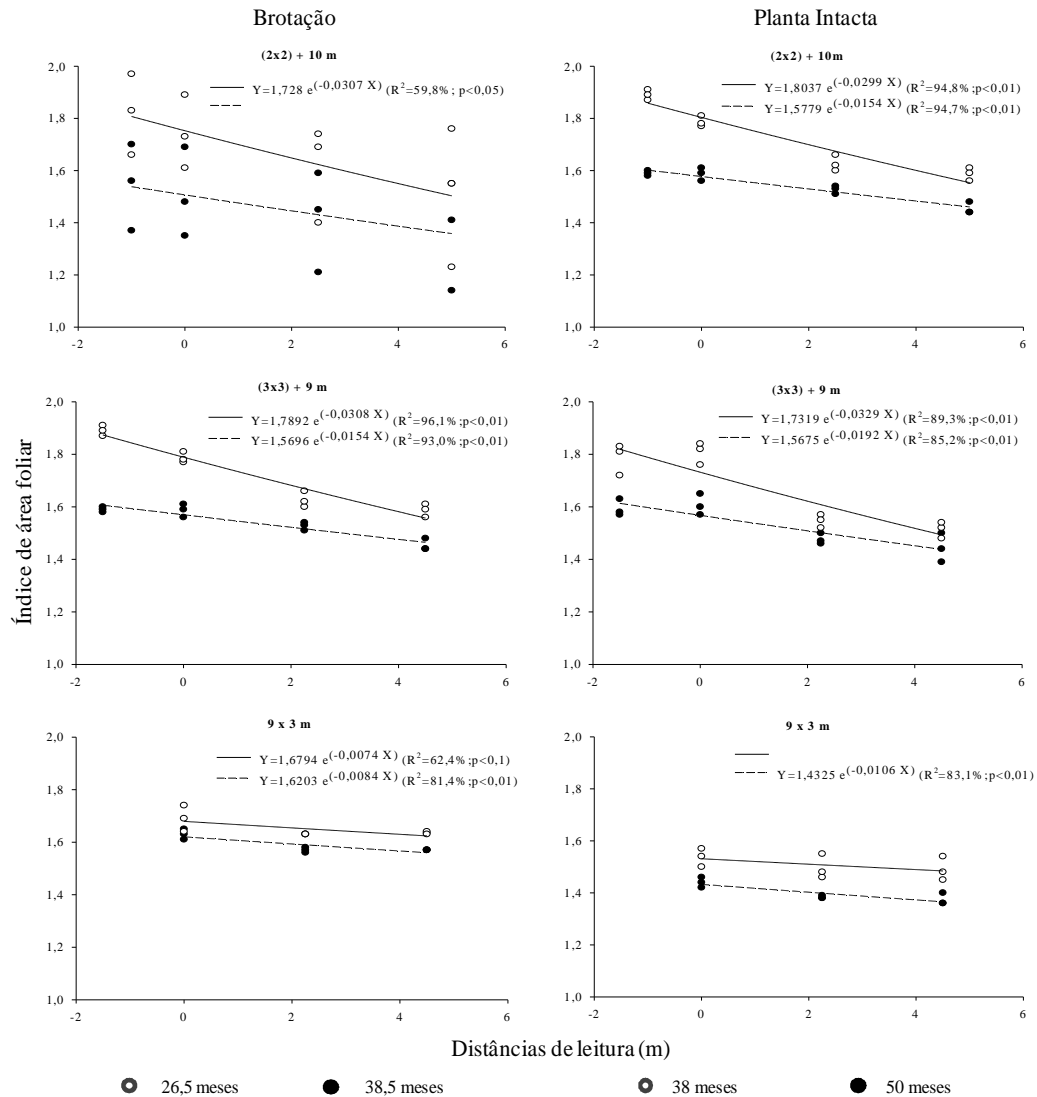


Figura 3. Índice de área foliar (IAF) de brotação e plantas intactas em sistema silvipastoril com eucalipto em diferentes arranjos espaciais de plantio, em Vazante, MG. Em que: Distância “0” corresponde a leitura entre plantas na linha simples de plantio; distância inferior a “0” representa o ponto de intercessão de diagonais entre quatro plantas nos arranjos com linha dupla.

Ao analisar a produção média de biomassa de braquiária por tratamento, nas duas idades de coleta, observa-se maior variabilidade dentro de cada tratamento para a primeira coleta (Figura 4). Por essa razão a amostragem foi dobrada na segunda coleta.

Observou-se tendência de superioridade da biomassa média da braquiária, na primeira avaliação, à medida que aumenta o espaçamento de plantio, com maiores valores para brotações, no arranjo 9x3 m (3,21 Mg ha⁻¹) e menores no (2x2) + 10 m (1,55 Mg ha⁻¹). Na segunda avaliação, exceto para planta intacta no (3x3) + 9 m, há uma tendência de diminuição dessa biomassa.

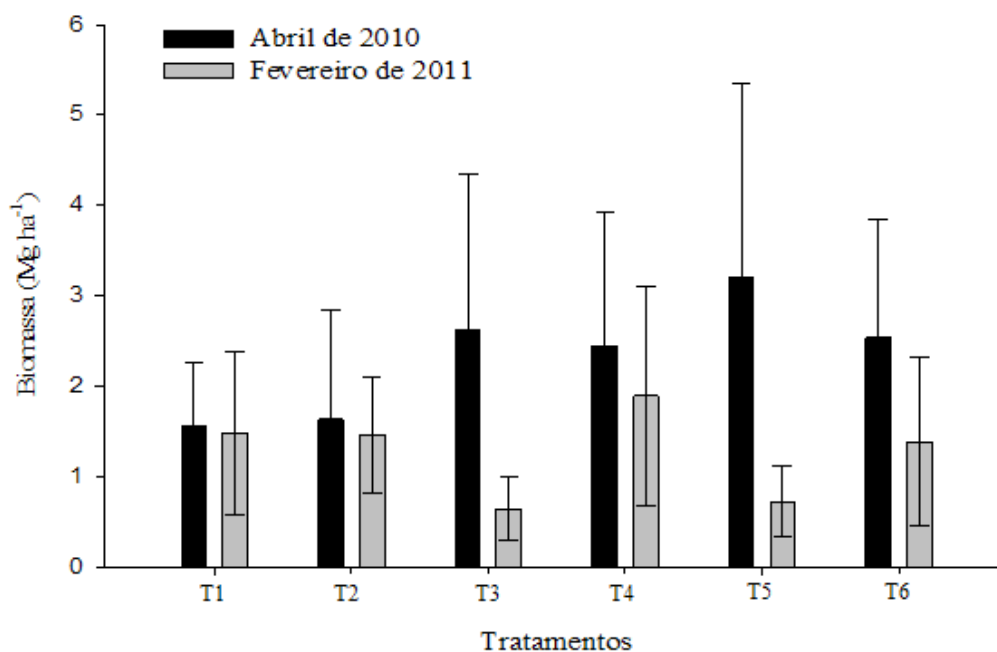


Figura 4. Biomassa média da pastagem em sistema silvipastoril com brotações (BR) e plantas intactas (PI) de eucalipto, em diferentes arranjos espaciais de plantio, Vazante, MG. Em que: 1= (2x2) + 10 m – BR; 2= (2x2) + 10 m – PI; 3= (3x3) + 9 m – BR; 4= (3x3) + 9 m – PI; 5= 9x3 m – BR e; 6= 9x3 m – PI.

A distância em relação à linha de plantio influenciou a biomassa da pastagem. Na primeira idade de avaliação, a produção tendeu a ser maior próxima à linha de plantio do eucalipto, com maiores valores encontrados nos arranjos 9x3 m e (3x3) + 9 m para brotações, com 3,89 e 3,56 Mg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 1). Por outro lado, na segunda idade de avaliação, houve tendência de maior produção de biomassa na posição distante da linha do eucalipto, com maiores valores no arranjo (3x3) + 9 m para área com planta intacta (2,31 Mg ha⁻¹) e no (2x2) + 10 m (1,82 Mg ha⁻¹), com brotação.

Tabela 1. Diâmetro na altura de 1,3 m (*DAP*) (cm) e altura total (*Ht*) (m) de brotações e de planta intacta do eucalipto e produção de biomassa (Mg ha^{-1}) de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu com, respectivo, desvio padrão, em sistema silvipastoril com eucalipto, com 38 e 50 meses (plantas intactas) e 26,5 e 38,5 meses (brotações) de idade, Vazante, MG¹.

Trat.	Arranjo (m)	Manejo ¹	Idade (meses)	Eucalipto		Biomassa seca da pastagem (Mg ha^{-1})	
				DAP	Ht	Próxima a linha do eucalipto	Distante da linha do eucalipto
T1	(2x2)+10	BR	26,5	9,7	17,0	1,53 (0,99)	1,57 (0,49)
			38,5	11,2	18,2	1,14 (0,54)	1,82 (1,09)
T2	(2x2)+10	PI	38	14,2	18,8	1,97 (1,38)	1,29 (1,18)
			50	15,8	21,5	1,37 (0,32)	1,55 (0,89)
T3	(3x3)+9	BR	26,5	9,5	11,1	3,56 (1,96)	1,66 (0,99)
			38,5	11,4	16,0	0,61 (0,27)	0,68 (0,44)
T4	(3x3)+9	PI	38	15,9	18,7	2,87 (2,16)	2,02 (0,47)
			50	17,7	18,8	1,47 (0,83)	2,31 (1,46)
T5	9x3	BR	26,5	10,4	15,7	3,89 (2,80)	2,53 (1,47)
			38,5	12,0	17,9	0,59 (0,27)	0,84 (0,48)
T6	9x3	PI	38	17,0	17,2	3,02 (1,89)	2,05 (0,13)
			50	19,6	22,1	1,17 (0,44)	1,59 (1,28)

¹ BR- Brotação; PI- Planta intacta; DAP – Diâmetro na altura de 1,3 m, em cm; Ht – Altura total, em m;

4. DISCUSSÃO

A diminuição do IAF com o aumento do espaçamento de plantio está relacionada com a menor densidade de árvores. O maior valor médio foi encontrado no arranjo (2x2) + 10 m para brotação (1,77) e planta intacta (1,73); e o menor no arranjo 9x3 m para brotação (1,65) e planta intacta (1,53). Esses valores são condizentes com os verificados por Grigg et al. (2008), para plantas intactas de *E. marginata*, aos 18 anos de idade, na Austrália, onde observaram redução do IAF com o aumento do espaçamento de plantio, com valores de IAF de 2,5, 2,3 e 1,2 nos arranjos 2x2 m, 2x4 m e 4x4 m, respectivamente. Nota-se menor valor do IAF no arranjo 4x4 m, onde o espaçamento de plantio é de $16 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$. Estes resultados permitem visualizar que as árvores em maiores arranjos de plantio apresentaram IAF's mais baixos, indicando como o arranjo espacial de plantio pode influenciar os valores de IAF.

Verificou-se gradiente no IAF, dentro dos arranjos de plantio, com maiores valores abaixo das copas e menores na região central entre as duas maiores linhas simples ou duplas de plantio. Observou-se no arranjo (2x2) + 10 m, que as brotações

apresentaram maior variabilidade do IAF, interferindo no ajuste das equações. Esse fato, provavelmente, se deve a maior competição entre brotos associados ao menor espaçamento de plantio. Maior densidade arbórea eleva a competição, gerando estagnação mais rápida do crescimento, podendo acelerar a abscisão foliar e, até mesmo, causar a mortalidade de indivíduos (LEITE et al., 2006; CHAVES et al., 2007; SNYDER et al., 2007; HARRINGTON et al., 2009). Este princípio poderia estar associado à diminuição do IAF da primeira medição para a segunda, em todos os arranjos, para ambas, planta intacta e brotações.

A diminuição do IAF à medida que ocorreu o crescimento em diâmetro e altura das árvores nas duas idades estudadas sugere aumento acentuado da competição entre plantas. Para plantas intactas de híbridos de *E. grandis*, Chaves et al. (2002) avaliaram o IAF entre 15 e 78 meses de idade no arranjo 3x3 m, e verificaram sua diminuição ao longo das idades avaliadas, destacando que nos menores valores observados o povoamento já havia ultrapassado o máximo incremento corrente anual. Nessa idade, é provável que tenha se intensificado a competição entre plantas, provocando a abscisão foliar e, diminuição do IAF. No geral, o crescimento em DAP e Ht em plantas intactas apresentou-se mais correlacionados com diminuição do IAF em todos os arranjos, em comparação com as brotações, que só se correlacionou no arranjo (2x2) + 10 m (-0,82; $p \leq 0,05$). Essas diferenças podem estar relacionadas com a maior variabilidade nessas variáveis (IAF, DAP e Ht) nos tratamentos de manejo das brotações. O crescimento da copa está relacionado com o maior espaço disponível para as plantas. Harrington et al. (2009) verificaram aumento da área e da proporção de copa em relação à altura total com o aumento da área útil por árvore para *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*, aos 25 anos de idade, em sítios de qualidade média. A tendência de maior crescimento da copa das árvores em espaçamentos amplos pode promover aumento na área foliar individual, mas o IAF é influenciado pela densidade de plantio uma vez que se refere ao dossel do povoamento (GRIGG et al., 2008). No geral, as brotações tenderam a apresentar maior IAF do que as plantas intactas, na primeira idade de coleta nos arranjos (3x3) + 9 m e 9x3 m. Oliveira et al. (2008) também verificaram, aos 15 meses após a decepa, que a área foliar total das brotações foi 24 % maior que das plantas intactas com idade de 24 meses, para um clone de híbrido de *E. camaldulensis* x *E. grandis*, no arranjo 9x4 m, embora a biomassa de galhos tenha sido maior nas plantas intactas. Kauppi et al. (1988) verificaram maior número de galhos e novos brotos em brotações de *Betula pubescens* Ehrh., quando comparado com plantas intactas. No presente estudo, os dados foram obtidos quando as brotações apresentavam 26,5 meses, ou seja,

11,5 meses a menos que para as plantas intactas. As brotações apresentaram maior redução média do IAF entre a primeira e a segunda idade de coleta (12,5%) em comparação com a redução observada para as plantas intactas (10,5%) no arranjo (2x2) + 10 m, indicando aumento da competição neste período. É provável que nos arranjos (3x3) + 9 m e 9x3 m, tanto para brotações quanto para plantas intactas, essas tenham sido favorecidas pelo maior espaço, propiciando maior aquisição de recursos de crescimento, o que implicaria em uma menor redução de IAF.

No presente estudo, buscou-se abranger maior gradiente ambiental na amostragem da biomassa da braquiária, através de uso de gabaritos retangulares, iniciando-se a amostragem na linha de plantio, possivelmente sob maior influência da copa das árvores, caracterizado pelas medições de IAF, até a metade da maior distância entre linhas de plantio. Diversos autores utilizaram parcelas amostrais quadradas e de menor área (1 m², por exemplo) (ANDRADE et al., 2001; CARVALHO et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2007; PACIULLO et al., 2007, 2009), associando a um maior número de repetições por tratamento, de forma a reduzir o erro experimental. Em razão da elevada variabilidade dos dados na primeira coleta de biomassa, a amostragem foi realizada em dois locais, em cada parcela, o que implicou em melhoria dos dados. No presente estudo não houve adubação na pastagem, o que provavelmente contribuiu para a heterogeneidade na produção de biomassa (ANDRADE et al., 2001). Diversos estudos destacam a importância da disponibilidade de nutrientes, sobretudo nitrogênio, na manutenção e aumento da produção de pastagens em sistemas silvipastoris (MOSQUERA-LOSADA et al., 2006, 2010; SIERRA e NYGREN, 2006; FERREIRO-DOMÍNGUEZ et al., 2011).

Os valores médios de produção, observados aos 38 meses após plantio do eucalipto (1,5 – 3,89 Mg ha⁻¹), estão coerentes com outros estudos em sistemas silvipastoris, com pastagens compostas por gramíneas (CARVALHO et al., 2002; MOSQUERA-LOSADA et al., 2006, 2009; 2010; OLIVEIRA et al., 2007; PACIULLO et al., 2007, 2009). Oliveira et al. (2007) verificaram, na região de cerrado, maior produção de *B. brizantha* no arranjo (3x3) + 10 m e menores no 10x3 m, com, respectivamente, 2,79 e 1,06 Mg ha⁻¹, para coletas realizadas no mês de abril, aos 27 meses após o plantio do eucalipto. Contudo, neste estudo, a pastagem foi implantada, após dois anos consecutivos de cultivo de plantio de arroz e soja, sendo provável que tenha sido beneficiada por resíduos das adubações aplicadas nos cultivos agrícolas. No presente estudo, é provável que a produção da pastagem pudesse ser maior, caso tratos culturais fossem adotados, como adubações nitrogenadas, por exemplo.

A produção de biomassa seca da gramínea tendeu a aumentar com o espaçamento de plantio, sendo a maior produção observada no arranjo 9x3 m, quando aplicado o tratamento de decepta (3,89 Mg ha⁻¹), na primeira idade de avaliação. Apenas nessa idade foi obtida correlação negativa entre as produções de biomassa com o IAF médio para todos os tratamentos. Isto sugere que a diminuição do IAF com o aumento do espaçamento de plantio esteja favorecendo a passagem de radiação para a pastagem. Em sistemas silvipastoris, quando a espécie do sub-bosque é pouco tolerante ao sombreamento, é necessário que o componente arbóreo não desfavoreça, em demasia, a passagem de luz (MACEDO et al., 2006; PACIULLO et al., 2007, 2009; WALL et al., 2010). Wall et al. (2009) verificaram alta relação ($p \leq 0,01$) entre a produção de biomassa de várias gramíneas e a radiação solar difusa, não interceptada pela copa de híbridos *Populus* spp., em diferentes densidades de plantio (50-750 árvores ha⁻¹) e idade avançada (> 25 anos).

Houve tendência de maior produção de biomassa seca próxima a linha de plantio do eucalipto, na primeira idade de avaliação. É possível que o material genético de eucalipto utilizado, não esteja desfavorecendo a passagem de luz, além de apresentar raízes mais profundas (REIS et al., 2006), uma vez que, quanto mais profundas e com capacidade de absorção, sobretudo, em regiões com solos de baixa fertilidade e déficit hídrico acentuado são importantes para obtenção de maiores produtividades do sub-bosque (DAS e CHATURVEDI, 2008). Em sistemas silvipastoris com eucalipto e *B. brizantha*, na região do cerrado, foi verificada, exceto no arranjo (3x3) + 15 m, maior transmitância da radiação fotossintética ativa sob as linhas de plantio do eucalipto em relação ao centro da maior distância entre as linhas, que foram maiores que 7 m (OLIVEIRA et al., 2007). Este fato pode ter ocorrido em razão da posição das linhas de plantio em relação a posição do sol na ocasião da avaliação. Porfírio-da-Silva (1998) verificou valores superiores de biomassa de *B. brizantha* e maior disponibilidade de água no solo durante o período seco, abaixo da copa de *Grevillea robusta*, aos 8 anos de idade, destacando o papel das árvores na manutenção da umidade do solo. Carvalho et al. (2002) verificaram maior produção em matéria seca de *B. brizantha* a pleno sol, contudo, maiores teores de nitrogênio foram verificadas na gramínea estabelecida sob a copa de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenen. Essas informações corroboram com os resultados encontrados para essa maior produção próxima à linha de plantio, sendo que já havia iniciado o período de déficit hídrico na região. Entretanto estudos mais detalhados devem ser feitos a fim de verificar a qualidade nutricional da forragem no presente estudo.

É possível que, com o crescimento do eucalipto esteja havendo maior competição, sobretudo, por água e nutrientes no solo. Essa competição pelas raízes pode ser mais intensa quando em maiores densidades de plantio (DAS e CHATURVEDI, 2008), não sendo possível avaliar um fator ambiental isolado. Leles et al. (2001) verificaram, aos 52 meses de idade, maior biomassa de raízes laterais ($>$ e $<$ que 2 cm) de *E. pellita* e *E. camaldulensis* no arranjo 9x9m. A queda na produção da forrageira, aos 50 meses após plantio do eucalipto, pode estar associado a falta de adubações, sobretudo, nitrogenada, e de roçada mecânica ou pastoreio, o qual promoveria a reposição da área foliar da gramínea. Também, algum dano poderia ter ocorrido por agentes patogênicos ou herbívoros. Outros autores observaram queda na produção da pastagem em sistemas silvipastoris com o passar do tempo. Mosquera-Losada et al. (2010) verificaram produções de pastagem, compostas por um mix de três espécies, mais elevadas quando cultivadas em solos anteriormente agricultáveis, mesmo quando em consórcio com *Pinus radiata* D. Don. Entretanto, a produção da pastagem foi menor na medida em que houve o crescimento das árvores; sendo maior na primavera, dois anos após o plantio, e variando de 2,2 a 13,4 Mg ha⁻¹; e menores na primavera seguinte, com 1,2 a 10,3 Mg ha⁻¹, mesmo com aplicação de adubação. López-Días et al. (2009), em experimento com diferentes doses de adubação, também, verificaram diminuição da produção de matéria seca de pastagem (mix de três espécies) do segundo (11,3-13,7 Mg ha⁻¹) para o terceiro ano (7,2-9,9 Mg ha⁻¹) sob povoamento de *P. radiata* com densidade de plantio de 1667 árvores ha⁻¹, implantado no mesmo ano da primeira avaliação da pastagem. Dessa forma, percebe-se que estudos mais detalhados são necessários, na busca de entendimento da interação entre os componentes, arbóreo e forrageiro, em sistemas silvipastoris.

5. CONCLUSÕES

O IAF pode ser utilizado para estudos sobre disponibilização de radiação e potencial de produção de forragem em sistemas silvipastoris.

A decepta de plantas não causou, a princípio, influência na produção da forrageira.

Menores densidades arbóreas favorecem maior produção de pastagem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. M. S. et al. Transmissão de luz em sistemas silvipastoris com eucalipto. **Revista Árvore**, v. 26, n. 1, p. 19-23, 2001.

BERNARDO, A. L. et al. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 104, n. 1-3, p. 1-13, 1998.

BINKLEY, D. et al. Explaining growth of individual trees: Light interception and efficiency of light use by *Eucalyptus* at four sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1704-1713, 2010.

CARVALHO, M. M.; FREITAS, V. P.; XAVIER, D. F. Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condições de sombreamento natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.5, p. 717-722, 2002.

CHAVES, R. A. et al. Dinâmica de cobertura de dossel de povoamentos de clones de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden submetidos a desrama artificial e desbaste. **Revista Árvore**, v.31, n.6, p.989-998, 2007.

CACAU, F. V. et al. Decepa de plantas jovens de eucalipto e manejo de brotações, em um sistema agroflorestal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.43, n.11, p.1457-1465, 2008.

DAS, D. K.; CHATURVEDI, O. P. Root biomass and distribution of five agroforestry tree species. **Agroforest Systems**, v. 74, n. 3, p. 223–230, 2008.

DANIEL, O. et al. Proposta para a padronização da terminologia empregada em sistemas agroflorestais no Brasil. **Revista Árvore**, v.23, n.3, p. 367-370, 1999.

DAUDIN, D.; SIERRA, J. Spatial and temporal variation of below-ground N transfer from a leguminous tree to an associated grass in an agroforestry system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 126, 3-4, p. 275-280, 2008.

D'ANGIOLELLA, G. L. B.; VASCONCELLOS, V. L. D. BHÍDRICO GD 4.0-2004: planilha eletrônica para cálculo do balanço hídrico climatológico. **Revista Bahia Agrícola**, v.6, p.14-16, 2004.

DOVEY, S. B.; TOIT, B. Calibration of LAI-2000 canopy analyser with leaf area index in a young eucalypt stand. **Trees**, v. 20, n. 3, p. 273–277, 2006.

FELDHAKE, C. M. Forage evapotranspiration and photosynthetically active radiation interception in proximity to deciduous trees. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 7, p. 1170-1174, 2009.

FERREIRO-DOMÍNGUEZ, N.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MOSQUERA-LOSADA, M. R. Response to sewage sludge fertilisation in a *Quercus rubra* L. silvopastoral system: Soil, plant biodiversity and tree and pasture production. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 141, n. 1-2, p. 49-57, 2011.

- GRIGG, A. H. et al. Does initial spacing influence crown and hydraulic architecture of *Eucalyptus marginata*? **Tree Physiology**, v. 28, n. 5, p. 753–760, 2008.
- HARRINGTON, T. B.; HARRINGTON, C. A.; DEBELL, D. S. Effects of planting spacing and site quality on 25-year growth and mortality relationships of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*). **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 1, p. 18–25, 2009.
- HEIN, S.; WEISKITTEL, A. R.; KOHNLE, U. Effect of wide spacing on tree growth, branch and sapwood properties of young Douglas-fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] in south-western Germany. **European Journal of Forest Research**, v. 127, n. 6, p. 481-493, 2008.
- HIGA, R. C. V.; STURION, J. A. Efeito do espaçamento na capacidade de brotação de *Eucalyptus viminalis*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 40, n. 1, p.77-83, 2000.
- KAUPPI, A.; KIVINIITTY, M.; FERM, A. Growth habits and crown architecture of *Betula pubescens* Ehrh. of seed and sprout origin. **Canadian Journal of Forest Research**, v.18, n. 12, p.1603-1613, 1988.
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamento de *Pinus Taeda* L. **Revista Árvore**, v.30, n.4, p.603-612, 2006.
- LELES, P. S. S. et al. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 77-87, 2001.
- LÓPEZ-DÍAZ, M. L.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MOSQUERA-LOSADA, M. R. Influence of pasture botanical composition and fertilization treatments on tree growth. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 4, p. 1363-1372, 2009.
- MACEDO, R. L. G. et al. Desempenho silvicultural de clones de eucalipto e características agronômicas de milho cultivados em sistema silviagrícola. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, 701-709, 2006.
- MEDHURST, J. L.; BEADLE, C. L. Crown structure and leaf area index development in thinned and unthinned *Eucalyptus nitens* plantations. **Tree Physiology**, v. 21, n. 12-13, p. 989–999, 2001.
- MONTE, M. A. et al. Métodos indiretos de estimação da cobertura de dossel em povoamentos de clone de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.6, p.769-775, 2007.
- MOSQUERA-LOSADA, M. R.; FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, E.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A. Pasture, tree and soil evolution in silvopastoral systems of Atlantic Europe. **Forest Ecology and Management**, v. 232, n. 1-3, p.135-145, 2006.
- MOSQUERA-LOSADA, M. R. et al. Biodiversity and silvopastoral system use change in very acid soils. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 131, n. 3-4, p. 315-324, 2009.

MOSQUERA-LOSADA, M. R.; FERREIRO-DOMÍNGUEZ, N.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A. Fertilization in pastoral and *Pinus radiata* D. Don silvopastoral systems developed in forest and agronomic soils of Northwest Spain. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 139, n. 4, p. 618-628, 2010.

OLIVEIRA, T. K. et al. Produtividade de *Brachiaria brizantha* (hochst. ex a. rich.) stapf cv. marandu sob diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril com eucalipto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 748-757, 2007.

OLIVEIRA, C. H. R. et al. Área foliar e biomassa de plantas intactas e de brotações de plantas jovens de clone de eucalipto em sistemas agrossilvipastoris. **Revista Árvore**, v.32, n.1, p.59-68, 2008.

PACIULLO, D. S. C. et al. Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.11, p.1528-1535, 2009.

PACIULLO, D. S. C. et al. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.42, n.4, p.573-579, 2007.

PINKARD, E. A.; NEILSEN, W. A. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, v. 172, n. 2-3, p. 215-227, 2003.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. P. **Modificações microclimáticas em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta* A. Cunn. ex. R. Br. na região noroeste do estado do Paraná.** 1998. 152 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Respostas estomáticas e mudanças nos níveis de reservas de plantas intactas e de brotações de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. submetidas a deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, v.15, n.2, p.112-125, 1991.

REIS, G. G. et al. 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. **Revista Árvore**, v.30, n. 6, p.921-931, 2006.

SIERRA, J.; DAUDIN, D. Limited ¹⁵N transfer from stem-labeled leguminous trees to associated grass in an agroforestry system. **European Journal of Agronomy**, v. 32, n. 3, p. 240-242, 2010.

SIERRA, J.; NYGREN, P. Transfer of N fixed by a legume tree to the associated grass in a tropical silvopastoral system. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 7, p. 1893 – 1903, 2006.

SOUZA, A. N. et al. Viabilidade econômica de um sistema agroflorestal. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 96-106, 2007.

SNYDER, L. J. U. et al. Growth characteristics and allometry of *Robinia pseudoacacia* as a silvopastoral system component. **Agroforest Systmes**, v. 70, n.1, p. 41–51, 2007.

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. **Revista Árvore**, v.26, n. 4, p.421-427, 2002.

WALL, A. J. et al. Evaluation of easily measured stand inventory parameters as predictors of PAR transmittance for use in poplar silvopastoral management. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 139, n. 4, p. 665-674, 2010.

CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- 1) O arranjo (2x2) + 10 m, em sistema silvipastoril, pode ser utilizado em substituição aos arranjos 3,6x2,5 m e 3,3x3,3 m, em monocultivo, por apresentar produção similar.
- 2) Os arranjos (2x2) + 10 m, (3x3) + 9 m e 9x3 m favorecem o consórcio com pastagem, sendo uma opção para inserir o cultivo de florestas na atividade agropecuária.
- 3) O arranjo 9x3 m, com plantas intactas, é o mais indicado para produzir madeira de maiores diâmetros.
- 4) A decepta de plantas jovens do clone 62 de eucalipto pode ser utilizada em sistemas silvipastoris com os arranjos de plantio testados para obtenção de madeira de menores dimensões, sem perdas na produção final do eucalipto. Não havendo, também, necessidade de desbrota.
- 5) Em sistemas silvipastoris, cujo foco principal é a produção de pastagem, menores densidades arbóreas favorecem a produção da forrageira.