GUALTER GUENTHER COSTA DA SILVA

NUTRIÇÃO, CRESCIMENTO E SUA MODELAGEM EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO EM RESPOSTA À DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E NUTRIENTES

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2006

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da UFV

T
S586n
2006

Silva, Gualter Guenther Costa da, 1975-
Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutrientes. – Viçosa : UFV, 2006.
xi, 102f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.
Orientador: Júlio César Lima Neves.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Plantas - Nutrição. 2. Eucalipto - Plantio - Minas Gerais. 3. Eucalipto - Nutrição. 4. Eucalipto - Crescimento - Modelos. 5. Plantas e água. 6. Análise foliar. 7. Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação. I. Universidade Federal de Viçosa. II.Título.

CDD 22.ed. 631.811

GUALTER GUENTHER COSTA DA SILVA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Aprovada: 31 de março de 2006

Prof. Nairam Félix de Barros

Prof. Aristides Ribeiro

Aos meus pais, Dimas e Marinete, exemplo de amor
e presença sempre constante.
Aos meus irmãos, Isaque e Marília, amigos eternos.
Ofereço.

A minha esposa Ermelinda, pelo carinho e apoio constante.
Ao meu filho, Vinícius, pelo afeto e por me ensinar
diariamente à "doce missão" de ser pai.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Pai eterno, minha força maior, sem o qual nada é possível.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade de realização do curso.

À Celulose Nipo-Brasileira (CENIBRA S.A.), pela concessão dos dados e disponibilização de sua área experimental, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Ao professor Júlio César Lima Neves, pela orientação, compreensão, incentivo, paciência e pela dedicação para realização deste trabalho.

Ao Doutor Fernando Palha Leite, exemplo de profissionalismo, pela compreensão que teve durante a fase conclusiva deste trabalho, me liberando das atividades na CENIBRA, meu sincero agradecimento; e também pelas valiosas sugestões dadas a este trabalho.

Ao professor Nairam Félix de Barros, exemplo de trabalho e dedicação, pela simplicidade em passar os ensinamentos, e pelas contribuições ao trabalho desenvolvido.

Ao professor Roberto Ferreira de Novais, pelo exemplo de dedicação ao trabalho e pelas valiosas contribuições dadas a este trabalho.

Ao professor Aristides Ribeiro, pelo tratamento sempre distinto, e pelas contribuições e pelo estímulo.

Ao professor Ivo Ribeiro da Silva, pela presteza na elaboração dos abstracts deste trabalho.

Ao professor Maurício de Oliveira "*in memoriam*", pelos ensinamentos e pelas sementes que plantou em mim, pelo estímulo na escolha pela área de "Solos e Nutrição de Plantas", e por minha escolha pela UFV.

A professora Maria Auxiliadora dos Santos, pelo carinho constante e confiança desde longa data, graduação na ESAM.

Aos professores do Departamento de Solos da UFV, pelos valiosos ensinamentos.

As amigas Sarita e Cristiane, pela amizade, pelo acolhimento especial a mim e a minha família num momento decisivo para conclusão do curso.

Ao amigo de sempre Luiz Fernando Carvalho Leite.

Aos amigos de curso Márcio, Alexandre, Juliana, Elaine e Alessandra, e aos colegas Fernando, Anastácia, Nícia, Kélia e Shirley, pelas "discussões sadias", pela hospitalidade, e por todos os momentos alegres que fizeram com que minha estada em Viçosa fosse muito mais gratificante.

Aos amigos da república potiguar, Adriano, Franciscleudo, Roberto Cleiton, Marcelo, Evilásio, Diolino e Palhevi, pelos vários momentos de confraternização que passamos juntos.

Às pessoas, não citadas, que bem sei tão importante para a concretização de mais esta etapa de minha vida.

À Ermelinda, pelo grande amor, carinho, estímulo e dedicação que tanto contribuiu para a realização do curso de Doutorado.

BIOGRAFIA

GUALTER GUENTHER COSTA DA SILVA, filho de Dimas Nascimento da Silva e Marinete Costa da Silva, nasceu em 13 de abril de 1975, em Natal, Rio Grande do Norte.

Em 1994, iniciou o Curso de Engenharia Agronômica, na Escola Superior de Agricultura de Mossoró, atualmente Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró (RN). Em 1996, iniciou suas atividades de pesquisa como bolsista de Iniciação Cientifica do CNPq, onde permaneceu até a conclusão do curso de graduação em dezembro de 1998.

Em 1999, ingressou no Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese de mestrado em 7 de março de 2001.

Em abril de 2001, iniciou o curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, nesta mesma Universidade.

Em dezembro de 2004, durante o período de Doutorado foi contratado pela CENIBRA S.A., como consultor técnico, função que exerce desde então.

Submetendo-se a defesa de tese de Doutorado em 31 de março de 2006.

CONTÉUDO

Página

RESUMO ix
ABSTRACT ix
INTRODUÇÃO GERAL 1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 4

CAPÍTULO I 6
DIAGNOSE NUTRICIONAL EM PLANTIOS JOVENS DE EUCALIPTO: INFLUÊNCIA DA IDADE, DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA E DO MANEJO DE ÁGUA E NUTRIENTES 6
RESUMO. 6
ABSTRACT. 7
INTRODUÇÃO 8
MATERIAL E MÉTODOS 11
Teores e relações entre nutrientes obtidos a partir do experimento de fertirrigação 11
Normas DRIS, M-DRIS e CND obtidas a partir de povoamentos clonais 13
RESULTADOS E DISCUSSÃO 17
Teores e relações entre nutrientes 17
Tratamentos com água e nutrientes 19
Normas DRIS, M-DRIS e CND para plantios com um e com dois anos de idade 21
CONCLUSÃO 28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 28

Página

CAPÍTULO II **31**
CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE EUCALIPTO EM RESPOSTA À DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E NUTRIENTES .. **31**
RESUMO. 31
ABSTRACT 32
INTRODUÇÃO 32
MATERIAL E MÉTODOS 36
Local do experimento 36
Descrição dos tratamentos 38
Instalação e condução 38
Variáveis medidas 39
Análise dos dados 42
RESULTADOS E DISCUSSÃO 42
Características dendrométricas 42
Avaliações realizadas em árvores médias 48
Área foliar específica (AFE), índice de área foliar (IAF) e eficiência da área foliar para a produção de biomassa 48
Altura (ALT), diâmetro (DAP) e volume cilíndrico (VC) 51
Densidade básica da madeira 53
Produção de biomassa de tronco e de parte aérea 53
Conteúdos de N, P e K e eficiência de utilização de nutrientes 55
Conteúdos na parte aérea e no tronco 55
Eficiências de utilização de N, P e K para a produção de biomassa. 57
Correlações entre os teores de nutrientes e o crescimento em altura 58
CONCLUSÕES 62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 63

CAPÍTULO III **66**
PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO DE CRESCIMENTO 3-PG PARA PLANTIOS DE EUCALIPTO NA REGIÃO CENTRO-LESTE DE MINAS GERAIS **66**
RESUMO 66
ABSTRACT. 67
INTRODUÇÃO 68
O Modelo 3-PG 70
Descrição da estrutura do modelo 3-PG 70
Variáveis de entrada e de saída do modelo 3-PG 76
MATERIAL E MÉTODOS 78
Experimento utilizado para a parametrização do modelo 3-PG 78

Página

Obtenção das variáveis utilizadas para parametrizar o modelo 3-PG 79
Biomassa dos compartimentos 79
Equações alométricas 80
Área foliar específica (AFE), densidade básica da madeira (D_b) e fração de galhos e casca em relação à biomassa da parte aérea excluindo as folhas (F_{gc}) 80
Calibração do modelo 3-PG 81
Validação do modelo 3-PG 84
RESULTADOS E DISCUSSÃO 84
Parametrização e calibração do modelo 3-PG 84
Validação do modelo 3-PG 86
CONCLUSÕES 93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 93

CONCLUSÃO GERAL 97

RESUMO

SILVA, Gualter Guenther Costa da Silva, D.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2006. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutrientes**. Orientador: Júlio César Lima Neves. Conselheiros: Nairam Félix de Barros, Aristides Ribeiro e Elpídio Inácio Fernandes Filho.

A cultura do eucalipto no Brasil apresenta grande importância econômica, ambiental e social. Em solos intemperizados de regiões tropicais, a manutenção em bons níveis dos fluxos de água e nutrientes é fundamental para a sustentabilidade da produção e, assim, da competitividade do setor florestal no cenário internacional. A avaliação e a compreensão de como os recursos água e nutrientes regulam a produtividade florestal contribui para a predição do potencial produtivo do povoamento, bem como, para subsidiar a aplicação de técnicas de manejo mais adequadas ao crescimento florestal. Assim, este trabalho teve como objetivos: avaliar a influência da idade da planta, da época de amostragem e do manejo dos recursos água e nutrientes nos teores foliares de nutrientes e em suas relações em plantios clonais jovens de *Eucalyptus*; avaliar a influência do aumento na disponibilidade dos recursos água e nutrientes no crescimento, aquisição de nutrientes e eficiência nutricional de eucalipto e parametrizar o modelo baseado em processos 3-PG para plantios de eucalipto na região Centro-Leste de Minas Gerais. Concluiu-se

que: a) os teores foliares de nutrientes e suas relações são sensíveis à idade dos plantios, à época de amostragem, e ao manejo de água e nutrientes, fatores que, portanto, influenciam a diagnose do estado nutricional em plantios jovens de eucalipto; b) o aumento da disponibilidade de água e nutrientes, via fertirrigação, promove maior índice de área foliar, maior produção de biomassa e maior acúmulo de nutrientes, em magnitudes variáveis com a idade e o nutriente, e influencia a eficiência de utilização de nutrientes; c) o aumento apenas da disponibilidade de água, via irrigação, não aumenta o índice de área foliar, mas eleva a área foliar específica, além de promover aumento no crescimento e na produção de biomassa até os dois anos de idade, e aumentar a aquisição de P; d) o aumento da disponibilidade de água reduz a densidade básica da madeira; e) a manutenção de elevadas taxas de crescimento requer adequada suplementação nutricional, mesmo em condições de disponibilidade hídrica elevada; f) foi obtida a parametrização do modelo baseado em processos 3-PG para eucalipto na região Centro-Leste de Minas Gerais; g) a parametrização em nível regional promove melhoria no desempenho do modelo 3-PG, e resulta em estimativas mais acuradas da produtividade em plantios de eucalipto; h) o modelo 3-PG, devidamente parametrizado, apresenta bom desempenho quanto às estimativas da produtividade de plantios de eucalipto, em escala regional, necessitando, contudo, ser aprimorado de modo a ser dotado de resolução em nível local, por exemplo, de talhão, e se constituir em efetiva ferramenta para subsidiar o manejo florestal no contexto de silvicultura de precisão.

ABSTRACT

SILVA, Gualter Guenther Costa da Silva, D.S., Universidade Federal de Viçosa, March 2006. **Nutrition, growth, and growth modeling of eucalypt stands submitted to distinct water and nutrient availability**. Adviser: Júlio César Lima Neves. Committee Members: Nairam Félix de Barros, Aristides Ribeiro and Elpídio Inácio Fernandes Filho.

The eucalypt culture in Brazil has a huge economical, environmental and social importance. In highly weathered soils of tropical regions, the maintenance of adequate flows of water and nutrients is fundamental to sustain yields and, therefore, the competitiveness of the forest sector in the international market. Evaluating and understanding how the water and nutrient resources regulate forest productivity not only contributes to predict the yield potential of stands, but also help in the adoption of management practices more adequate to the forest growth. Thus, the objectives of the present research were: to evaluate the influence of plant age, sampling time and the management of water and nutrients on the foliar nutrient concentration and their ratios in young clonal stands of *Eucalyptus*; to evaluate the influence of increased availability of water and nutrients on growth, nutrient acquisition and nutritional efficiency of eucalypt and parameterize the process-based model 3-PG to stands of eucalypt in the Central-Western region of Minas Gerais State. It was concluded that: a) the foliar nutrient concentration and their ratios are

sensitive to the age of the stands, to the time of sampling, and to the management of water and nutrients, which are factors that affect the diagnose of the nutritional status of young stands of eucalypt; b) the increase in water and nutrient availability, via fertirrigation, promotes greater leaf area index, greater biomass production and nutrient accumulation. Their gains are variable with the age and nutrient, and have effects on nutrient utilization efficiency; c) the increase of only water availability, via irrigation, does not increase the leaf area index, but does increase the leaf specific area, besides enhancing growth and biomass accumulation up to the age of two years. It also increases P acquisition; d) the increase of water availability reduces the wood density; e) the maintenance of high growth rates requires adequate nutrient supply, even under conditions of high water availability; f) it was parameterized the process-based model 3-PG to stands of eucalypt in the Central-Western region of Minas Gerais; g) the model parameterization at regional scale leads to more accurate estimates of productivity of eucalypt stands; h) the 3-PG model when adequately parameterized presents good performance regarding the estimated productivity of eucalypt stands in a regional scale. However, it needs further refinements in order to be used at local level, such as at stand level. After such adjustments it may prove and effective tool for helping forest management in a precision silviculture scenario.

INTRODUÇÃO GERAL

Em 2004, o setor florestal brasileiro contribuiu, com 5,5 bilhões de reais em impostos, participando com 4 % do PIB nacional. A área cultivada das florestas apresenta aproximadamente 5,5 milhões de hectares, dos quais 3,4 milhões encontram-se cultivados com *Eucalyptus* e o restante com *Pinus* (Leite, 2005).

A expansão da área cultivada tem sido impulsionada pelo aumento da demanda de madeira que passará de 145 para 220 milhões de m^3/ano até 2020 (Leite, 2005). Considerando a alta disponibilidade energética e a possibilidade de ciclos culturas florestais, em torno dos sete anos, bem menores do que em regiões temperadas, a região tropical é apontada como um dos principais fornecedores de madeira no futuro (Hunter, 2001).

Um dos motivos dessa expansão, bem como, das perspectivas positivas frente a competitividade com o mercado internacional se deve, principalmente, aos progressos realizados nas áreas de melhoramento genético, de nutrição e manejo da fertilização, aliados às práticas de manejo silviculturais, os quais possibilitaram um salto na produtividade de 20 (1960) para até 60 m^3/ha/ano, atualmente (Santana et al., 2000; Stape et al., 2001; Leite, 2005). Esses progressos são reflexos dos esforços de equipes de pesquisas de empresas e institutos ao longo dos últimos 35 anos.

Nas regiões tropicais em que os recursos água e nutrientes são, freqüentemente, os mais limitantes (Barros & Comerford, 2002), a base para a

sustentabilidade da produção de florestas plantadas é a manutenção em bons níveis dos fluxos de água e nutrientes (Neves, 2000; Barros & Comerford, 2002; Barros et al., 2005).

Por refletir os fluxos de água e nutrientes, a diagnose do estado nutricional, por meio de métodos de diagnose: Sistema Integrado de Diagnose (DRIS) (Beaufils, 1973), DRIS modificado (Hallmark et al., 1987) e Diagnose da Composição Nutricional (CND) (Parent & Dafir, 1992), pode ser utilizada como uma ferramenta complementar à análise de solo, auxiliando no manejo nutricional do eucalipto.

A utilização da diagnose nutricional com o objetivo de avaliar a efetividade das adubações (implantação e ou manutenção) e orientar a necessidade de adubações complementares, numa cultura como o eucalipto, é mais apropriada quando realizada em plantios jovens, após a realização das respectivas adubações.

Para utilização destes métodos são necessários a obtenção de normas ou valores padrões, a partir dos quais são calculados índices utilizados na avaliação do estado nutricional. Esses valores são importantes, também, para realização do inventário de implantação da floresta (12 – 18 meses). A tendência é a de que os plantios sejam realizados ao longo do ano, neste caso, cabe refletir sobre o efeito da sazonalidade climática, por exemplo, de precipitação pluviométrica, nos valores padrões.

Estudos avaliando, em eucalipto, os efeitos do aumento da disponibilidade de água e nutrientes, mediante irrigação e fertirrigação, (Pereira & Pallardy, 1989; Stewart et al., 1990; Olbrich et al., 1992; Myers et al., 1996; Honeysett et al., 1996; Hunter, 2001; Madeira et al., 2002) não foram realizados em condições tropicais como as do Brasil. A única exceção, em condições tropicais, para eucalipto foi o trabalho do Stape (2002). A plena disponibilização dos recursos água e ou nutrientes contribuem de forma diferenciada para o incremento na produção de biomassa, aquisição de nutrientes e eficiência nutricional do eucalipto dependendo do grau de limitação do respectivo recurso.

A avaliação e a compreensão de como os recursos água e nutrientes regulam a produtividade florestal contribui para a predição do potencial

produtivo do povoamento, bem como, para subsidiar aplicação de técnicas de manejo mais adequadas ao crescimento florestal.

O potencial produtivo de determinada floresta pode ser obtido por meio da modelagem, definida por Johnsen et al. (2001) como a construção de uma representação matemática de sistemas biológicos que incorporam conhecimentos sobre mecanismos fisiológicos e ecológicos por meio de algoritmos preditivos.

Dentre os diversos modelos, o 3-PG (*Physiological Principles in Predicting Growth*), desenvolvido por Landsberg & Waring (1997), é um modelo baseado em processos (MBP) que utiliza princípios fisiológicos para estimar a produtividade de povoamentos florestais eqüiâneos. Para que o referido modelo possa ser utilizado como ferramenta de manejo em plantios de eucalipto, torna-se necessário que o mesmo seja calibrado, por meio de ajustes dos parâmetros ou relacionamentos para as condições específicas do ambiente, e posteriormente, validado, por meio da comparação dos dados observados e aqueles estimados pelo modelo.

Assim, este trabalho teve como objetivos: avaliar a influência da idade da planta, da época de amostragem e do manejo dos recursos água e nutrientes nos teores foliares de nutrientes e em suas relações em plantios clonais jovens de *Eucalyptus*; avaliar a influência do aumento na disponibilidade dos recursos água e nutrientes no crescimento, aquisição de nutrientes e eficiência nutricional de eucalipto e parametrizar o modelo baseado em processos 3-PG para plantios de eucalipto na região Centro-Leste de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barros, N.F. & Comerford, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: Alvarez V., V.H.; Schaefer, C.E.G.R.; Barros, N.F.; Mello, J.W.V. de; Costa, L.M. da. Tópicos em Ciência do Solo, v.2, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.487-592, 2002.

Barros, N.F.; Neves, J.C.L. & Novais, R.F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. Visão Agrícola, 4:76-79, 2005.

Beaufils, E.R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Soil Sci. Bull. 1. University of Natal, Pietermaritizburg, South Africa. 1973. 132p

Hallmark, W.B.; Walworth, J.L.; Sumner, M.E.; de Mooy, C.J.; Pesek, J. & Shao, K.P. Separating limiting and non-limiting nutrients. J. Plant. Nutr., 10:1381-1390, 1987.

Honeysett, J.L.; White, D.A.; Worledge, D.; & Beadle, C.L. Growth and water use of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in irrigated and rainfed plantations. Aust. For., 59:64-73, 1996.

Hunter, I. Above ground biomass and nutrient uptake of three tree speies (*Eucalyptus camaldulensis, Eucalyptus grandis* and Dalbergia sissoo) as affected by irrigation and fertilizer, at 3 years of age, in southern India. For. Ecol. Manage, 144:189-199, 2001.

Johnsen, K.; Samuelson, L.; Teskey, R.; McNulty, S. & Fox, T. Process models as tools in forestry research and management. For. Sci., 47:2-8, 2001.

Landsberg, J.J. & Waring, R.H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. For. Ecol. Manage., 95:209-228, 1997.

Leite, N.B. Avanços da silvicultura brasileira são significativos. Visão Agrícola, 4:58-61, 2005.

Madeira, M.V.; Fabião, A.; Pereira, J.S.; Araújo, M.C.; Ribeiro, C. Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globulus* Labill. Plantations induced by different water and nutrient availability. For. Ecol. Manage., 171:75-85, 2002.

Myers, B.J.; Theiveyanathan, S.; O'Brien, N.D. & Bond, W.J. Growth and water use of *Eucalyptus grandis* and *Pinus radiate* plantations irrigated with effluent. Tree Physiology. 16:211-219, 1996.

Neves, J.C.L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e híbridos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado).

Olbrich, B.W.; Dye, P.J.; Christie, S.I. & Poulter, A.G. The water use characteristic of four eucalyptus clones in the Mkuzi irrigation trail. CSIR WNNR Division of Forest Science and Technology: p.1-40, 1992.

Parent, L.E. & Dafir, M. A theoretical concept of Compositional Nutrient Diagnosis. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 117:239-242, 1992.

Pereira, J.S. & Pallardy, S. Water stress limitations to tree productivity. In: Pereira, J.S. & Landsberg J.J. Editores. Biomass production by fast-growing trees. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht. p.37-56, 1989.

Santana, R.C.; Barros, N.F. & Comerford, N.B. Above-ground biomass, nutrient content, and nutrient use efficiency of eucalypt plantations growing in different sites in Brasil. New Zealand J. of For. Sci., 30:225-236, 2000.

Stape, J.L.; Gonçalves, J.L.M. & Gonçalves, A.N. Relationships between nursery practices and field performance for eucalyptus plantations in Brazil: a historical overview and its increasing importance. New Forests, 22:19-41, 2001.

Stape, J.L. Production ecology of clonal eucalyptus plantations in northesastern Brazil. Fort Collins, Colorado, Colorado State University, 2002, 225p. (Tese de Ph.D.).

Stewart, H.T.L.; Hopmans, P. & Flinn, D.W. Nutrient accumulation in trees and soil following irigation with municipal effluent in Australia. Environmental Pollution, 63:155-177, 1990.

CAPÍTULO I

DIAGNOSE NUTRICIONAL EM PLANTIOS JOVENS DE EUCALIPTO: INFLUÊNCIA DA IDADE, DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA E DO MANEJO DE ÁGUA E NUTRIENTES

RESUMO: Para que se possa aprimorar o manejo nutricional da cultura do eucalipto, pode-se, de modo complementar à análise de solo, fazer uso de diagnose nutricional com base em análise de tecidos, havendo, assim, a necessidade de se dispor de valores de referência (teores e ou relações entre teores de nutrientes) e de métodos adequados de interpretação de resultados. Assim, este trabalho teve como objetivos: avaliar a influência da idade da planta, da época de amostragem e do manejo dos recursos água e nutrientes nos teores foliares de nutrientes e em suas relações em plantios clonais jovens de *Eucalyptus.* Foram utilizados dados de um experimento de fertirrigação, e dados obtidos em povoamentos clonais comerciais de *Eucalyptus* com um e com dois anos de idade, permitindo a obtenção de valores de referência (normas DRIS, M-DRIS e CND) para o eucalipto em idades jovens para região do Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. No experimento de fertirrigação, instalado no município de Santana do Paraíso, os tratamentos, em número de três, consistiram da aplicação de água e nutrientes (sem fertirrigação – controle, irrigação e fertirrigação) ao solo

(Cambissolo Háplico) das parcelas correspondentes a três espaçamentos (4 x 3; 3 x 3,33 e 3 x 2,5 m) e quatro clones (57, 129 e 2719 – *Eucalyptus grandis*) e 1215 – híbrido de *E. grandis x E. urophylla, "urograndis"*), todas elas tendo recebido fertilização de base como usualmente recomendado. As determinações dos teores foliares de nutrientes foram realizadas nas idades de 5 e 16 (época chuvosa) e 11 e 22 meses (época seca) e nos três tratamentos com água e nutrientes, considerando conjuntamente os quatro clones, nos três espaçamentos de plantios. E, a partir de um banco de dados contendo 164 talhões comerciais de povoamentos clonais de *Eucalyptus*, nas idades de um e de dois anos, foram derivadas normas para estas idades consideradas separadamente (normas específicas) e em conjunto (normas gerais). As normas específicas foram comparadas entre si mediante o teste t. As diagnoses obtidas pela utilização de normas específicas foram comparadas com base na freqüência de diagnoses concordantes do potencial de resposta à adubação, considerando os seguintes critérios de avaliação: a) os nutrientes separadamente, e b) apenas para o nutriente limitante primário por deficiência (p) e por excesso (n). Concluiu-se que os teores foliares de nutrientes e suas relações são sensíveis à idade dos plantios, à época de amostragem, e às alterações no manejo de água e nutrientes, fatores que, portanto, influenciam a diagnose do estado nutricional em plantios jovens de eucalipto.

NUTRITIONAL DIAGNOSIS IN YOUNG EUCALYPT STANDS: INFLUENCE OF AGE, CLIMATIC SEASON, AND WATER AND NUTRIENT MANAGEMENT

ABSTRACT: In order to improve the nutritional management of the eucalypt culture it is possible, besides the soil nutrient analysis, to use nutritional diagnosis based on tissue analysis. Thus, there is a need for reference values (concentrations or rations among nutrient concentration) and adequate methods to interpret the results. Therefore, the present work aims were: to evaluate the influence of plant age, sampling period, and management of water and nutrients on foliar nutrient concentration and their ratios in young clonal eucalypt stands. It was used data from a fertirrigation experiment as well as data from clonal

commercial stands of eucalypt with from one to two years of age. This allowed to obtain reference values (DRIS, M-DRIS and CND norms) to young eucalypt stands in the Rio Doce River Valley, Central-Western region of Minas Gerais State, Brazil. The fertirrigation experiment was installed in the Santana do Paraíso County and consisted of three treatments, namely: control (without irrigation and fertilization), irrigated and fertirrigated (with supplemental water and nutrients). The soil was an acid clayey Cambisol (Inceptisol) to which were planted four eucalypt clones (57, 129 e 2719 – *Eucalyptus grandis*) and 1215 – *E. grandis x E. urophylla, "urograndis"* hybrid)) in three distinct spacing (4 x 3; 3 x 3,33 e 3 x 2,5 m). All plots received the regular basal fertilization used. The determination of foliar nutrient concentration were performed at age of 5 and 16 months (wet season) and 11 and 22 months (dry season) in the treatments with supplemental water and nutrients, but grouping all four clones, at the three planting spacing. Based on a database from 164 commercial clonal stands of eucalypt, from one and two-year old, it was derived the norms for each age separately (specific norms) or jointly (general norms). The specific norms were compared among them using the t test. The diagnoses obtained based on the use specific norms were compared according to the frequency of concordant diagnoses of the fertilization response potential and took into consideration the following criteria: a) nutrients in separate; b) only the limiting primary deficient (p) or in excess (n) nutrient. It was concluded that the foliar nutrient concentrations and their rations are sensitive to the age of the stands, to the sampling period, and to the changes in water and nutrient management. Thus, those factors influence the diagnosis of the nutritional status in young eucalypt stands.

INTRODUÇÃO

A forma tradicional de avaliação do estado nutricional das plantas utiliza o nível crítico, indicado como sendo o teor de um dado nutriente, acima do qual há baixa probabilidade de resposta à sua adição. Outra forma de avaliação do estado nutricional das plantas, que vem sendo aplicado em várias

culturas, é o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) proposto por Beaufils (1973). Por meio deste método os nutrientes são classificados quanto à ordem de limitação, por falta ou por excesso, ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Costa, 1999).

Na aplicação do DRIS são calculados índices que expressam o equilíbrio relativo dos nutrientes numa planta, a partir da comparação de relações duais (N/P, P/K, K/Ca, Ca/Mg, etc) na amostra, com valores padrões ou normas. Essas normas são a média aritmética dos valores das relações duais e seus respectivos desvios-padrão, obtidas de uma população de plantas que, idealmente, represente as condições adequadas ou desejáveis da cultura, denominada população de referência (Alvarez V. & Leite, 1999), cuja escolha é importante para obtenção de resultados satisfatórios.

Além do DRIS, destaca-se, como método bivariado, o DRIS modificado (M-DRIS) (Hallmark et al., 1987), em que se considera o teor dos nutrientes, além das relações duais; e como método multivariado o da Diagnose da Composição Nutricional (CND) (Parent & Dafir, 1992), fundamentado em estudos realizados por Aitchison (1982) relacionados à análise estatística de dados de composição.

A relativa constância das relações duais entre nutrientes, comparativamente ao teor isolado do nutriente, assim como, em relação à idade do tecido e seu teor de água, é a principal premissa para aplicação do DRIS (Beaufils, 1973). Essa premissa tem sido destacada pela proposição de que as normas DRIS podem ser obtidas e usadas, independentemente da cultivar ou da região (Sumner, 1979; Walworth & Sumner, 1987; Payne et al., 1990; Wadt, 1996). Apesar disto, têm sido encontradas diferenças entre normas geradas a partir de populações e locais distintos (normas gerais) (Walworth et al., 1986; Bataglia & Santos, 1990; Dara et al., 1992; Silva et al., 2005), obtendo-se maior exatidão com a utilização de normas específicas, obtidas para cada localidade (Dara et al., 1992; Reis, 2002; Wortmann et al., 1992; Jones JR., 1993; Costa, 1999; Reis Jr., 2001; Silva et al., 2005). Vale ressaltar, que os trabalhos destacados acima, sejam confirmando ou contrapondo tal premissa, foram realizados em condições nas quais a maioria dos fatores ambientais não são controlados, mediante o uso de uma abordagem baseada em populações de

lavouras, como tradicionalmente utilizado no estabelecimento de normas DRIS e de outros métodos tais como M-DRIS e CND.

Como alternativa, as normas poderiam ser obtidas de um menor número de lavouras ou talhões, reconhecidamente superiores em termos de crescimento e produtividade, em consonância com o proposto para cana de açúcar por Reis Jr (2001), inclusive a partir de experimentos em que fatores influentes no crescimento das árvores e na aquisição de nutrientes pelas mesmas fossem controlados.

Fazendo uso da abordagem clássica, populacional, Wadt & Novais (1999), obtiveram normas DRIS, M-DRIS e CND de macro e micronutrientes para o eucalipto, a partir de um banco de dados contendo 1986 árvores, composto de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* sob ampla variação de condições ambientais, nos Estados do Espírito Santo e Sul da Bahia. Silva et al. (2005) obtiveram normas DRIS, M-DRIS e CND para os macronutrientes, exceto o S, em *Eucalyptus grandis* na região Centro-Leste de Minas Gerais. Os dados utilizados nesses trabalhos são derivados de banco de dados denominados de “balanço nutricional pré-corte”, ou seja, são normas obtidas em plantios em idade de corte, que podem não refletir o estado nutricional da planta em uma idade mais jovem, servindo, na realidade, apenas como indicativo de prováveis correções para os plantios posteriores. Como na literatura há escassez de trabalhos que forneçam valores de normas DRIS, M-DRIS e CND para plantios de eucalipto em idades jovens (até dois anos), Silva (2001) destaca que as normas para idades adultas podem ser utilizadas, como uma primeira aproximação, até que haja disponibilidade de valores de referência, por exemplo normas, obtidas em idades jovens.

A utilização da diagnose nutricional com o objetivo de avaliar a efetividade das adubações (implantação e ou manutenção) e orientar a necessidade de adubações complementares, numa cultura como o eucalipto, é mais apropriada quando realizada em plantios jovens, após a realização das respectivas adubações.

A obtenção de valores de referência para idades jovens é importante também para a realização do inventário de qualidade de implantação da floresta, em torno de 12 a 18 meses, no qual a avaliação nutricional assume grande importância. Considerando que a tendência atual é a de que os plantios

sejam efetivados ao longo de todo o ano, cabe indagar sobre o efeito da sazonalidade climática, por exemplo: de precipitação pluviométirica, nos valores de referência.

Assim, este trabalho teve como objetivos: avaliar a influência da idade da planta, da época de amostragem e do manejo dos recursos água e nutrientes nos teores foliares de nutrientes e em suas relações em plantios clonais jovens de *Eucalyptus.*

MATERIAL E MÉTODOS

Teores e relações entre nutrientes obtidos a partir do experimento de fertirrigação

O experimento foi instalado no município de Santana do Paraíso, Estado de Minas Gerais, localizado a 19°18’23’’ S, 42°22’46’’ W e 220 m de altitude, na bacia do Rio Doce, em áreas da Celulose Nipo Brasileira (CENIBRA S.A.).

A classificação climática da região, segundo Köeppen, é do tipo Aw, temperado chuvoso-mesotérmico, com precipitação média anual de 1.163 mm, temperatura média anual de 25,2 ^{o}C, média das temperaturas máximas de 31,5 ^{o}C, médias das temperaturas mínimas de 19,1 ^{o}C e umidade relativa média de 65,2 %.

O solo da área experimental, localizada na posição de encosta, é classificado como Cambissolo Háplico (Menezes, 2005). Foram realizadas análises físicas e químicas em amostras de solo (0 – 20, 20 – 40 e 40 – 60 cm), antes da instalação do experimento (Quadro 1).

Desses clones, para amostragem foliar, visando à análise química, coletou-se uma amostra composta de folhas maduras (totalmente expandidas) do terço médio da copa, nos quatro quadrantes, a partir de cinco árvores, nas idades de 5 e 16 (época chuvosa) e 11 e 22 meses (época seca) e tratamentos com água e nutrientes (Quadro 2).

Os teores foliares de nutrientes obtidos das amostragens realizadas dos 5 aos 22 meses de idade foram submetidos à análise de variância, sendo os efeitos de época de amostragem e o efeito da idade em cada época, bem

como os efeitos dos tratamentos com água e nutrientes (SFI, I e FI), avaliados mediante contrastes. Os contrastes para avaliar o efeito de época de amostragem e de idade em cada época de amostragem foram: C_1 = chuvosa vs seca; C_2 = (5 vs 11 meses) em época chuvosa e C_3 = (16 vs 22 meses) em época seca. Os contrastes para avaliar o efeito dos tratamentos com água e nutrientes foram: C_1 = SFI vs I; C_2 = SFI vs FI e C_3 = I vs FI.

Quadro 1. Caracterização física e química do solo da área experimental

Característica	Profundidade (cm)		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Análise textural (%)			
-Areia grossa	17,10	16,30	21,80
-Areia fina	11,50	10,70	12,90
-Silte	6,00	6,70	6,90
-Argila	65,40	66,60	58,40
Argila dispersa em água (%)	17,80	3,40	45,10
pH em água	4,52	4,44	4,48
P (mg/dm³) [1/]	1,76	1,24	1,10
K (mg/dm³) [1/]	30,50	14,20	11,20
Ca^{2+} ($cmol_c$/dm³) [2/]	0,45	0,17	0,11
Mg^{2+} ($cmol_c$/dm³) [2/]	0,14	0,09	0,08
Na (mg/dm³) [2/]	5,00	3,60	3,00
Al^{3+} ($cmol_c$/dm³) [2/]	0,96	0,92	0,74
S (mg/dm³) [3/]	54,50	118,50	149,30
Zn (mg/dm³) [1/]	0,52	0,27	0,11
Cu (mg/dm³) [1/]	2,09	2,35	2,15
Fe (mg/dm³) [1/]	59,80	50,40	42,40
Mn (mg/dm³) [1/]	39,10	16,90	12,50
B (mg/dm³) [4/]	0,28	0,20	0,14
SB ($cmol_c$/dm³)	0,69	0,31	0,23
t ($cmol_c$/dm³)	1,65	1,24	0,97
m (%)	62,20	70,30	70,60
M.O. (dag/dm^3)	1,80	1,17	0,94

pH = relação 1:2,5; [1/]Extrator Mehlich-1; [2/]Extrator KCl 1mol/L; [3/]Extrator $Ca(H_2PO_4)_2$, 500 mg/L de P, em ácido acético 2 mol/L (Chesnin & Yien, 1950);[4/]Extrator água quente; SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+; t = SB + Al^{3+}; m = 100 Al^{3+}/ t; M.O. = 1,724 x C.O. (EMBRAPA, 1997).

Quadro 2. Descrição dos tratamentos com água e nutrientes

Tratamentos	Fertilização	Irrigação suplementar
	---------- % ----------	
SFI	Nutricalc[1/] (35 m^3/ha.ano)	Sem
I	Nutricalc (35 m^3/ha.ano)	Com (100 % ETc)
FI	Nutricalc (60 m^3/ha.ano)	Com (100 % ETc)

[1/]Barros et al. (1995); ETc = evapotranspiração da cultura.

Normas DRIS, M-DRIS e CND obtidas a partir de povoamentos clonais

A partir de um banco de dados, contendo 164 talhões de clones de *Eucalyptus*, com idade, em torno de um e de dois anos, foram obtidas normas DRIS, M-DRIS e CND para a região do Vale do Rio Doce, em áreas da Celulose Nipo Brasileira (CENIBRA S.A.). As condições de manejo, o material amostrado e material genético dos plantios florestais foram semelhantes.

Para a obtenção dessas normas utilizaram-se os dados de produtividade (DAP/ano) e teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B em povoamentos clonais de *Eucalyptus,* com idade em torno de um e de dois anos. Os dados de produtividade foram obtidos a partir da medição do DAP médio de uma parcela composta por oitenta plantas. Para amostragem do tecido foliar coletou-se uma amostra composta de folhas maduras (totalmente expandidas) do terço médio da copa, nos quatro quadrantes, de cinco árvores. Amostras de material vegetal de cada componente das árvores abatidas, após secagem e moagem, foram mineralizadas por via úmida, mediante mistura sulfúrica (N) e dos ácidos nítrico e perclórico (P e K), determinando-se, nos extratos, os teores de N (método Kjeldahl, conforme Tedesco et al., 1985), P (colorimetria) e K (fotometria de chama), com base nos quais e no peso da matéria seca de cada componente foram obtidos os respectivos conteúdos.

A partir desses dados originaram-se as “normas específicas”, definidas como aquelas obtidas a partir de populações com condições locais, idade ou época de amostragem semelhantes, estratificando-se as populações em idades de um (n = 64) e de dois anos (n = 100 talhões). Para cada idade, inicialmente, a população de talhões foi estratificada por idade, em intervalos de 0,2 anos contados a partir da menor idade. Para cada classe de idade, calcularam-se a média e o desvio-padrão dos dados de DAP por ano. Posteriormente, fez-se a subdivisão da população em talhões de baixa e de alta produtividade, sendo esta última a população de referência, definida como sendo maior que a média + 0,5 desvio-padrão.

Para obtenção das “normas gerais”, definidas como aquelas obtidas a partir de populações com diferentes condições locais, idade ou época de amostragem, em plantios jovens, considerou-se o conjunto das idades um e dois anos, num total de 164 talhões. Para subdivisão da população em povoamentos de alta e baixa produtividade realizou-se o mesmo procedimento utilizado para as “normas específicas”.

As normas obtidas foram aquelas utilizadas pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação - DRIS (Beaufils, 1973), pelo DRIS modificado – M-DRIS (Hallmark et al., 1987) e pelo método da Diagnose da Composição Nutricional – CND (Parent & Dafir, 1992). Essas normas, todas referentes à população de referência, consistiram em: para o DRIS – a média e o desvio-padrão de todas as relações duais entre os nutrientes considerados; para o M-DRIS – a média e o desvio-padrão dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B e de todas as suas relações duais; para o método CND – a média e o desvio-padrão das variáveis multinutrientes zN, zP, zK, ... zB, além de g(x) (Parent & Dafir, 1992), calculadas como:

$g(x) = (N \times P \times K \ldots B \times R)^{(1/D)}$ e $z_i = \ln [(x_i / g(x)]$ em que,

g(x) = média geométrica da composição nutricional;

N, P, K ... e B = teores dos respectivos nutrientes (g/kg);

R = valor do complemento para 1000 g/kg de matéria seca em relação à soma de N, P, K ... e B;

D = número dos nutrientes envolvidos na diagnose, incluindo o complemento (R);

z_i = variável multinutriente; e

x_i = teor do nutriente para o qual se calcula a variável multinutriente.

Após a obtenção das referidas normas realizaram-se comparações entre as normas de cada idade “normas específicas” (um vs dois anos) e entre estas, e aquelas obtidas para o conjunto das idades “normas gerais” (um vs Conjunto) e (dois vs Conjunto), por meio do teste t. Inicialmente, aplicou-se o teste F para verificar a existência de homogeneidade de variâncias entre as populações. Para populações com variâncias homogêneas, o teste t foi aplicado utilizando a seguinte fórmula:

$$t = \frac{\overline{X} - \overline{Y}}{\sqrt{s_c^2\left(\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}\right)}} \qquad s_c^2 = \frac{(n_x - 1)s_x^2 + (n_y - 1)s_y^2}{n_x + n_y - 2}$$

com $(n_x + n_y - 2)$ graus de liberdade, em que,

$\overline{X} - \overline{Y}$ = normas dos respectivos métodos de diagnose (DRIS, M-DRIS e CND) das populações ($\overline{X}$ e $\overline{Y}$) utilizadas em determinada comparação;

s_x^2 e s_y^2 = variância das normas das populações (x e y) utilizadas na comparação;

s_c^2 = variância comum entre as populações que estão sendo comparadas;

n_x e n_y = número de talhões das respectivas populações (x e y) utilizadas na comparação.

Para populações com variâncias heterogêneas, aplicou-se a seguinte fórmula:

$$t = \frac{\overline{X} - \overline{Y}}{\sqrt{s_c^2\left(\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}\right)}}$$, o valor do grau de liberdade é dado por n^* em que:

$$n^* = \frac{\left(\frac{s_x^2}{n_x} + \frac{s_y^2}{n_y}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_x^2}{n_x}\right)^2}{n_x - 1} + \frac{\left(\frac{s_y^2}{n_y}\right)^2}{n_y - 1}}$$

Foi também realizada a diagnose do estado nutricional pelos métodos DRIS (Beaufils, 1973) e M-DRIS (Hallmark et al., 1987), sendo consideradas todas as relações (formas direta e inversa), e pelo método CND, conforme Parent & Dafir (1992).

No cálculo das funções DRIS e M-DRIS, utilizaram-se a fórmula de Jones (1981) da seguinte forma:

f(A/B) = 10 [(A/B) – (a/b)] / s

em que, 10 = coeficiente de sensibilidade (Black, 1993); A/B = relação dual entre as concentrações (g/kg) dos nutrientes “A” e “B” da subpopulação sob diagnose; a/b = relação dual entre as concentrações (g/kg) dos nutrientes “a” e “b” da subpopulação de referência; e s = desvio-padrão da relação dual da subpopulação de referência.

A partir dos valores de todas as funções DRIS realizou-se o cálculo do índice DRIS para cada nutriente, utilizando a seguinte fórmula:

$I_A = \bar{f}$ = [f(A/B) - f(B/A) + f(A/C) - f(C/A) + ... - f(N/A)] / n

em que, I_A = índice DRIS do nutriente; $\bar{f}$ = média das funções DRIS; f(A/B) e f(B/A) = funções DRIS nas formas direta e inversa, respectivamente; e n = número de funções DRIS (f).

Posteriormente, somando, em módulo, os índices dos nutrientes e dividindo-se esse valor pelo número de nutrientes envolvidos na análise,

obteve-se o índice de equilíbrio nutricional médio (IEN_m) (Wadt et al., 1998) nas diferentes idades.

Para o cálculo das funções e dos índices M-DRIS, além das relações duais, foram considerados os teores dos nutrientes. Desta forma, de modo análogo à obtenção dos índices DRIS, mediante a média das funções dos teores dos nutrientes envolvidos na diagnose, obteve-se, também, o índice M-DRIS de matéria seca.

No cálculo dos índices Iz_i para o CND, utilizou-se a seguinte fórmula:

$Iz_i = (Z_i – z_i) / sz_i,$

em que, Iz_i = índice das variáveis multinutrientes; Z_i = variável multinutriente da amostra sob diagnose; z_i = média da variável multinutriente na subpopulação de referência; e sz_i = desvio-padrão da variável multinutriente na subpopulação de referência.

De modo análogo ao realizado pelo DRIS, calculou-se o IEN_m (Wadt et al., 1998) para o CND nas diferentes idades.

Para os métodos DRIS e M-DRIS, os cálculos das funções e dos índices foram feitos com o auxílio de rotinas desenvolvidas em Excel 2003. A obtenção de zN até zB, bem como dos índices CND para os nutrientes, foi também realizada usando o Excel 2003.

Para a interpretação dos índices DRIS, M-DRIS e CND (Quadro 3), incorporou-se o conceito de potencial de resposta à adubação (PRA) (Wadt et al., 1998), que classifica os nutrientes dos talhões de baixa produtividade segundo o potencial de resposta à adubação em respostas: positiva (p), positiva ou nula (pz), nula (z), negativa ou nula (nz) e negativa (n). Em se tratando da interpretação dos índices M-DRIS, calculou-se o índice M-DRIS ajustado, que correspondeu à diferença entre o índice de determinado nutriente e o índice da matéria seca (IMS).

Para avaliar a influência da idade dos plantios no resultado da diagnose do estado nutricional os métodos DRIS, M-DRIS e CND foram comparados a partir de dois critérios também adotados por Silva et al. (2004). Esses critérios comparam a freqüência de diagnoses concordantes (FDC) do potencial de resposta à adubação (PRA) considerando: a) os nutrientes separadamente, e b) apenas para o nutriente limitante primário por deficiência (p) ou por excesso (n).

Quadro 3. Interpretação dos índices DRIS, M-DRIS ajustado, e CND, na diagnose nutricional em plantios clonais de *Eucalyptus*, considerando o potencial de resposta à adubação (PRA)

Índice DRIS, M-DRIS ajustado, CND	Módulo do Índice	+ LF ou + LE	PRA
< 0	$> IEN_m$	Sim	p
< 0	$> IEN_m$	Não	pz
> 0	$> IEN_m$	Sim	n
> 0	$> IEN_m$	Não	nz
≤ 0	$\leq IEN_m$	Independente	z
≥ 0	$\leq IEN_m$	Independente	z

Índice M-DRIS ajustado = índice do nutriente – índice de matéria seca; IEN_m = índice de equilíbrio nutricional médio; + LF = o mais limitante por falta; + LE = o mais limitante por excesso; positiva (p); positiva ou nula (pz); negativa (n); negativa ou nula (nz) e nula (z). Adaptado de Wadt (1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores e relações entre nutrientes

Os teores foliares e as relações duais entre os nutrientes não apresentaram constância quando obtidos em diferentes épocas (C_1 = chuvosa vs seca) ou diferentes idades (C_2 = 5 vs 11 meses) em época chuvosa ou em época seca (C_3 = 16 vs 22 meses) (Quadro 4). Para os contrastes C_1, C_2 e C_3 a percentagem de valores significativamente semelhantes ($p < 0,10$) foi: 36,4, 45,5 e 45,5 % (para teores foliares), e 43,8, 45,4 e 50,0 % (para relações duais), respectivamente. Esses percentuais indicam que ambos, teores e relações duais são sensíveis à época de amostragem e à idade (em época chuvosa ou em época seca), dependendo do nutriente em questão. Guedes et al. (2003), com o objetivo de avaliar se os teores de macro e micronutrientes em folhas de eucalipto são alterados pela aplicação de biossólidos, constataram que o teor foliar de P foi afetado, significativamente, pela época de coleta e pelos tratamentos. Estes resultados divergem da principal premissa para utilização de métodos de diagnoses, por exemplo, DRIS, que é a relativa constância das relações entre nutrientes, (relações duais), comparativamente aos teores de cada nutriente, considerado isoladamente, como também em relação a idade do tecido (Beaufils, 1973).

Quadro 4. Teores (macro: g/kg; micronutrientes: mg/kg) e relações duais entre nutrientes em folhas de eucalipto sob efeito da época de amostragem e da idade dos plantios em cada época de amostragem

Variável	Época			Idade					
	Chuvosa (Ch)	Seca (S)	C_1	5 (Ch)	11 (Ch)	C_2	16 (S)	22 (S)	C_3
N	23,5457	19,3905	**	25,7622	21,3293	**	20,5151	18,2659	ns
P	0,9847	1,0946	**	1,0815	0,8880	*	0,9870	1,2022	*
K	9,5765	8,2600	**	9,2688	9,8842	ns	7,1168	9,4033	**
Ca	5,5228	7,5349	**	4,6601	6,3855	*	8,8977	6,1722	**
Mg	1,8701	2,3665	**	1,9900	1,7502	ns	1,7255	3,0076	**
S	0,7784	0,8181	ns	0,9188	0,6380	*	0,7495	0,8867	ns
Zn	13,8292	14,2464	ns	12,8425	14,8158	ns	13,5392	14,9535	ns
Cu	8,4959	6,7663	**	7,1002	9,8917	*	7,0104	6,5221	ns
Fe	155,0982	565,7140	**	121,5202	188,6763	ns	454,1671	677,2608	**
Mn	718,6621	802,4835	ns	664,1117	773,2125	ns	930,4648	674,5023	*
B	55,8075	58,6841	ns	35,4304	76,1846	**	50,6768	66,6913	ns
N/P	24,0501	18,0702	**	24,0125	24,0877	ns	20,8393	15,3011	**
N/K	2,5452	2,5063	ns	2,8726	2,2177	**	3,0098	2,0029	**
N/Ca	4,6514	2,8419	**	5,6979	3,6050	**	2,4976	3,1861	*
N/Mg	12,8271	9,2312	**	13,1847	12,4695	ns	12,2233	6,2391	**
N/S	31,6091	24,3617	**	29,0931	34,1252	ns	27,8018	20,9215	ns
N/Zn	1,8002	1,4843	o	2,0984	1,5020	*	1,6977	1,2709	o
N/Cu	3,0438	3,0926	ns	3,8473	2,2402	**	2,9757	3,2095	ns
N/Fe	0,1697	0,0410	**	0,2197	0,1198	**	0,0535	0,0285	*
N/Mn	0,0400	0,0337	ns	0,0472	0,0328	o	0,0323	0,0351	ns
N/B	0,5409	0,3651	*	0,7817	0,3001	**	0,4304	0,2997	o
P/K	0,1058	0,1389	**	0,1194	0,0922	*	0,1458	0,1320	o
P/Ca	0,1933	0,1630	**	0,2371	0,1496	**	0,1195	0,2065	**
P/Mg	0,5366	0,4978	ns	0,5539	0,5194	ns	0,5876	0,4080	*
P/S	1,3248	1,3552	ns	1,2247	1,4250	ns	1,3361	1,3743	ns
P/Zn	0,0751	0,0829	ns	0,0878	0,0624	*	0,0822	0,0835	ns
P/Cu	0,1282	0,1771	**	0,1630	0,0934	**	0,1435	0,2107	**
P/Fe	0,0071	0,0022	**	0,0092	0,0050	**	0,0026	0,0019	o
P/Mn	0,0017	0,0019	ns	0,0020	0,0014	o	0,0015	0,0023	*
P/B	0,0227	0,0200	ns	0,0327	0,0126	**	0,0206	0,0195	ns
K/Ca	1,8365	1,2264	**	2,0345	1,6385	**	0,8433	1,6095	**
K/Mg	5,3243	3,7123	**	4,7561	5,8926	ns	4,2236	3,2011	o
K/S	13,1763	10,2442	**	10,4416	15,9109	**	9,6862	10,8023	ns
K/Zn	0,7178	0,6056	o	0,7549	0,6807	ns	0,5689	0,6423	ns
K/Cu	1,2428	1,3568	ns	1,4253	1,0604	*	1,0437	1,6698	**
K/Fe	0,0676	0,0167	**	0,0802	0,0550	*	0,0189	0,0146	ns
K/Mn	0,0166	0,0149	ns	0,0178	0,0153	ns	0,0116	0,0183	**
K/B	0,2115	0,1512	*	0,2849	0,1382	**	0,1496	0,1528	ns
Ca/Mg	3,0970	3,6863	ns	2,3858	3,8082	*	5,3032	2,0694	**
Ca/S	7,8419	9,6374	**	5,3335	10,3502	**	12,1823	7,0924	**
Ca/Zn	0,4103	0,5752	*	0,3758	0,4448	ns	0,7291	0,4214	*
Ca/Cu	0,6962	1,2097	**	0,7111	0,6812	ns	1,3138	1,1057	ns

Continua ....

Variável	Época			Idade					
	Chuvosa (Ch)	Seca (S)	C_1	5 (Ch)	11 (Ch)	C_2	16 (S)	22 (S)	C_3
Ca/Fe	0,0372	0,0158	**	0,0395	0,0349	ns	0,0222	0,0094	**
Ca/Mn	0,0093	0,0123	*	0,0087	0,0098	ns	0,0132	0,0114	ns
Ca/B	0,1133	0,1412	**	0,1388	0,0879	**	0,1830	0,0993	**
Mg/S	2,5395	2,8912	ns	2,2601	2,8190	*	2,3413	3,4412	*
Mg/Zn	0,1446	0,1739	o	0,1637	0,1255	ns	0,1400	0,2078	*
Mg/Cu	0,2439	0,3936	**	0,3045	0,1833	ns	0,2547	0,5326	**
Mg/Fe	0,0135	0,0046	**	0,0170	0,0099	**	0,0046	0,0046	ns
Mg/Mn	0,0033	0,0044	o	0,0038	0,0028	ns	0,0029	0,0059	*
Mg/B	0,0427	0,0434	ns	0,0603	0,0250	*	0,0374	0,0494	ns
S/Zn	0,0598	0,0618	ns	0,0749	0,0447	*	0,0623	0,0612	ns
S/Cu	0,1019	0,1322	*	0,1372	0,0667	**	0,1089	0,1555	*
S/Fe	0,0057	0,0017	**	0,0079	0,0035	**	0,0020	0,0014	ns
S/Mn	0,0013	0,0014	ns	0,0017	0,0010	*	0,0012	0,0017	o
S/B	0,0185	0,0150	ns	0,0281	0,0089	**	0,0157	0,0142	ns
Zn/Cu	1,7589	2,3185	*	1,9272	1,5907	ns	1,9779	2,6590	o
Zn/Fe	0,0954	0,0310	**	0,1083	0,0824	*	0,0388	0,0231	o
Zn/Mn	0,0232	0,0259	ns	0,0233	0,0231	ns	0,0235	0,0283	ns
Zn/B	0,2931	0,2693	ns	0,3815	0,2046	*	0,2978	0,2409	ns
Cu/Fe	0,0574	0,0141	**	0,0592	0,0556	ns	0,0185	0,0096	ns
Cu/Mn	0,0135	0,0114	o	0,0122	0,0149	o	0,0106	0,0123	ns
Cu/B	0,1768	0,1252	*	0,2138	0,1399	*	0,1461	0,1042	ns
Fe/Mn	0,2485	0,9229	**	0,2115	0,2855	ns	0,6017	1,2440	*
Fe/B	3,1068	9,9670	**	3,5860	2,6277	ns	9,0387	10,8953	ns
Mn/B	15,1672	14,4522	ns	19,4816	10,8528	**	18,1723	10,7321	**

C_1 = chuvosa vs seca; C_2 = (5 vs 11 meses) em época chuvosa e C_3 = (16 vs 22 meses) em época seca; ns, o, * e **: não-significativo, ($p<0,10$), ($p<0,05$) e ($p<0,01$) pelo test t.

Portanto, valores de referência a serem usados na interpretação de análises foliares com vistas à avaliação do estado nutricional de árvores de eucalipto, sejam teores ou relações entre nutrientes (normas), além de serem influenciados pelo local (Silva et al., 2005), e pela idade são também influenciados pela época de amostragem (chuvosa ou seca).

Tratamentos com água e nutrientes

Considerando que os teores foliares de nutrientes e as respectivas relações duais são sensíveis a fatores tais como local, idade e época de amostragem, pode-se esperar que eles reflitam as diferenças de produtividade em resposta à adição de água e nutrientes. Neste trabalho, os teores foliares e as relações duais entre nutrientes apresentaram diferenças para os seguintes

contrastes: C_1 = SFI vs I; C_2 = SFI vs FI e C_3 = I vs FI (Quadro 5). Para os contrastes C_1, C_2 e C_3 a percentagem de valores significativamente semelhantes ($p < 0,10$), foi: 27,28, 63,64 e 45,46 % (para teores foliares), e 26,57, 43,75 e 51,57 % (para relações duais), respectivamente. Esses percentuais indicam que ambos, teores e relações duais dos nutrientes, são sensíveis aos tratamentos com água e nutrientes, dependendo do nutriente e do tratamento em questão. Ao contrário do que a literatura registra quanto a constância das relações entre nutrientes, essas foram, em média, mais sensíveis em identificar variações, quanto ao manejo da água e dos nutrientes, do que os teores isoladamente. Portanto, os valores de referência, com base em teores e ou relações entre nutrientes, também refletem o histórico das práticas de manejo adotadas, uma vez que estas podem influenciar a disponibilidade e os fluxos de água e nutrientes no solo para as árvores.

Quadro 5. Teores (macro: g/kg; micronutrientes: mg/kg) e relações duais entre nutrientes em folhas de eucalipto sob efeito dos tratamentos com água e nutrientes (SFI: controle; I: irrigação; FI: fertirrigação)

Variável	Tratamentos			Contrastes		
	SFI	I	FI	C_1	C_2	C_3
N	21,2042	21,6491	21,5522	ns	ns	ns
P	0,9895	1,1093	1,0211	*	ns	*
K	9,2792	7,6415	8,9963	**	ns	**
Ca	5,9301	7,6667	5,9796	**	ns	**
Mg	2,2134	2,1681	1,9262	ns	**	**
S	0,8302	0,7828	0,7926	ns	ns	ns
Zn	14,4443	13,2701	13,7292	o	ns	ns
Cu	7,5956	8,7167	7,0161	*	ns	**
Fe	302,1695	392,7339	353,2865	**	o	ns
Mn	618,2659	863,4578	824,0109	**	*	ns
B	52,1671	61,2725	62,4923	*	*	*
N/P	21,7410	19,9598	21,3693	**	ns	**
N/K	2,3471	2,9835	2,4929	**	ns	**
N/Ca	3,9125	3,3336	4,0782	**	ns	**
N/Mg	10,1925	10,9962	11,8846	**	**	**
N/S	26,4930	28,7344	28,2984	*	*	ns
N/Zn	1,5608	1,7156	1,7296	*	*	ns
N/Cu	3,0067	2,6989	3,2899	**	o	**
N/Fe	0,1232	0,0939	0,1048	**	**	ns
N/Mn	0,0450	0,0283	0,0305	**	*	ns
N/B	0,5115	0,4063	0,4197	**	**	ns
P/K	0,1100	0,1536	0,1174	**	ns	**
P/Ca	0,1820	0,1657	0,1895	*	ns	**
P/Mg	0,4636	0,5422	0,5508	**	**	ns
P/S	1,2416	1,4358	1,3274	**	o	*
P/Zn	0,0728	0,0878	0,0811	**	**	*
P/Cu	0,1452	0,1430	0,1594	ns	ns	o
P/Fe	0,0053	0,0043	0,0046	**	*	ns
P/Mn	0,0022	0,0015	0,0014	*	*	ns

Continua.....

Variável	Tratamentos			Contrastes		
	SFI	I	FI	C_1	C_2	C_3
P/B	0,0240	0,0202	0,0191	**	**	ns
K/Ca	1,6910	1,1339	1,6654	**	ns	**
K/Mg	4,4209	3,7838	4,9063	**	*	**
K/S	11,8099	10,1432	11,8869	**	ns	**
K/Zn	0,6751	0,5945	0,6922	**	ns	**
K/Cu	1,3328	0,9580	1,4082	**	ns	**
K/Fe	0,0519	0,0317	0,0416	**	**	**
K/Mn	0,0205	0,0099	0,0125	**	**	ns
K/B	0,2154	0,1391	0,1650	**	**	**
Ca/Mg	2,8558	3,8125	3,3888	**	**	**
Ca/S	7,9103	10,0715	7,9590	**	ns	**
Ca/Zn	0,4259	0,6165	0,4763	**	ns	**
Ca/Cu	0,8706	1,0115	0,9262	o	ns	**
Ca/Fe	0,0307	0,0265	0,0236	**	**	**
Ca/Mn	0,0133	0,0094	0,0080	*	**	ns
Ca/B	0,1361	0,1342	0,1060	ns	**	*
Mg/S	2,8210	2,7916	2,4820	ns	*	*
Mg/Zn	0,1627	0,1693	0,1506	ns	ns	*
Mg/Cu	0,3352	0,2866	0,3061	o	ns	ns
Mg/Fe	0,0109	0,0078	0,0086	**	**	ns
Mg/Mn	0,0051	0,0030	0,0027	**	**	ns
Mg/B	0,0527	0,0381	0,0358	**	**	ns
S/Zn	0,0616	0,0620	0,0630	ns	ns	ns
S/Cu	0,1191	0,1026	0,1240	*	ns	**
S/Fe	0,0048	0,0030	0,0036	**	**	*
S/Mn	0,0018	0,0010	0,0011	**	**	ns
S/B	0,0208	0,0141	0,0149	**	**	ns
Zn/Cu	2,0894	1,7008	2,1218	**	ns	*
Zn/Fe	0,0775	0,0547	0,0603	**	**	ns
Zn/Mn	0,0313	0,0177	0,0195	**	**	ns
Zn/B	0,3362	0,2434	0,2459	**	**	ns
Cu/Fé	0,0435	0,0379	0,0312	*	**	**
Cu/Mn	0,0154	0,0112	0,0097	*	**	ns
Cu/B	0,1699	0,1558	0,1291	ns	**	*
Fe/Mn	0,7026	0,5195	0,4480	o	*	ns
Fe/B	6,9354	6,5472	5,5913	ns	**	*
Mn/B	14,5030	15,7102	14,8815	ns	ns	ns

C_1 = SFI vs I; C_2 = SFI vs FI e C_3 = I vs FI; ns, o, * e **: não-significativo, (p<0,10), (p<0,05) e (p<0,01) pelo teste t.

Normas DRIS, M-DRIS e CND para plantios com um e com dois anos de idade

A partir dos dados da subpopulação de alta produtividade foram geradas as normas para as idades de um e de dois anos (específicas) e para

as idades em conjunto (gerais). Na comparação entre as normas específicas (1 vs 2 anos) pelo teste F, considerando o nível de probabilidade até 10 %, a percentagem de casos em que as mesmas foram semelhantes foi, em média, 30 %; enquanto, na comparação entre normas específicas e gerais (1 vs C e 2 vs C), esta percentagem foi, em média, 55 % (Quadro 6).

A concentração média dos nutrientes aumentou de um para dois anos de idade, com exceção para S e Fe. A concentração de um nutriente no tecido de uma planta corresponde ao resultado numérico da análise química, representado pelo quociente entre a quantidade de nutriente acumulada no tecido num dado intervalo de tempo (Ingestad, 1992). A variação na concentração dos nutrientes é resultante de diferenças nas taxas de acúmulo de biomassa e de nutrientes. Portanto, considerando que a taxa de absorção de nutrientes não acompanha a elevada taxa de incremento em biomassa, na fase inicial de crescimento do eucalipto, espera-se que com o aumento da idade ocorra uma diminuição nos teores dos nutrientes. A literatura destaca que a concentração de elementos móveis na folha diminui com a idade; enquanto a de elementos imóveis aumenta.

Os nutrientes que apresentaram maior diferença entre as concentrações de um e de dois anos foram: B (70 %) e S (55 %). No caso específico do B essa diferença parece não está relacionada apenas com fator idade, e sim, com o manejo da fertilização adotado pela empresa. A época de aplicação de B recomendada pela empresa é, dependendo da época de plantio, aproximadamente, dois anos após o plantio, o que coincide com o alto teor foliar médio de B nos plantios de dois anos de idade. As elevadas diferenças nas concentrações de ambos nutrientes refletiram diretamente no resultado da comparação das respectivas relações duais (DRIS) e multivariadas (CND), sendo constatadas diferenças em, praticamente, 100 % dos casos em que pelo menos um dos nutrientes participava da relação.

Isto indica que não existe constância nos valores das relações duais (DRIS e M-DRIS) e multivariadas (CND) dos nutrientes em árvores de eucalipto, obtidos em povoamentos com um ou dois anos de idade. Constatam-se, também, diferenças na comparação entre normas específicas (um ou dois anos) e normas gerais (conjunto das idades, um e dois anos). Silva et al. (2005) encontraram resultados semelhantes comparando relações

Quadro 6. Comparação entre normas específicas e entre estas e as normas gerais (para os métodos DRIS, M-DRIS e CND, em folhas de povoamentos clonais de *Eucalyptus*, subpopulação de alta produtividade[1/], na região do Vale do Rio Doce, MG

Variável	Método	Normas específicas [2/] (por idade)					Normas gerais [3/] (plantios jovens)			
		1 (n[4/] = 24)		2 (n = 21)			Conjunto (n = 45)			
		$\bar{Y}$ [5/]	s[6/]	$\bar{Y}$	s	1 vs 2	$\bar{Y}$	s	1 vs C	2 vs C
N/P		21,5424	2,9055	15,5638	4,3976	**	18,7524	4,7225	**	*
N/K		2,7236	0,7822	2,2608	0,4327	*	2,5076	0,6778	ns	ns
N/Ca		3,1790	0,9544	2,9411	1,2889	ns	3,0680	1,1161	ns	ns
N/Mg		12,6974	3,1460	8,2083	2,4180	**	10,6025	3,6001	*	**
N/S		12,2848	2,5861	30,2777	7,5530	**	20,6815	10,5752	**	**
N/Zn		1,8497	0,3612	1,8250	0,3388	ns	1,8382	0,3472	ns	ns
N/Cu		4,2802	1,3318	3,4959	1,2031	*	3,9142	1,3197	ns	ns
N/Fe		0,1039	0,0660	0,1541	0,0868	*	0,1273	0,0796	ns	ns
N/Mn		0,0282	0,0172	0,0321	0,0220	ns	0,0300	0,0195	ns	ns
N/B		1,4554	0,3794	0,5102	0,2346	**	1,0143	0,5724	**	**
P/N		0,0472	0,0064	0,0690	0,0189	**	0,0574	0,0175	**	*
P/K		0,1286	0,0407	0,1544	0,0452	*	0,1407	0,0443	ns	ns
P/Ca		0,1535	0,0612	0,1952	0,0878	o	0,1730	0,0768	ns	ns
P/Mg		0,6064	0,1965	0,5508	0,1783	ns	0,5805	0,1882	ns	ns
P/S		0,5803	0,1339	2,0539	0,6359	**	1,2680	0,8636	**	**
P/Zn		0,0864	0,0155	0,1221	0,0271	**	0,1031	0,0280	**	*
P/Cu		0,2039	0,0771	0,2421	0,1106	ns	0,2217	0,0951	ns	ns
P/Fe		0,0052	0,0038	0,0105	0,0065	**	0,0077	0,0058	*	o
P/Mn		0,0014	0,0009	0,0022	0,0016	*	0,0018	0,0013	ns	ns
P/B		0,0692	0,0216	0,0343	0,0179	**	0,0529	0,0264	*	**
K/N		0,4005	0,1281	0,4595	0,0968	ns	0,4280	0,1171	ns	ns
K/P	DRIS[7/]	8,6333	3,0993	7,0798	2,2362	o	7,9083	2,8122	ns	ns
K/Ca		1,2141	0,3487	1,2674	0,4636	ns	1,2390	0,4025	ns	ns
K/Mg		4,9719	1,6798	3,7318	1,2048	**	4,3932	1,5894	ns	ns
K/S		4,8663	1,5946	13,5328	3,1859	**	8,9107	5,0061	**	**
K/Zn		0,7179	0,1997	0,8319	0,2102	o	0,7711	0,2103	ns	ns
K/Cu		1,6820	0,6950	1,5861	0,5886	ns	1,6373	0,6421	ns	ns
K/Fe		0,0399	0,0256	0,0674	0,0310	**	0,0527	0,0311	ns	o
K/Mn		0,0117	0,0093	0,0138	0,0079	ns	0,0127	0,0086	ns	ns
K/B		0,5709	0,1976	0,2198	0,0758	**	0,4071	0,2332	**	**
Ca/N		0,3401	0,0937	0,4575	0,3372	ns	0,3949	0,2445	ns	ns
Ca/P		7,4699	2,6805	6,6443	3,8616	ns	7,0846	3,2722	ns	ns
Ca/K		0,8865	0,2420	0,9462	0,5242	ns	0,9144	0,3955	ns	ns
Ca/Mg		4,1661	1,0689	3,7946	3,2753	ns	3,9927	2,3470	ns	ns
Ca/S		4,1875	1,5598	12,7870	8,4026	**	8,2006	7,2241	**	*
Ca/Zn		0,6267	0,2133	0,8324	0,6139	ns	0,7227	0,4537	ns	ns
Ca/Cu		1,4221	0,5042	1,7276	1,8084	ns	1,5647	1,2818	ns	ns
Ca/Fe		0,0323	0,0187	0,0645	0,0462	**	0,0473	0,0376	*	ns
Ca/Mn		0,0090	0,0044	0,0117	0,0073	ns	0,0102	0,0060	ns	ns
Ca/B		0,4863	0,1612	0,1857	0,0583	**	0,3460	0,1952	**	**
Mg/N		0,0829	0,0182	0,1320	0,0375	**	0,1058	0,0378	**	*
Mg/P		1,8029	0,5244	1,9969	0,6395	ns	1,8934	0,5824	ns	ns
Mg/K		0,2211	0,0673	0,2961	0,0981	**	0,2561	0,0904	ns	ns
Mg/Ca		0,2537	0,0578	0,3838	0,1831	**	0,3144	0,1459	*	ns

Continua ...

Variável	Método	Normas específicas [2/] (por idade)					Normas gerais [3/] (plantios jovens)			
		1 (n[4/] = 24)		2 (n = 21)			Conjunto (n = 45)			
		$\bar{Y}$ [5/]	s[6/]	$\bar{Y}$	s	1 vs 2	$\bar{Y}$	s	1 vs C	2 vs C
Mg/S		1,0268	0,3582	3,8573	1,1120	**	2,3477	1,6336	**	**
Mg/Zn		0,1539	0,0506	0,2352	0,0646	**	0,1918	0,0702	*	*
Mg/Cu		0,3459	0,1063	0,4435	0,1458	*	0,3914	0,1342	ns	ns
Mg/Fe		0,0084	0,0058	0,0197	0,0124	**	0,0137	0,0110	*	o
Mg/Mn		0,0023	0,0013	0,0041	0,0026	**	0,0032	0,0022	*	ns
Mg/B		0,1212	0,0441	0,0679	0,0371	**	0,0963	0,0487	*	*
S/N		0,0848	0,0176	0,0358	0,0124	**	0,0620	0,0291	**	**
S/P		1,8362	0,5262	0,5497	0,2355	**	1,2358	0,7689	**	**
S/K		0,2304	0,0866	0,0783	0,0207	**	0,1595	0,1000	**	**
S/Ca		0,2689	0,0916	0,0973	0,0358	**	0,1888	0,1117	**	**
S/Mg		1,0801	0,3368	0,2815	0,0877	**	0,7074	0,4744	**	**
S/Zn		0,1555	0,0411	0,0639	0,0206	**	0,1127	0,0567	**	**
S/Cu		0,3522	0,1004	0,1232	0,0548	**	0,2453	0,1413	**	**
S/Fe		0,0084	0,0051	0,0052	0,0026	**	0,0069	0,0044	ns	*
S/Mn		0,0024	0,0014	0,0011	0,0006	**	0,0018	0,0013	ns	**
S/B		0,1232	0,0431	0,0171	0,0066	**	0,0737	0,0621	**	**
Zn/N		0,5623	0,1195	0,5740	0,1608	ns	0,5677	0,1388	ns	ns
Zn/P		11,9838	2,4899	8,6092	2,0812	**	10,4089	2,8475	*	*
Zn/K		1,4817	0,3509	1,2828	0,3505	o	1,3889	0,3609	ns	ns
Zn/Ca		1,7728	0,5802	1,6818	0,8184	ns	1,7303	0,6946	ns	ns
Zn/Mg		7,1136	2,0496	4,5671	1,2599	**	5,9252	2,1373	*	**
Zn/S		6,8170	1,5802	16,9363	4,4508	**	11,5394	6,0312	**	**
Zn/Cu		2,3404	0,6874	1,9534	0,6629	o	2,1598	0,6963	ns	ns
Zn/Fe		0,0595	0,0409	0,0855	0,0498	o	0,0716	0,0466	ns	ns
Zn/Mn	DRIS	0,0162	0,0119	0,0190	0,0145	ns	0,0175	0,0131	ns	ns
Zn/B		0,8004	0,2038	0,2898	0,1455	**	0,5621	0,3125	**	**
Cu/N		0,2577	0,0849	0,3207	0,1155	*	0,2871	0,1041	ns	ns
Cu/P		5,5682	1,9369	4,9764	2,1413	ns	5,2921	2,0334	ns	ns
Cu/K		0,6861	0,2560	0,7155	0,2648	ns	0,6998	0,2576	ns	ns
Cu/Ca		0,8011	0,3174	0,9503	0,4992	ns	0,8707	0,4142	ns	ns
Cu/Mg		3,1839	1,0395	2,5363	0,9508	o	2,8817	1,0405	ns	ns
Cu/S		3,0618	0,8512	9,5771	3,8826	**	6,1023	4,2469	**	**
Cu/Zn		0,4631	0,1345	0,5732	0,2020	*	0,5145	0,1764	ns	ns
Cu/Fe		0,0261	0,0196	0,0458	0,0238	**	0,0353	0,0236	ns	ns
Cu/Mn		0,0072	0,0054	0,0100	0,0067	ns	0,0085	0,0062	ns	ns
Cu/B		0,3677	0,1447	0,1634	0,0858	**	0,2724	0,1579	*	**
Fe/N		14,8235	10,5109	9,3445	7,6155	o	12,2666	9,5788	ns	ns
Fe/P		337,6737	258,5006	145,7331	136,8837	**	248,1014	229,8360	ns	*
Fe/K		39,0614	28,2632	20,1108	14,9258	**	30,2178	24,7029	ns	*
Fe/Ca		42,3170	24,5486	26,2822	24,9682	*	34,8341	25,7649	ns	ns
Fe/Mg		178,9424	117,2041	72,2089	52,8828	**	129,1335	106,5437	ns	**
Fe/S		173,4103	113,0383	270,6183	218,1898	o	218,7741	175,2826	ns	ns
Fe/Zn		27,7045	20,1431	16,4446	12,9924	*	22,4499	17,9191	ns	ns
Fe/Cu		58,2859	32,2414	30,0413	22,6716	**	45,1051	31,3063	ns	o
Fe/Mn		0,3722	0,2697	0,2979	0,3551	ns	0,3375	0,3110	ns	ns
Fe/B		21,1326	17,4337	4,3801	3,3761	**	13,3147	15,3458	**	**
Mn/N		43,9821	17,5662	46,0397	28,8486	ns	44,9423	23,2522	ns	ns
Mn/P		973,2584	470,3188	743,4086	578,9029	ns	865,9952	530,4773	ns	ns
Mn/K		123,2818	70,0592	98,6626	59,3277	ns	111,7928	65,7258	ns	ns
Mn/Ca		133,3042	53,3011	111,0941	50,7533	ns	122,9394	52,7399	ns	ns

Continua....

Variável	Método	Normas específicas [2/] (por idade)					Normas gerais [3/] (plantios jovens)			
		1 (n[4/] = 24)		2 (n = 21)			Conjunto (n = 45)			
		$\bar{Y}$ [5/]	s[6/]	$\bar{Y}$	s	1 vs 2	$\bar{Y}$	s	1 vs C	2 vs C
Mn/Mg	DRIS	548,1211	223,7062	379,4656	269,5176	*	469,4152	257,7171	ns	ns
Mn/S		541,4727	263,1344	1293,4288	725,2255	**	892,3856	647,4506	**	*
Mn/Zn		82,3486	40,3719	86,7975	60,4667	ns	84,4248	50,1891	ns	ns
Mn/Cu		182,9459	81,4528	161,3761	128,1619	ns	172,8800	105,1314	ns	ns
Mn/Fe		4,3396	3,4181	6,6621	4,9725	o	5,4234	4,3266	ns	ns
Mn/B		62,5465	28,3537	20,9491	13,1531	**	43,1344	30,6484	*	**
B/N		0,7419	0,2330	2,4375	1,2552	**	1,5332	1,2151	**	*
B/P		16,1767	6,5003	36,3978	17,6555	**	25,6132	16,3664	**	*
B/K		1,9929	0,8578	5,1560	2,0031	**	3,4690	2,1806	**	**
B/Ca		2,3109	0,8475	5,9776	2,0975	**	4,0220	2,4078	**	**
B/Mg		9,4258	3,6317	20,5324	14,3160	**	14,6089	11,4652	**	o
B/S		9,0279	2,9668	70,7812	38,6526	**	37,8461	40,6744	**	**
B/Zn		1,3443	0,4233	4,4166	2,3571	**	2,7781	2,2409	**	**
B/Cu		3,0839	1,0357	8,7727	6,2449	**	5,7387	5,1503	**	*
B/Fe		0,0735	0,0466	0,3480	0,2112	**	0,2016	0,2015	**	**
B/Mn		0,0202	0,0125	0,0690	0,0438	**	0,0430	0,0395	**	*
N/MS[8/]	M-DRIS[10/]	18,9058	1,8528	20,7105	4,8598	ns	19,7480	3,6550	ns	ns
P/MS		0,8968	0,1716	1,4036	0,4301	**	1,1333	0,4060	**	*
K/MS		7,4300	1,9443	9,1245	1,0390	**	8,2207	1,7882	o	*
Ca/MS		6,3328	1,4364	8,2427	3,4039	*	7,2241	2,6970	o	ns
Mg/MS		1,5532	0,3095	2,7248	0,9869	**	2,1000	0,9177	**	**
S/MS		1,5981	0,3332	0,7114	0,1873	**	1,1843	0,5235	**	**
Zn/MS[9/]		10,6094	2,3273	11,7792	3,6903	ns	11,1553	3,0610	ns	ns
Cu/MS		4,8442	1,5861	6,6071	2,6618	*	5,6669	2,3080	o	ns
Fe/MS		269,5885	173,8319	181,4964	134,7334	o	228,4789	161,3141	ns	ns
Mn/MS		832,1744	342,6582	878,6464	495,2426	ns	853,8614	416,4250	ns	ns
B/MS		13,9571	4,3233	45,7194	14,5075	**	28,7795	19,0324	**	**
MS/N		0,0534	0,0051	0,0513	0,0140	ns	0,0524	0,0102	ns	ns
MS/P		1,1541	0,2148	0,7816	0,2458	**	0,9803	0,2948	**	*
MS/K		0,1428	0,0344	0,1110	0,0137	**	0,1280	0,0310	o	**
MS/Ca		0,1673	0,0449	0,1361	0,0406	*	0,1527	0,0453	ns	ns
MS/Mg		0,6713	0,1496	0,4203	0,1714	**	0,5542	0,2027	*	*
MS/Zn		0,0986	0,0217	0,0930	0,0286	ns	0,0960	0,0250	ns	ns
MS/S		0,6542	0,1514	1,4979	0,3866	**	1,0479	0,5110	**	**
MS/Zn		0,0986	0,0217	0,0930	0,0286	ns	0,0960	0,0250	ns	ns
MS/Fe		0,0054	0,0032	0,0074	0,0032	*	0,0063	0,0034	ns	ns
MS/Mn		0,0015	0,0010	0,0015	0,0008	ns	0,0015	0,0009	ns	ns
MS/B		0,0774	0,0207	0,0238	0,0068	**	0,0524	0,0313	**	**
zN	CND[11/]	3,6492	0,1415	3,5647	0,2117	ns	3,6097	0,1807		
zP		0,5879	0,2440	0,8560	0,2773	**	0,7130	0,2905		
zK		2,6892	0,2571	2,7674	0,1176	ns	2,7257	0,2059		
zCa		2,5327	0,1975	2,6085	0,4090	ns	2,5681	0,3129		
zMg		1,1344	0,2034	1,5000	0,2899	**	1,3050	0,3063		
zS		1,1616	0,1954	0,1903	0,2009	**	0,7083	0,5277		
zZn		-3,8545	0,2015	-3,9247	0,2482	ns	-3,8873	0,2247		
zCu		-4,6644	0,2547	-4,5384	0,3506	ns	-4,6056	0,3063		
zFe		-0,7860	0,5878	-1,3157	0,5177	**	-1,0332	0,6115		
zMn		0,4334	0,4239	0,2947	0,5439	ns	0,3687	0,4830		
zB		-3,5978	0,2465	-2,5655	0,3571	**	-3,1161	0,6008		
g (x)		0,4925	0,0545	0,5731	0,0648	**	0,5301	0,0715		

[1/] > que média + 0,5 desvio-padrão; [2/] Foram obtidas para cada idade; [3/] Provenientes do conjunto das idades; [4/] Número de observações; [5/] Média; [6/] Desvio-padrão; [7/] Beaufils (1973); [8/] Teores dos macronutrientes em g/kg; [9/] Teores dos micronutrientes em mg/kg; MS = matéria seca; [10/] Hallmark et al. (1987), normas utilizadas para calcular o índice de matéria seca; [11/] Parent & Dafir (1992), normas representadas pelas variáveis multinutrientes e média geométrica dos teores (g(x)); ns, o, * e **: não significativo, (p<0,10), (p<0,05) e (p<0,01) pelo teste t.

(duais, univariadas e multivariadas) dos nutrientes em árvores de eucalipto obtidas em diferentes localidades. No entanto, alguns trabalhos indicam que as normas podem ser obtidas e usadas, independentemente, da cultivar ou região (Payne et al., 1990; Wadt, 1996) da idade e teor de água (Beaufils, 1973).

Avaliando-se a freqüência de diagnoses concordantes (FDC) do potencial de resposta à adubação (PRA) para os macro e micronutrientes em clones de *Eucalyptus*, constata-se para a comparação entre normas específicas (1 vs 2 anos), em média, 49, 56 e 51 %, considerando os métodos DRIS, M-DRIS e CND, respectivamente (Quadro 7). Os nutrientes que apresentaram menor concordância foram B e S, reflexo das diferenças nos teores foliares desses elementos, indicados e comentados, anteriormente.

Quadro 7. Freqüência de talhões com diagnoses concordantes do potencial de resposta à adubação[1/] de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B em povoamentos clonais de *Eucalyptus*, subpopulação de baixa produtividade[2/] com um ano de idade, na região do Vale do Rio Doce (MG), utilizando os métodos DRIS[3/], M-DRIS[4/] e CND[5/], aplicados em análises de folhas, considerando as normas específicas para as idades de 1 e de 2 anos (1 vs 2 anos)

Método	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	$\overline{Y}$ [6]
	----------% ----------											
DRIS	58,3	61,1	63,9	50,0	41,7	13,9	55,6	61,1	63,9	63,9	5,6	49,0
M-DRIS	80,6	75,0	72,2	69,4	36,1	13,9	52,8	72,2	75,0	63,9	2,8	55,8
CND	52,8	63,9	61,1	47,2	58,3	16,7	50,0	66,7	63,9	69,4	5,6	50,5

[1/] Wadt et al. (1998); [2/] ≤ que média + 0,5 desvio-padrão; [3/] Beaufils (1973), considerando o IEN_m proposto por Wadt (1996); [4/] Hallmark et al. (1987); [5/] Parent & Dafir (1992) e [6/] média da freqüência dos nutrientes.

Do ponto de vista prático é mais importante identificar se há concordância entre a classe de resposta p, uma vez que a mesma permitiria a correção por meio da adição do respectivo nutriente. Para comparação entre normas específicas (1 vs 2 anos) a FDC do PRA foi, para resposta p, 22, 19 e 25 %; e, para resposta n, 14, 11 e 17 %, considerando os métodos DRIS, M-DRIS e CND, respectivamente (Quadro 8).

Quadro 8. Freqüência de talhões com diagnoses concordantes do potencial de resposta à adubação[1/] (p e n) em povoamentos clonais de *Eucalyptus*, subpopulação de baixa produtividade[2/] com um ano de idade, na região do Vale do Rio Doce (MG), utilizando os métodos DRIS[3/], M-DRIS[4/] e CND[5/], aplicados em análises de folhas, considerando as normas específicas para as idades de 1 e de 2 anos (1 vs 2 anos)

Método	p	n
	----------%	----------
DRIS	22,2	13,9
M-DRIS	19,4	11,1
CND	25,0	16,7

[1/] Wadt et al. (1998); [2/] ≤ que média + 0,5 desvio-padrão; [3/] Beaufils (1973), considerando o IEN_m proposto por Wadt et al. (1996); [4/] Hallmark et al. (1987); [5/] Parent & Dafir (1992); p = limitante primário por deficiência; n = limitante primário por excesso.

De acordo com os critérios de avaliação utilizados, constata-se que as diferenças entre os diagnósticos realizados, considerando normas específicas (1 vs 2 anos) ou normas gerais (1 vs C e 2 vs C) (dados não mostrados) depende do critério adotado para sua avaliação. Silva et al. (2005) com o objetivo de avaliar a universalidade das normas específicas ou gerais em *Eucalyptus grandis*, obtidas em diferentes localidades da região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais, encontraram resultados semelhantes, quanto à dependência do critério utilizado na avaliação da universalidade das normas. Esses autores destacam, ainda, a importância de se utilizar critérios em que a comparação das diagnoses seja realizada com os dados de cada um dos talhões, diferentemente das comparações realizadas na maioria dos trabalhos relacionados sobre este tema, os quais estão passíveis de equívocos.

As diferenças detectadas, inicialmente, por meio da comparação dos valores das relações duais (DRIS e M-DRIS) e multivariadas dos nutrientes em árvores de eucalipto (CND) influenciam diretamente no resultado da diagnose do estado nutricional realizada a partir de normas obtidas em idades de um ou dois anos. A avaliação dos resultados desta diagnose, pelos critérios comentados anteriormente, confirma que há divergências entre os diagnósticos derivados da comparação entre normas específicas (1 vs 2 anos), bem como, apesar de em menor intensidade, daqueles originados da comparação entre normas específicas e gerais (1 vs C e 2 vs C) (dados não mostrados).

Portanto, normas DRIS, M-DRIS e CND, geradas para eucalipto, além de serem influenciadas pelo local (Silva et al., 2005) são influenciadas pela idade dos plantios em que as mesmas foram obtidas, principalmente, em idades jovens de um ou dois anos. Vale ressaltar, que no caso específico deste trabalho, o elevado teor foliar médio de B foi reflexo do manejo da fertilização. Desta forma, quando se pretende gerar normas que reflitam o estado nutricional atual da planta, possibilitando avaliar a efetividade das adubações já realizadas é necessário que se tenha pleno conhecimento sobre o histórico das adubações realizadas nos plantios dos quais as normas serão obtidas.

Considerando a influência dos fatores idade, época de amostragem e tratamentos com água e nutrientes sobre os teores e as relações entre nutrientes, e consequentemente, na diagnose do estado nutricional em florestas de eucalipto, sugere-se que estas normas só devam ser utilizadas para outras regiões quando não existirem normas específicas, que considerem esses fatores.

A validade do diagnóstico do estado nutricional em povoamentos de eucaliptos, obtido aplicando-se os métodos DRIS, M-DRIS ou CND, que utilizam teores e ou relações entre nutrientes foliares, é dependente das condições locais, idade, época de amostragem e manejo de adubação em que os teores foliares foram obtidos.

CONCLUSÃO

Os teores foliares de nutrientes e suas relações são sensíveis à idade dos plantios, à época de amostragem, e às alterações no manejo de água e nutrientes, fatores que, portanto, influenciam a diagnose do estado nutricional em plantios jovens de eucalipto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aitchison, J. The statistical analysis of compositional data. J. Royal Stat. Soc. B., 44:139-177, 1982.

Alvarez V., V.H. & Leite, R.A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices DRIS. B. Inf. SBCS, 24(1):20-25, 1999.

Barros, N.F.; Novais, R.F.; Teixeira, J.L. & Fernandes Filho, E.I. NUTRICALC 2.0 – Sistema para calculo del balance nutricional y recomendacion de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. Bosque, 16:129-131, 1995.

Bataglia, O.C. & Santos, W.R. Efeito do procedimento de cálculo e da população de referência nos índices do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS). R. Bras. Ci. Solo, 14:339-344, 1990.

Black, C.A. Soil Fertility Evaluation and Control. Iowa State University. Lewis Publisher, 1993, 746p.

Beaufils, E.R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Soil Sci. Bull. 1. University of Natal, Pietermaritizburg, South Africa, 1973, 132p.

Chesnin, L. & Yien, C.H. Turbidimetric determination of available sulfates. Soil Sci. Am. Proc., 15:149-151, 1950.

Costa, A.N. Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS). B. Inf. SBCS, 24(1):13-15, 1999.

Dara, S.T.; Fixen, P.E. & Gelderman, R.H. Sufficiency level and Diagnosis and Recommendation Integrated System approaches for evaluating the nitrogen *status* of the corn. Agron. J., 84:1006-1010, 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço de Produção de Informação. 1997. 212p.

Guedes, M.C. & Poggiani, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em

Payne, G.G.; RechcigL, J.E. & Stephenson, R.L. Development of Diagnosis and Recommendation Integrated System norms for Bahiagrass. Agron. J., 82:930-934, 1990.

Reis Jr., R.A. Universalidade das normas DRIS na cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28, Londrina, 2001. Anais. Londrina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p.195.

Reis, R.D. DRIS norms universality in the corn crop. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 33:711-735, 2002.

Silva, G.G.C. Diagnose nutricional do eucalipto pelo DRIS, M-DRIS e CND. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 132p. (Tese de Mestrado).

Silva, G.G.C.; Neves, J.C.; Alvarez V., V.H. & Leite, F. P. Nutritional diagnosis for eucalipt by DRIS, M-DRIS, and CND. Sci. Agric., 61:507-515. 2004.

Silva, G. G. C.; Neves, J. C. L.; Alvarez V., V. H. & Leite , F. P. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. R. Bras. Ci. Solo, 29:755-761, 2005.

Sumner, M.E. Interpretation of foliar analysis for diagnostic purposes**.** Agron. J., 71:343-348, 1979.

Tedesco, M.J.; Volkweiss, S.J. & Bohnen, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Departamento de Solos - UFRGS, 1985. v.1. 188p.

Wadt, P.G.S. Os métodos da chance matemática e do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 123p. (Tese de Doutorado).

Wadt, P.G.S.; Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Fonseca, S.; Barros, N.F. & Dias, L.E. Três métodos de cálculo do DRIS para avaliar o potencial de resposta à adubação de árvores de eucalipto. R. Bras. Ci. Solo, 22:661-666, 1998.

Wadt, P.G.S. & Novais, R.F. Normas preliminares do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação para clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. Sci. Forest., 55:145-154, 1999.

Walworth, J.L. Sumner, M.E. Isaac, R.A. & Plank, C.O. Preliminary DRIS norms for alfafa in the Southeastern United States and a comparison with midwestern norms. Agron. J., 78:1046-1052, 1986.

Walworth, J.L. & Sumner, M.E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Adv. Soil Sci., 6:149-188, 1987.

Wortmann, C.S.; Kisakye, J.; & Edje, O.T. The diagnosis and recommentation integrated system for dry bean: determination and validation of norms. J. Plant Nutr., 15:2369-2379, 1992.

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE EUCALIPTO EM RESPOSTA À DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E NUTRIENTES

RESUMO: A cultura do eucalipto no Brasil apresenta grande importância econômica, ambiental e social. Em solos intemperizados de regiões tropicais, a manutenção em bons níveis dos fluxos de água e nutrientes é fundamental para a sustentabilidade da produção e, assim, da competitividade do setor florestal no cenário internacional. O manejo silvicultural ao alterar a disponibilidade e as eficiências de aquisição e de utilização dos recursos água e nutrientes minerais promove alterações importantes na produtividade e na sustentabilidade da produção de florestas plantadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do aumento na disponibilidade dos recursos água e nutrientes no crescimento, aquisição de nutrientes e eficiência nutricional de eucalipto. O experimento foi instalado no município de Santana do Paraíso, na região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais, na bacia do Rio Doce. Os tratamentos, em número de três: sem fertirrigação (controle), irrigação, e fertirrigação foram aplicados ao solo (Cambissolo Háplico) das parcelas correspondentes a três espaçamentos de plantio (4 x 3; 3 x 3,33 e 3 x 2,5 m) e quatro materiais genéticos clonais (57, 129 e 2719 – *Eucalyptus grandis*) e 1215 – híbrido de *E. grandis x E. urophylla, "urograndis"*), todas elas tendo recebido fertilização de base como usual na empresa. Realizaram-se medições

de DAP e de altura para os quatro materiais genéticos nos três espaçamentos de plantios em resposta aos tratamentos com água e nutrientes. Para os clones 57 e 129, nas idades de um, dois e três anos, foram avaliados, em árvores médias abatidas: área foliar específica, índice de área foliar, altura, diâmetro, densidade básica da madeira, volume cilíndrico de tronco, biomassa do tronco e da parte aérea, eficiência da área foliar para produção de biomassa do tronco e da parte aérea, conteúdos e eficiências de utilização de N, P e K no tronco e na parte aérea. Concluiu-se que: a) o aumento da disponibilidade de água e nutrientes, via fertirrigação, promove maior índice de área foliar, maior produção de biomassa e maior acúmulo de nutrientes, em magnitudes variáveis com a idade e o nutriente, e influencia a eficiência de utilização de nutrientes; b) o aumento apenas da disponibilidade de água, via irrigação, não aumenta o índice de área foliar, mas eleva a área foliar específica, além de promover aumento no crescimento e na produção de biomassa até os dois anos de idade, e aumentar a aquisição de P; c) o aumento da disponibilidade de água reduz a densidade básica da madeira; d) a manutenção de elevadas taxas de crescimento requer adequada suplementação nutricional, mesmo em condições de disponibilidade hídrica elevada.

GROWTH AND NUTRITIONAL EFFICIENCY OF EUCALYPT IN DISTINCT WATER AND NUTRIENT AVAILABILITY

ABSTRACT: The eucalypt culture in Brazil has a huge economical, environmental and social importance. In highly weathered soils of tropical regions, the maintenance of adequate flows of water and nutrients is fundamental to sustain yields and, therefore, the competitiveness of the forest sector in the international market. The silvicultural management alters the availability and thus the efficiency of water and nutrient acquisition and utilization and this may lead to substantial changes in the productivity and sustainability of planted forests. The objective of the present work was to evaluate the influence of increasing the availability of water and nutrients on growth, nutrient acquisition and utilization by eucalypt. The experiment was set

up in the Santana do Paraíso County, in the Rio Doce River Valley, Central-Western region of Minas Gerais State, Brazil. There were three treatments consisted of three treatments, namely: control (without irrigation and fertilization), irrigated and fertirrigated (with supplemental water and nutrients). The soil was an acid clayey Cambisol (Inceptisol) to which were planted four eucalypt clones (57, 129 e 2719 – *Eucalyptus grandis*) and 1215 – *E. grandis x E. urophylla, "urograndis"* hybrid) in three distinct spacing (4 x 3; 3 x 3,33 e 3 x 2,5 m). It was carried measurements of DBH and height of the four clones in the planting three spacing as a response to water and nutrients. For clones 57 and 129 at one, two and three years of age, it was evaluated for the average trees: specific leaf area, leaf area index, height, diameter, wood density, trunk volume, trunk and shoot biomass, efficiency of the foliar area to produce trunk and shoot biomass, content and utilization efficiency of N, P and K in the trunk and in the shoot. It was concluded that: a) the increase in water and nutrients availability, via fertirrigation, led to greater leaf area index, biomass production and nutrient accumulation, in magnitudes that varied according to the age of the stand and the nutrient, thus influencing the nutrient utilization efficiency; b) the increase of only water availability, via irrigation, did not increase the leaf area index, but increase the specific leaf area, besides increasing the growth and biomass production at two years of age. It also increased P acquisition; c) the increase in water availability reduced the wood density; d) the maintenance of high rates of growth requires adequate nutritional supplementation, even under conditions of high water availability.

INTRODUÇÃO

O setor de base florestal brasileiro contribuiu, em 2004, com 4 % do PIB, recolheu 5,5 bilhões de reais em impostos, gerou 3 milhões de empregos diretos e indiretos e, em termos de área cultivada, há cerca de 5,5 milhões de hectares de florestas plantadas, dos quais 3,4 milhões encontram-se cultivados com *Eucalyptus* e o restante com *Pinus* (Leite, 2005), o que realça sua importância econômica, social e ambiental.

O crescente aumento na área cultivada tem sido impulsionado pelas projeções otimistas em termos de demanda de madeira que passará de 145 para 220 milhões de m^3/ano até 2020 (Leite, 2005). Adicionalmente, o recente acordo do protocolo de Kyoto possibilita o investimento em créditos de C por parte de países industrializados, que contribuem com 75 % da liberação total de emissões de CO_2, para compensar suas emissões (Martin-Neto & Bayer, 2000). Neste sentido, a região tropical em virtude da alta disponibilidade energética, que permite ciclos de culturas florestais (corte aos sete anos em média) bem menores do que em regiões temperadas, é apontada como um dos principais fornecedores de madeira no futuro (Hunter, 2001).

Os progressos realizados nas áreas de melhoramento genético, de nutrição e manejo da fertilização, aliados às práticas de manejo silviculturais, possibilitaram um salto na produtividade de 20 (1960) para até 60 m^3/ha/ano, atualmente (Santana et al., 2000; Stape et al., 2001; Leite, 2005).

Em regiões tropicais, onde radiação e temperatura geralmente não limitam a produtividade, os recursos água e nutrientes são, freqüentemente, os mais limitantes (Barros & Comerford, 2002). Nessas regiões, a base para a sustentabilidade da produção de florestas plantadas, e, portanto, para a competitividade de seu setor de base florestal é a manutenção em bons níveis dos fluxos de água e nutrientes (Neves, 2000; Barros & Comerford, 2002; Barros et al., 2005).

A limitação nutricional em solos tropicais é, freqüentemente, corrigida pelo adequado manejo nutricional, em razão desses solos, em geral, apresentarem fertilidade natural baixa. Em relação ao recurso água, este tem sido constatado como o recurso mais limitante à produtividade florestal nos trópicos (Lieth, 1975; Golfari et al., 1977, Larcher, 2000). Além destes fatores, existem outros que não são intrínsecos ao povoamento florestal e podem ser controláveis pelo homem: potencial genético das plantas, ocorrência de pragas e doenças, competição com outras plantas e danos provocados por animais (Barros & Comerford, 2002).

A avaliação e a compreensão de como os recursos água e nutrientes regulam a produtividade florestal contribui para a predição do potencial produtivo do povoamento, bem como, para subsidiar aplicação de técnicas de manejo mais adequadas ao crescimento florestal.

Estudos avaliando, em eucalipto, os efeitos do aumento da disponibilidade de água e nutrientes, mediante irrigação e fertirrigação, (Pereira & Pallardy, 1989; Stewart et al., 1990; Olbrich et al., 1992; Myers et al., 1996; Honeysett et al., 1996; Hunter, 2001; Madeira et al., 2002) não foram realizados em condições tropicais como as do Brasil.

A única exceção, em condições tropicais, para eucalipto foi o trabalho do Stape (2002), sendo que a aplicação dos tratamentos com irrigação e fertirrigação foi iniciada aos três anos de idade, em árvores com 15 m de altura e um índice de área foliar de 3 – 3,5. Nessas condições, constatou-se, nas avaliações realizadas até 5,5 anos, que não houve efeito da adição de água e nutrientes (fertirrigação) comparativamente à adição apenas de água (irrigação). Barros et al. (2005) destacam que a maior proporção de nutrientes requeridos por espécies de rápido crescimento, como as de *Eucalyptus*, deve ser fornecida até a idade de três anos. Após essa idade, os processos de ciclagem bioquímica e biogeoquímica são capazes de atender à demanda das plantas até o final da rotação (idade de corte), diminuindo sensivelmente a resposta à fertilização.

Portanto, inexistem na literatura trabalhos em nossas condições em que a aplicação dos recursos água e nutrientes, por meio da irrigação e fertirrigação, tenham ocorrido já a partir da fase inicial do crescimento, onde, em virtude da alta demanda por nutrientes e do povoamento apresentar índice de área foliar baixo mais crescente, a probabilidade de resposta à fertilização é alta.

A plena disponibilização dos recursos água e ou nutrientes contribuem de forma diferenciada para o incremento na produção de biomassa, aquisição de nutrientes e eficiência nutricional do eucalipto dependendo do grau de limitação do respectivo recurso.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do aumento na disponibilidade dos recursos água e nutrientes no crescimento, aquisição de nutrientes e eficiência nutricional de eucalipto.

MATERIAL E MÉTODOS

Local do experimento

O experimento foi instalado no município de Santana do Paraíso, Estado de Minas Gerais, localizado a 19°18'23'' S, 42°22'46'' W e 220 m de altitude, na bacia do Rio Doce, em áreas da Celulose Nipo Brasileira (CENIBRA S.A.).

A classificação climática da região, segundo Köeppen, é do tipo Aw, temperado chuvoso-mesotérmico, com precipitação média anual de 1.163 mm, temperatura média anual de 25,2 °C, média das temperaturas máximas de 31,5 °C, médias das temperaturas mínimas de 19,1 °C e umidade relativa média de 65,2 %. Os dados climáticos da área experimental foram obtidos por meio de uma estação climatológica localizada na região de Belo Oriente, próxima ao experimento, e consistiram de médias mensais de precipitação pluvial, temperatura máxima, temperatura mínima e de radiação solar global, para o período de outubro de 2001 a dezembro de 2005 (Quadro 1).

O relevo é fortemente ondulado, com interflúvios normalmente estreitos, levemente aplanados e encostas com pendentes longas, de forma convexo-concava, com declividade de até 45 graus.

Quadro 1. Dados climáticos referente ao período de 10/2001 até 12/2005 de estação próxima à área experimental

Mês	Tmed		Tmax		Tmin		Prec.		Rad. tot.	
	$\overline{Y}$	sd	$\overline{Y}$	sd	$\overline{Y}$	sd	$\overline{Y}$	sd	$\overline{Y}$	sd
	---------- °C ----------						------ mm ------		----- MJ/m^2.dia -----	
Jan	25,2	0,2	31,2	0,4	21,6	0,2	283,3	33,2	18,4	0,9
Fev	25,1	0,3	31,4	0,7	20,8	0,2	292,5	118,0	19,9	1,6
Mar	25,1	0,3	31,5	0,6	21,1	0,2	116,3	28,0	19,0	0,9
Abr	23,9	0,2	30,6	0,6	19,7	0,1	82,0	22,2	16,8	0,8
Maio	21,8	0,2	28,6	0,5	17,3	0,5	37,9	11,9	13,7	0,7
Jun	20,0	0,3	27,7	0,7	15,1	0,6	18,4	10,7	13,1	0,8
Jul	19,5	0,4	27,0	0,6	14,4	0,6	13,6	10,7	12,9	0,6
Ago	20,8	0,5	28,5	0,4	15,2	0,6	11,4	3,8	15,6	0,2
Set	22,3	0,3	29,3	0,6	17,0	0,7	35,6	22,8	15,3	1,1
Out	24,1	0,2	31,0	0,5	18,9	0,3	67,9	18,2	18,8	1,2
Nov	25,0	0,3	31,2	0,5	20,7	0,2	162,1	86,4	18,2	0,3
Dez	25,2	0,2	31,4	0,4	21,1	0,2	311,0	67,6	21,9	2,3

Tmed = temperatura média; Tmax = temperatura máxima; Tmin = temperatura mínima; Prec. = precipitação; Rad. tot = radiação global total; $\overline{Y}$ = média; sd = erro padrão da média.

A vegetação natural é caracterizada por floresta estacional semidecidual, formada de tipos arbóreos de médio a grande porte, com distribuição espaçada, que se intercalam com tipos de menor tamanho. A maior parte dessa vegetação foi substituída por pastagem e, atualmente, as áreas degradadas foram e vêm sendo aproveitadas para o plantio do eucalipto (Oliveira & Leite, 2000).

O solo da área experimental, localizada na posição de encosta, é classificado como Cambissolo Háplico (Menezes, 2005). Foram realizadas análises químicas e físicas em amostras de solo (0 – 20, 20 – 40 e 40 – 60 cm), antes da instalação do experimento (Quadro 2). Para auxiliar na determinação da capacidade de água disponível foi determinada a curva de retenção de água em cada horizonte do perfil de solo (A, AB, Bi1, Bi2 e C) (Quadro 3).

Quadro 2. Caracterização física e química do solo da área experimental

Característica	Profundidade (cm)		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Análise textural (%)			
-Areia grossa	17,10	16,30	21,80
-Areia fina	11,50	10,70	12,90
-Silte	6,00	6,70	6,90
-Argila	65,40	66,60	58,40
Argila dispersa em água (%)	17,80	3,40	45,10
pH em água	4,52	4,44	4,48
P (mg/dm³) [1/]	1,76	1,24	1,10
K (mg/dm³) [1/]	30,50	14,20	11,20
Ca^{2+} ($cmol_c$/dm³) [2/]	0,45	0,17	0,11
Mg^{2+} ($cmol_c$/dm³) [2/]	0,14	0,09	0,08
Na (mg/dm³)[2/]	5,00	3,60	3,00
Al^{3+} ($cmol_c$/dm³) [2/]	0,96	0,92	0,74
S (mg/dm³) [3/]	54,50	118,50	149,30
Zn (mg/dm³) [1/]	0,52	0,27	0,11
Cu (mg/dm³) [1/]	2,09	2,35	2,15
Fe (mg/dm³) [1/]	59,80	50,40	42,40
Mn (mg/dm³) [1/]	39,10	16,90	12,50
B(mg/dm³) [4/]	0,28	0,20	0,14
SB ($cmol_c$/dm³)	0,69	0,31	0,23
t ($cmol_c$/dm³)	1,65	1,24	0,97
m (%)	62,20	70,30	70,60
M.O. (dag/dm^3)	1,80	1,17	0,94

pH = relação 1:2,5; [1/]Extrator Mehlich-1; [2/]Extrator KCl 1mol/L; [3/] Extrator $Ca(H_2PO_4)_2$, 500 mg/L de P, em ácido acético 2 mol/L (Chesnin & Yien, 1950); [4/] Extrator água quente; SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+; t = SB + Al^{3+}; m = 100 Al^{3+}/ t; M.O. = 1,724 x C.O. (EMBRAPA, 1997).

Quadro 3. Retenção de água do perfil do Cambissolo Háplico utilizado no experimento

Horizonte	Profundidade		Água retida		Água disponível
	Inicial	Final	- 10 kPa	-1500 kPa	
	---------- cm ----------		---------- m^3/m^3 ----------		
A	0	10	0,272	0,191	0,081
AB	10	20	0,290	0,208	0,082
Bi1	20	90	0,351	0,248	0,103
Bi2	90	145	0,324	0,235	0,089
C	145	>	0,319	0,231	0,088

Descrição dos tratamentos

Os tratamentos corresponderam a três combinações envolvendo a aplicação de água e nutrientes (Quadro 4) ao solo das parcelas correspondentes a três espaçamentos (4 x 3; 3 x 3,33 e 3 x 2,5 m) e quatro clones (57, 129 e 2719 – *Eucalyptus grandis*) e 1215 – híbrido de *E. grandis x E. urophylla, "urograndis"*).

Quadro 4. Descrição dos tratamentos com água e nutrientes

Tratamentos	Fertilização	Irrigação suplementar
	---------- % ----------	
SFI	Nutricalc[1/] (35 m^3/ha.ano)	Sem
I	Nutricalc (35 m^3/ha.ano)	Com (100 % ETc)
FI	Nutricalc (60 m^3/ha.ano)	Com (100 % ETc)

[1/] Barros et al. (1995); ETc = evapotranspiração da cultura.

Instalação e condução

O experimento foi instalado em uma área de 13,4 ha (irrigada – I e fertirrigada – FI = 10,6 e sem fertirrigação – SFI = 2,8 ha). Aproximadamente, um mês antes do plantio, em todos os tratamentos, aplicaram-se 3.000 kg/ha de calcário (40 % CaO, 10 % MgO e 15 % de umidade), a lanço em duas faixas laterais, de 1 m de largura distanciadas de um metro do centro da cova, e 800 kg/ha de fosfato reativo (GAFSA), aplicado em dois filetes laterais no limite

de projeção da copa, com cerca de 5 cm de largura, sem incorporação. Após o coveamento manual (30 x 30 x 30 cm), realizou-se o plantio (17/10/2001).

Logo após o plantio, foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento com o objetivo de aplicar uma lâmina complementar de irrigação, considerando 5 mm/dia no período de máxima evapotranspiração. A demanda de água foi estimada por dois métodos: evapotranspiração de referência - Et_0 (calculada pelo método Penman–Monteith) e o status de água no solo (monitoramento com tensiômetros). O regime pluviométrico e a lâmina de irrigação aplicada durante o período de condução do experimento são apresentados na figura 1.

Após o plantio, realizaram-se as adubações de implantação: 180 g/planta NPK 6-30-6, em 24/10/01, 20 kg/ha Produbor (10 % B) em 29/11/01. Nas adubações de manutenção foram aplicados 40 kg/ha de Produbor em 08/05/02 e 400 kg/ha de KCl + 2 % B (07/05/02). De modo a nivelar as quantidades de N, P e K em relação àquelas adicionadas às parcelas do espaçamento 3 x 2,5 m, foram adicionados às parcelas dos espaçamentos 4 x 3 e 3 x 3,33 m, em 14/05/02, mais 60 e 90 kg/ha de NPK 6-30-6, respectivamente. No tratamento fertirrigado (FI) foram aplicados, por meio da fertirrigação, a partir de 28/08/02, fertilizações adicionais calculadas em função da curva estimada de demanda de nutrientes (N, P, K, S e micronutrientes) para plantios de eucalipto com produtividade de 360 m^3/ha de tronco aos 6 anos.

Variáveis medidas

Foram coletadas amostras de solo (amostradas na linha e entre linha, 0 – 20 cm) e realizada análise química para macro (N, P, K, Ca, Mg, Na e S) e micronutrientes (Zn, Cu, Fe, Mn e B) aos 6, 18 e 32 meses do plantio.

Cada parcela experimental foi composta de aproximadamente 40 plantas (parcela útil), e uma linha de bordadura. Medições de DAP e de altura foram realizadas a cada dois meses, até 01/02/05, e a partir desta data, a cada três meses, para os quatro materiais genéticos (57, 129, 2719 e 1215).

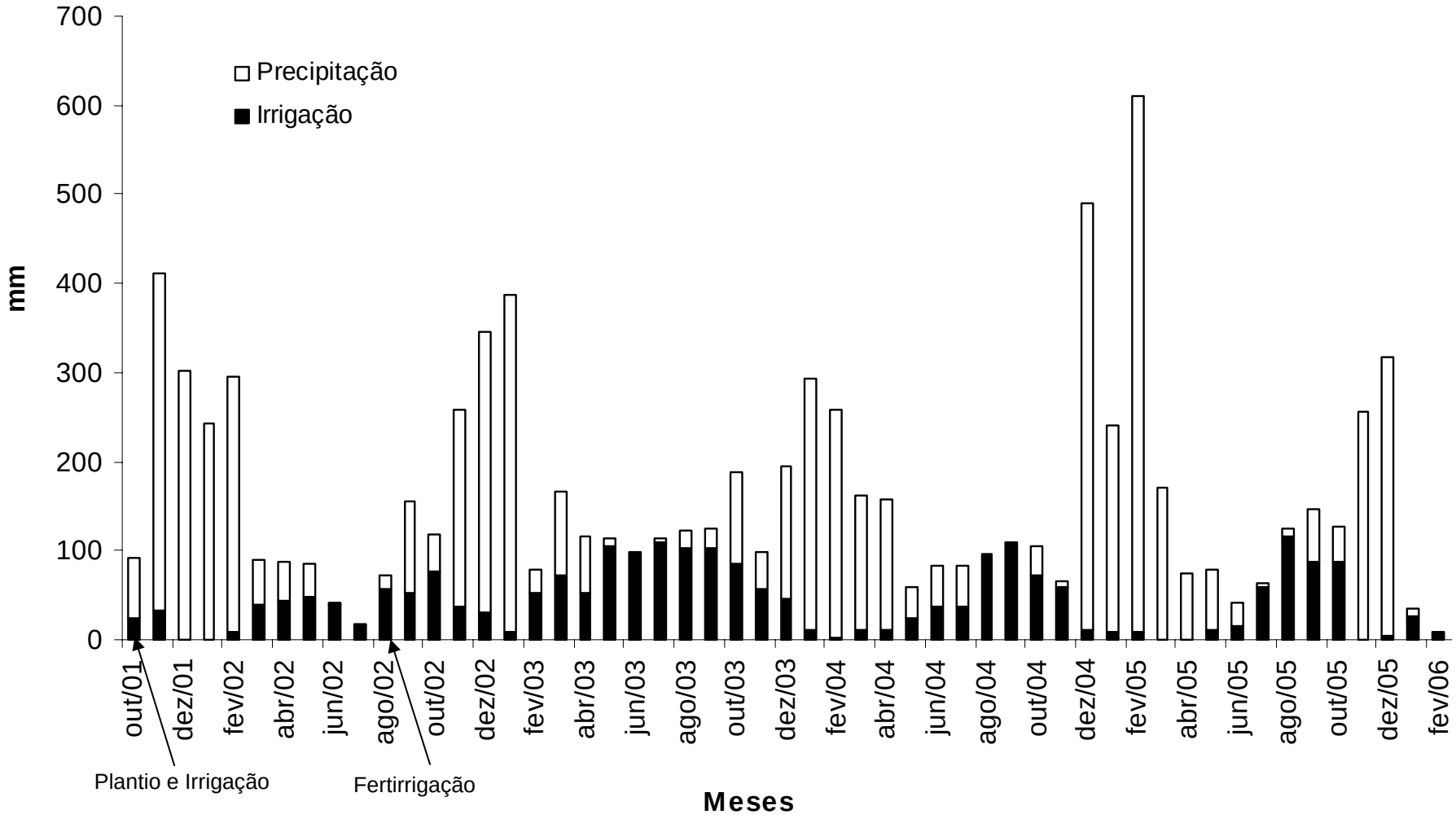


Figura 1. Regime pluviométrico e lâmina de irrigação aplicada ao solo em plantios de *Eucalyptus* submetidos a diferentes tratamentos com água e nutrientes.

Visando à determinação da biomassa dos componentes da parte aérea e dos respectivos conteúdos de N, P e K foi abatida uma árvore da bordadura com DAP em torno da média, dos clones 57 e 129, nos espaçamentos 4 x 3; 3 x 3,33 e 3 x 2,5 m, nas idades de um, dois e três anos. Após o abate, os componentes da árvore (folha, galhos, casca e lenho) foram separados e pesados (matéria fresca). Para a estimativa do peso da matéria seca desses componentes, após a homogeneização, foi retirada uma amostra que foi pesada (matéria fresca) e posta a secar em estufa de circulação forçada a 65 ºC, até peso constante. A partir do peso da matéria fresca total de cada compartimento e do peso da matéria seca de cada amostra, foi estimado o peso da matéria seca total dos respectivos compartimentos, para cada árvore abatida.

Amostras de material vegetal de cada componente das árvores abatidas, após secagem e moagem, foram mineralizadas por via úmida, mediante mistura sulfúrica (N) e dos ácidos nítrico e perclórico (P e K), determinando-se, nos extratos, os teores de N (método Kjeldahl, conforme Tedesco et al., 1985), P (colorimetria) e K (fotometria de chama), com base nos quais e no peso da matéria seca de cada componente foram obtidos os respectivos conteúdos.

Pelo quociente entre a produção de matéria seca de tronco ou de parte aérea e o conteúdo do nutriente na parte aérea foram obtidas as respectivas eficiências de utilização de N, P e K.

Para a determinação da área foliar específica (AFE) nas idades de um e dois anos foi retirada uma amostra de 50 g, coletada após a homogeneização de toda a folhagem, no momento da quantificação da biomassa dos componentes da árvore. As folhas foram conduzidas para o laboratório em sacolas plásticas mantidas refrigeradas em caixa de isopor. A AFE foi calculada pela relação entre área foliar, determinada em um medidor automático de área foliar LI-3000 (LI-Cor, EUA), e da massa seca de folhas. A partir da AFE, calculou-se o índice da área foliar (IAF), pelo produto entre a massa seca de folhas das árvores e a AFE, para cada idade.

A eficiência da área foliar para produção de matéria seca do tronco e da parte aérea foi obtida dividindo-se o valor de produção de biomassa do respectivo componente pelo valor de IAF.

Para a determinação de densidade básica da madeira foram retirados três discos de 3 cm de espessura da base, do meio e do topo da árvore abatida, sendo o valor da densidade final a média do valor obtido nos discos das três posições.

Análise dos dados

Para obter a curva de crescimento em diâmetro, altura, área basal e volume cilíndrico foram ajustadas equações de regressão dessas variáveis em função da idade dos plantios. Essas equações foram ajustadas considerando os tratamentos SFI, I e FI, separadamente, e as classes de diâmetro das árvores (superior - S -, média - M - e Inferior - Inf). Essas classes corresponderam a: $S \geq \bar{Y} + 0{,}5s$; $\bar{Y} - 0{,}5s < M < \bar{Y} + 0{,}5s$; $Inf \leq \bar{Y} - 0{,}5s$, onde $\bar{Y}$ é média e s é desvio-padrão, e a seleção das árvores dessas classes foi realizada na idade de um ano.

As variáveis área foliar específica, índice de área foliar, altura, diâmetro, densidade básica da madeira, volume cilíndrico de tronco, biomassa do tronco e da parte aérea, eficiência da área foliar para produção de biomassa do tronco e da parte aérea, conteúdos e eficiências de utilização de N, P e K no tronco e na parte aérea foram submetidas à análise de variância, sendo os efeitos dos tratamentos com água e nutrientes (SFI, I e FI) avaliados mediante os contrastes: C_1 = SFI vs I; C_2 = SFI vs FI e C_3 = I vs FI.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características dendrométricas

As equações que descrevem o crescimento em diâmetro (DAP), altura (ALT), área basal (AB) e volume cilíndrico (VC) em função dos tratamentos com água e nutrientes (SFI, I e FI), considerando as classes de diâmetro (superior - S -, média - M - e inferior - Inf -) ajustaram-se bem aos dados (R^2 = 0,999), sendo os coeficientes das respectivas equações significativos ao nível de 1 %, pelo teste F (Quadro 5). Para DAP e ALT os modelos escolhidos foram quadráticos base raiz quadrada, já para AB e VC os modelos foram quadráticos.

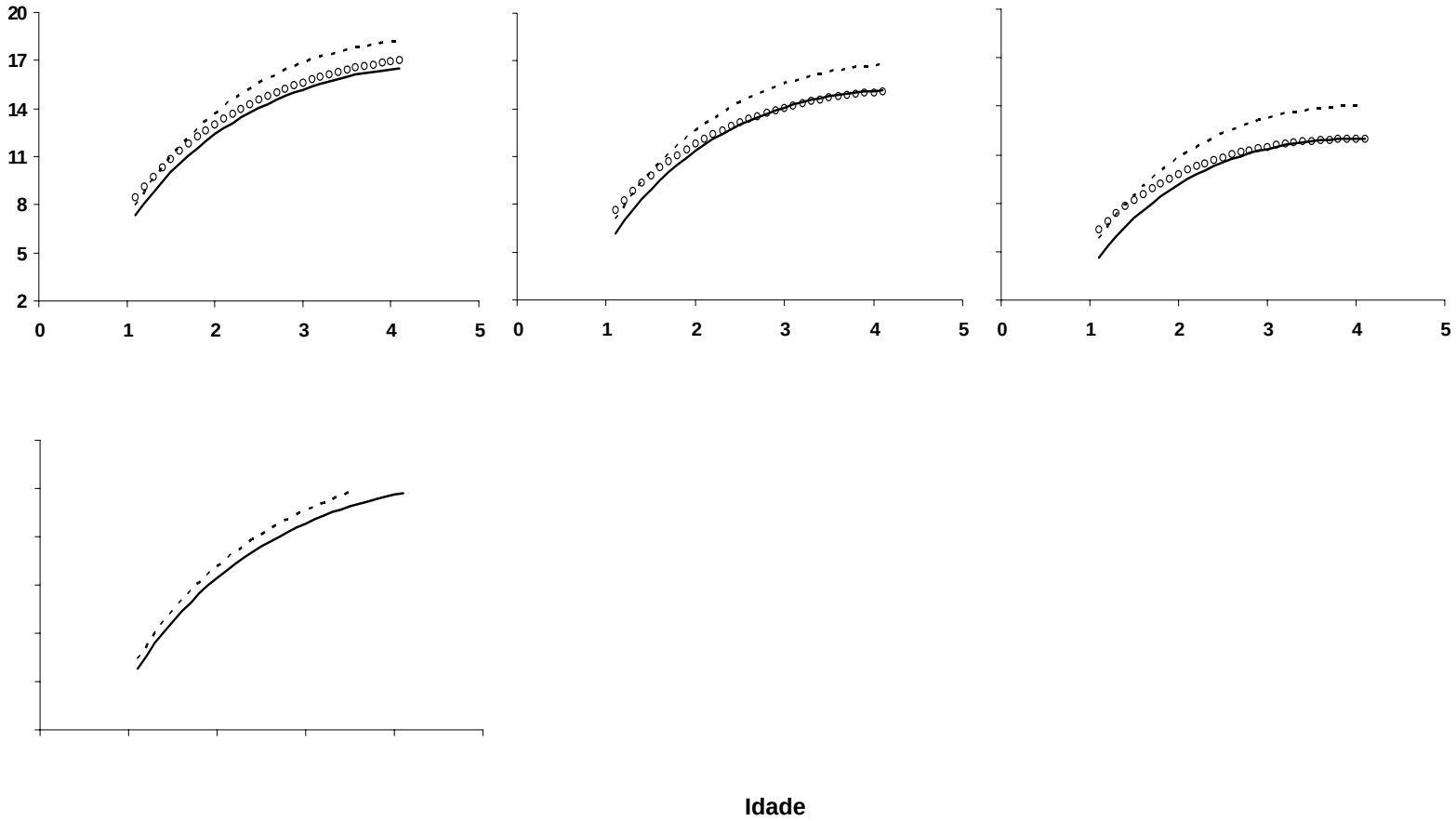
Quadro 5. Equações ajustadas[1/] relacionando diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura (ALT, m) área basal (AB, m^2) ou volume cilíndrico (VC, m^3) com a idade (X, anos) em resposta a tratamentos com água e nutrientes (SFI, I e FI), considerando as classes de diâmetro superior (S), média (M) e inferior (Inf) na região do Vale do Rio Doce, MG

Tratamento	Classe	Variável	Equação	R^2
SFI	S	DAP	$\hat{Y} = -17{,}5 + 31{,}14\sqrt{X} - 7{,}08X$	0,998
	M	DAP	$\hat{Y} = -20{,}07 + 34{,}3\sqrt{X} - 8{,}11X$	0,999
	Inf	DAP	$\hat{Y} = -20{,}1 + 31{,}9\sqrt{X} - 7{,}93X$	0,998
	S	ALT	$\hat{Y} = -26{,}1 + 43{,}21\sqrt{X} - 9{,}21X$	0,978
	M	ALT	$\hat{Y} = -30{,}1 + 47{,}21\sqrt{X} - 10{,}45X$	0,977
	Inf	ALT	$\hat{Y} = -39{,}1 + 58{,}11\sqrt{X} - 14{,}32X$	0,985
	S	AB	$\hat{Y} = -8{,}30 + 12{,}92X - 1{,}384X^2$	0,998
	M	AB	$\hat{Y} = -9{,}1 + 12{,}48X - 1{,}443X^2$	0,998
	Inf	AB	$\hat{Y} = -6{,}9 + 8{,}92X - 1{,}99X^2$	0,998
	S	VC	$\hat{Y} = -221 + 243{,}7X - 15{,}54X^2$	0,994
	M	VC	$\hat{Y} = -207 + 217X - 15{,}86X^2$	0,993
	Inf	VC	$\hat{Y} = -156 + 160{,}1X - 15{,}92X^2$	0,990
I	S	DAP	$\hat{Y} = -13{,}2 + 26{,}87\sqrt{X} - 5{,}90X$	0,995
	M	DAP	$\hat{Y} = -13{,}4 + 26{,}50\sqrt{X} - 6{,}14X$	0,999
	Inf	DAP	$\hat{Y} = -12{,}6 + 24{,}43\sqrt{X} - 6{,}07X$	0,998
	S	ALT	$\hat{Y} = -20{,}2 + 38{,}97\sqrt{X} - 8{,}57X$	0,985
	M	ALT	$\hat{Y} = -24{,}5 + 44{,}14\sqrt{X} - 10{,}31X$	0,986
	Inf	ALT	$\hat{Y} = -33{,}6 + 55{,}99\sqrt{X} - 14{,}69X$	0,984
	S	AB	$\hat{Y} = -6{,}6 + 12{,}61X - 1{,}329X^2$	0,998
	M	AB	$\hat{Y} = -6{,}0 + 11{,}01X - 1{,}268X^2$	0,999
	Inf	AB	$\hat{Y} = -4{,}5 + 8{,}17X - 1{,}046X^2$	0,998
	S	VC	$\hat{Y} = -227 + 277{,}4X - 21{,}86X^2$	0,995
	M	VC	$\hat{Y} = -205 + 247{,}3X - 23{,}61X^2$	0,995
	Inf	VC	$\hat{Y} = -160 + 191{,}3X - 23{,}2X^2$	0,993
FI	S	DAP	$\hat{Y} = -21{,}4 + 36{,}97\sqrt{X} - 8{,}59X$	0,998
	M	DAP	$\hat{Y} = -21{,}9 + 36{,}67\sqrt{X} - 8{,}69X$	0,998
	Inf	DAP	$\hat{Y} = -21 + 34{,}45\sqrt{X} - 8{,}46X$	0,998
	S	ALT	$\hat{Y} = -26{,}2 + 44{,}20\sqrt{X} - 9{,}38X$	0,985
	M	ALT	$\hat{Y} = -33{,}3 + 52{,}87\sqrt{X} - 12{,}14X$	0,987
	Inf	ALT	$\hat{Y} = -36{,}9 + 56{,}89\sqrt{X} - 13{,}84X$	0,975
	S	AB	$\hat{Y} = -11{,}8 + 16{,}97X - 1{,}884X^2$	0,998
	M	AB	$\hat{Y} = -10{,}9 + 15{,}00X - 1{,}705X^2$	0,997
	Inf	AB	$\hat{Y} = -8{,}6 + 11{,}58X - 1{,}410X^2$	0,997
	S	VC	$\hat{Y} = -300 + 326{,}4X - 22{,}17X^2$	0,996
	M	VC	$\hat{Y} = -279 + 294{,}9X - 23{,}17X^2$	0,994
	Inf	VC	$\hat{Y} = -203 + 215{,}6X - 20{,}05X^2$	0,990

[1/]Média de três espaçamentos de plantio e quatro materiais genéticos, onde $\hat{Y}$ = variável correspondente (DAP, ALT, AB e VC) e X = Idade do povoamento (anos); SFI = Sem fertirrigação (Controle); I = irrigação e FI = Fertirrigação, com adubação equivalente a 100 % da demanda de nutrientes estimada para 60 m^3/ha.ano aos 6 anos; S, M e I = Classes de diâmetro (S $\geq \bar{Y}$ + 0,5s; $\bar{Y}$ - 0,5s < M < $\bar{Y}$ + 0,5s; Inf $\leq \bar{Y}$ - 0,5s, onde $\bar{Y}$ = média e s = desvio-padrão); Todos os coeficientes das equações são significativos a 1 % de probabilidade, pelo teste F.

A partir dessas equações foram obtidas curvas que descrevem o crescimento em DAP e ALT (Figura 2) e em AB e VC (Figura 3), em resposta aos tratamentos com água e nutrientes nas classes de diâmetro superior (S), média (M) e inferior (Inf), considerando a média de três espaçamentos e quatro materiais genéticos. Em geral, para todas variáveis, na classe inferior, as curvas tenderam a estabilizar a partir dos três anos, atingindo um platô até os quatro anos de idade, a maior idade avaliada neste experimento, exceção para a variável VC no tratamento FI, que, na classe inferior, continuou crescendo. As diferenças em termos de produtividade, entre as classes de diâmetro, e a estabilização do crescimento na classe inferior, destacam a importância em se manter a homogeneidade do povoamento florestal, com reflexos diretos na produtividade do mesmo. Sob este aspecto, a diferença entre o volume cilíndrico na classe inferior (Inf), menor, e o da classe média (M), classe esta com a maior freqüência de árvores, foi 36 % (FI) e 43 % (SFI ou I), indicando que o tratamento FI proporcionou maior grau de homogeneidade do que os demais tratamentos, evidenciando a importância da suplementação nutricional. A freqüência média das árvores entre as diferentes classes de diâmetros foi 40 (M), 30 (Inf) e 30 % (S) (Dados não mostrados).

A ALT (Figura 2) apresentou menor sensibilidade em diferenciar os tratamentos com água e nutrientes quando comparada ao DAP, à AB, e ao VC (Figura 3). Assim, não apenas os valores absolutos de altura das árvores foram próximos entre os tratamentos, como também a idade em que o tratamento FI passou a ser superior ao I foi de 2,3 anos com base em ALT, enquanto isso ocorreu na idade de 1,5 ano como indicado pelo DAP, AB e VC. Desta forma, também se pode concluir ter havido alteração na relação hipsométrica das árvores em resposta aos tratamentos com água e nutrientes e à classe de diâmetro.


20
17
14
11
8
5
2
0
1
2
3
4
5
Idade

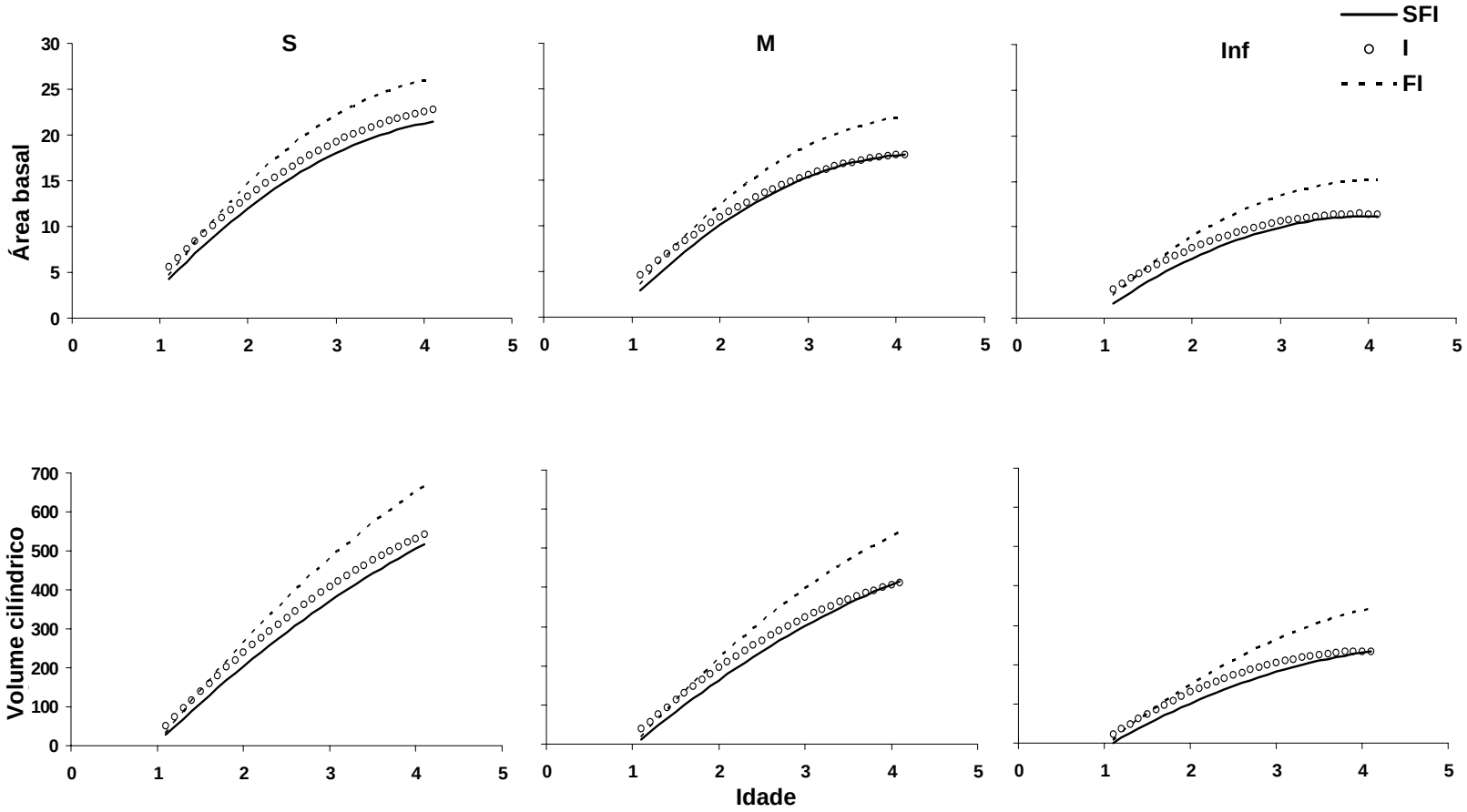


Figura 3. Crescimento em área basal e volume cilíndrico de tronco de eucalipto em resposta a tratamentos com água e nutrientes (SFI: Controle; I: Irrigação; FI: Fertirrigação), considerando as classes de diâmetro superior (S), média (M) e inferior (Inf) - S $\geq \bar{Y} + 0{,}5s$; $\bar{Y} - 0{,}5s < M < \bar{Y} + 0{,}5s$; Inf $\leq \bar{Y} - 0{,}5s$, respectivamente, onde $\bar{Y}$ = média e s = desvio-padrão - na região do Vale do Rio Doce, MG (valores estimados por equações de regressão ajustadas com base na média de três espaçamentos de plantio, 4 x 3, 3 x 3,33 e 3 x 2,5 m, e quatro clones, 57, 129, 2719 e 1215).

Quanto aos tratamentos, em geral, o FI foi superior aos demais, seguido do I, e do SFI, independentemente da classe, para todas as variáveis dendrométricas. Na fase inicial, até 1,5 ano, o DAP, a AB e o VC no tratamento I apresentaram tendência de serem maiores que os demais tratamentos; a partir desta idade, o crescimento das árvores no FI destacou-se dos demais, enquanto o do I permaneceu paralelo ao SFI, até os quatro anos de idade na classe de diâmetro superior. Nas classes média e inferior, as curvas de crescimento no I e no SFI se superpõem a partir dos 3 (DAP e ALT) e de 3,5 anos (AB e VC). Aos quatro anos, o VC no tratamento FI foi 25 % maior do que no I e no SFI, os quais praticamente apresentavam o mesmo VC. A possível ausência de resposta do tratamento I parece estar relacionada com limitações de ordem nutricional. Até, aproximadamente, 1,5 ano os nutrientes aplicados nas adubações de implantação e manutenção foram suficientes para que o tratamento I proporcionasse taxa de crescimento próxima à do tratamento FI. A partir desta idade, a quantidade e ou o equilíbrio nutricional, passou a limitar o crescimento. Assim, a manutenção da superioridade de crescimento em resposta ao aumento na disponibilidade hídrica proporcionado pela irrigação suplementar foi dependente de adições de nutrientes por meio da fertirrigação.

A resposta positiva do crescimento ao tratamento FI comparativamente ao I difere da encontrada por Stape (2002), que constatou não haver efeito da adição conjunta de água e nutrientes (fertirrigação) comparativamente à adição apenas de água. Diferentemente deste trabalho, em que a irrigação e a fertirrigação foram iniciadas nas fases iniciais do crescimento das árvores, no trabalho de Stape (2002) essas práticas só foram aplicadas a partir de três anos de idade, quando o povoamento já apresentava IAF superior a 3. Barros et al. (2005) destacam que a maior proporção de nutrientes requeridos por espécies de rápido crescimento, como as do eucalipto, deve ser fornecida até a idade de três anos. Após essa idade, os processos de ciclagem bioquímica e biogeoquímica são capazes de atender à demanda das plantas até o final da rotação (idade de corte), diminuindo sensivelmente a resposta à fertilização. Nessa mesma linha, Neves (2000), em povoamentos clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo, encontrou que aos três anos a acumulação de nutrientes nas árvores foi de 65,8 %, em termos de média das acumulações

de N, P, K, Ca, Mg e S. Esse autor destaca que o acúmulo de nutrientes antecede o de biomassa, o que resulta em taxas relativas de acúmulo de nutrientes maiores que à de biomassa, notadamente nas idades mais jovens.

Avaliações realizadas em árvores médias

Área foliar específica (AFE), índice de área foliar (IAF) e eficiência da área foliar para a produção de biomassa

Os maiores valores de AFE nas árvores do tratamento I e do FI comparativamente ao SFI (Figura 4, contrastes C_1 e C_2), na idade de um ano, indicam que o aumento na disponibilidade de água proporcionou maior eficiência da planta (folha) na assimilação de C para produção de superfície fotossintetizante. Como a fertirrigação teve início praticamente em setembro de 2002, ocasião em que as árvores tinham em torno de 10 meses de idade, é razoável assumir que na idade de 1 ano, nos tratamentos I e FI, os valores de AFE e de IAF reflitam, essencialmente, a maior disponibilidade hídrica. A propósito, nesta idade, a AFE do tratamento I não diferiu da do FI (Figura 4, contraste C_3). Uma das primeiras respostas à variação na disponibilidade de água é a alteração na espessura das folhas, que se tornam mais espessas (< AFE) em condições de seca, e menos espessas em condições hídricas mais favoráveis (Sefton et al., 2002).

Aos dois anos, o tratamento I continuou a proporcionar maior AFE do que o SFI (Figura 4, contraste C_1), o que também ocorreu para o tratamento FI, ainda que apenas em nível de tendência (Figura 4 contraste C_2).

Os valores de AFE na idade de um ano foram próximos aos obtidos na idade de dois anos, ainda que possam ser assinaladas tendências ligeiramente opostas entre os tratamentos: redução no SFI, e aumento nos tratamentos I e FI. Na realidade, as maiores variações na AFE de materiais genéticos clonais de eucalipto, como os utilizados neste trabalho, ocorrem da fase de mudas até a idade de um ano, como tem sido verificado a partir de dados já obtidos pela CENIBRA em medições no campo.

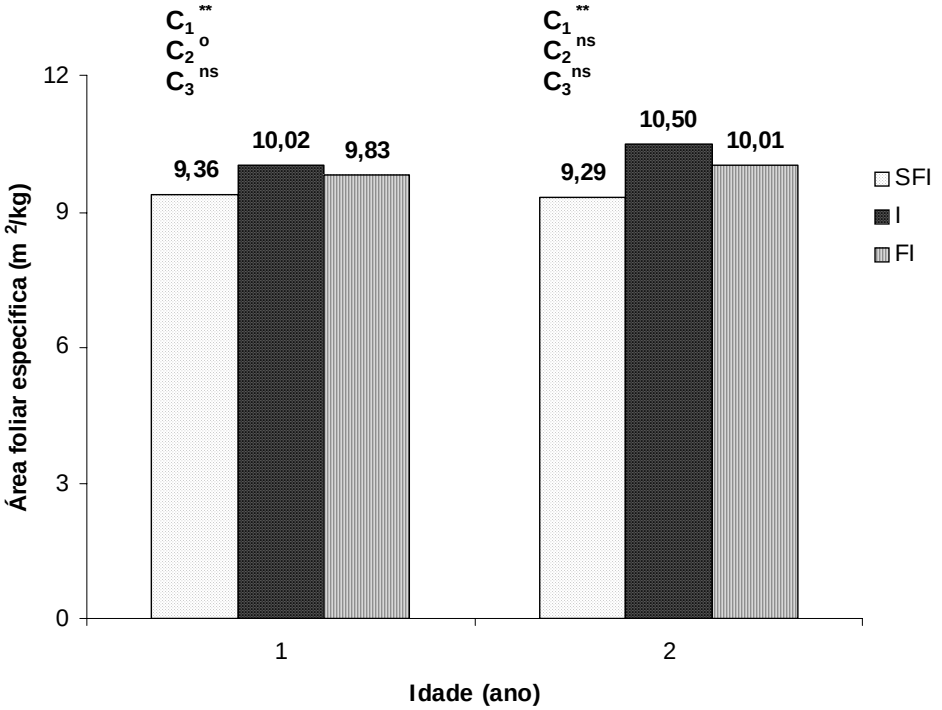


Figura 4. Área foliar específica em *Eucalyptus grandis*, nas idades de 1 e 2 anos em resposta aos tratamentos com água e nutrientes (Controle: SFI; Irrigação: I; Fertirrigação:FI), na região do Vale do Rio Doce, MG. C_1 = SFI vs I; C_2 = SFI vs FI e C_3 = I vs FI. **, *, ^{o} e ^{ns}: significativo a 1, 5, 10 % e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

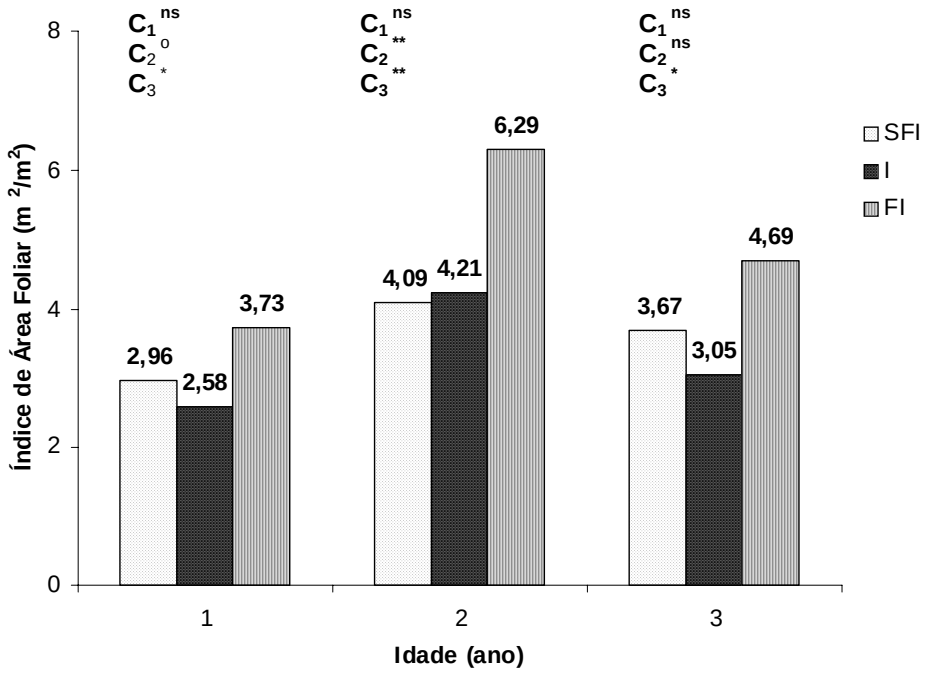


Figura 5. Índice de área foliar em plantios de *Eucalyptus grandis*, nas idades de 1, 2 e 3 anos em resposta aos tratamentos com água e nutrientes (Controle: SFI; Irrigação: I; Fertirrigação:FI), na região do Vale do Rio Doce, MG. C_1 = SFI vs I; C_2 = SFI vs FI e C_3 = I vs FI. **, *, ^{o} e ^{ns}: significativo a 1, 5, 10 % e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

Quanto ao IAF dos povoamentos, os maiores valores nas idades de um e dois anos foram obtidos no tratamento FI seja comparados ao SFI (Figura 5, contraste C_2) ou ao I (Figura 5, contraste C_3); nessas idades os valores de IAF no tratamento I não diferiram dos observados para o SFI, não obstante a tendência de menor valor na idade de 1 ano. Aos três anos, a única diferença significativa observada foi na comparação do IAF verificado no FI versus I (Figura 5, contraste C_3), ainda que o IAF do tratamento I também tenha apresentado tendência de ser menor do que o do tratamento SFI.

O IAF é uma importante variável em razão de a interceptação de radiação solar aumentar, ainda que de modo curvilíneo, mediante curva tendendo à saturação, com o aumento do IAF, relacionamento este que pode ser descrito pela lei de Beer (Landsberg & Gower, 1997) e é largamente utilizado em modelos baseados em processos, como, por exemplo, o 3-PG (Landsberg & Waring, 1997). Utilizando-se da lei de Beer, vê-se que para valores de IAF superiores a 4,5 – 5 não mais ocorrem aumentos importantes da interceptação de radiação solar. Neste trabalho, portanto, os elevados valores de IAF obtidos para o tratamento FI, principalmente, na idade de dois anos (6,29, Figura 5), não mais estariam contribuindo para ganhos adicionais importantes na interceptação de radiação solar quando comparados àqueles medidos nos tratamentos I e SFI, ambos em torno de 4,1 – 4,2 nessa idade de dois anos, idade esta em que para todos os tratamentos foram observados os maiores valores de IAF. Assim, os maiores valores de crescimento observados para o tratamento FI, como já relatado quando da discussão das características dendrométricas, em relação aos demais tratamentos não devem ser conseqüência apenas de uma maior extensão de superfície fotossintetizante (> IAF). A propósito, exceto na idade de três anos, a eficiência da área foliar para a produção de biomassa de tronco e de parte aérea observada para o tratamento FI foi sempre menor do que no I, e tendeu, em geral, a ser um pouco menor do que no SFI (Figura 6).

Deve-se destacar a maior eficiência da área foliar, para a produção de tronco e de parte aérea, nas árvores do tratamento I, nas idades de um e dois anos (Figura 6, C_1 e C_3), fato também verificado, em nível de tendência, aos três anos.

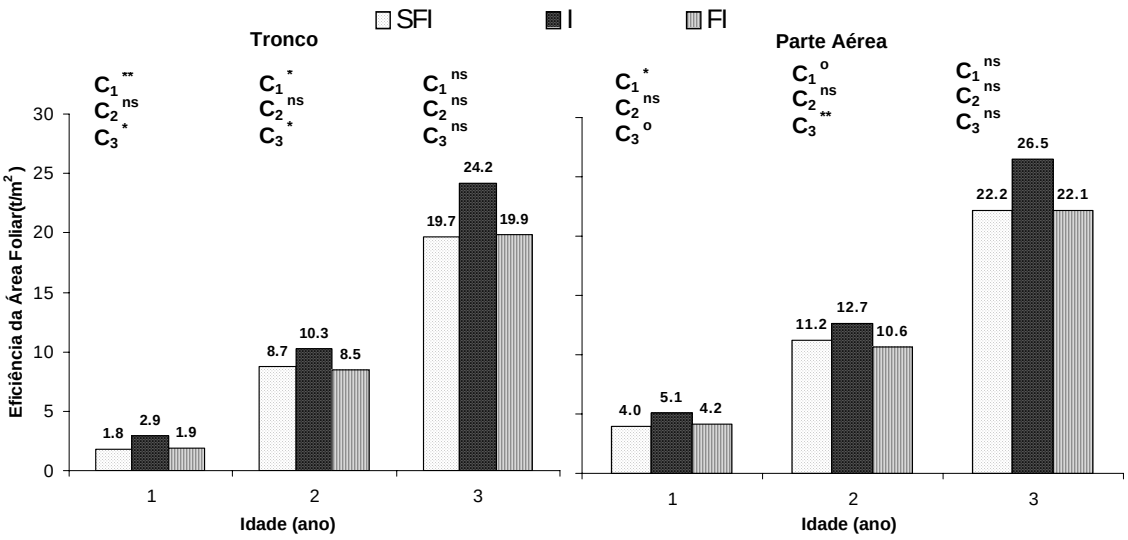


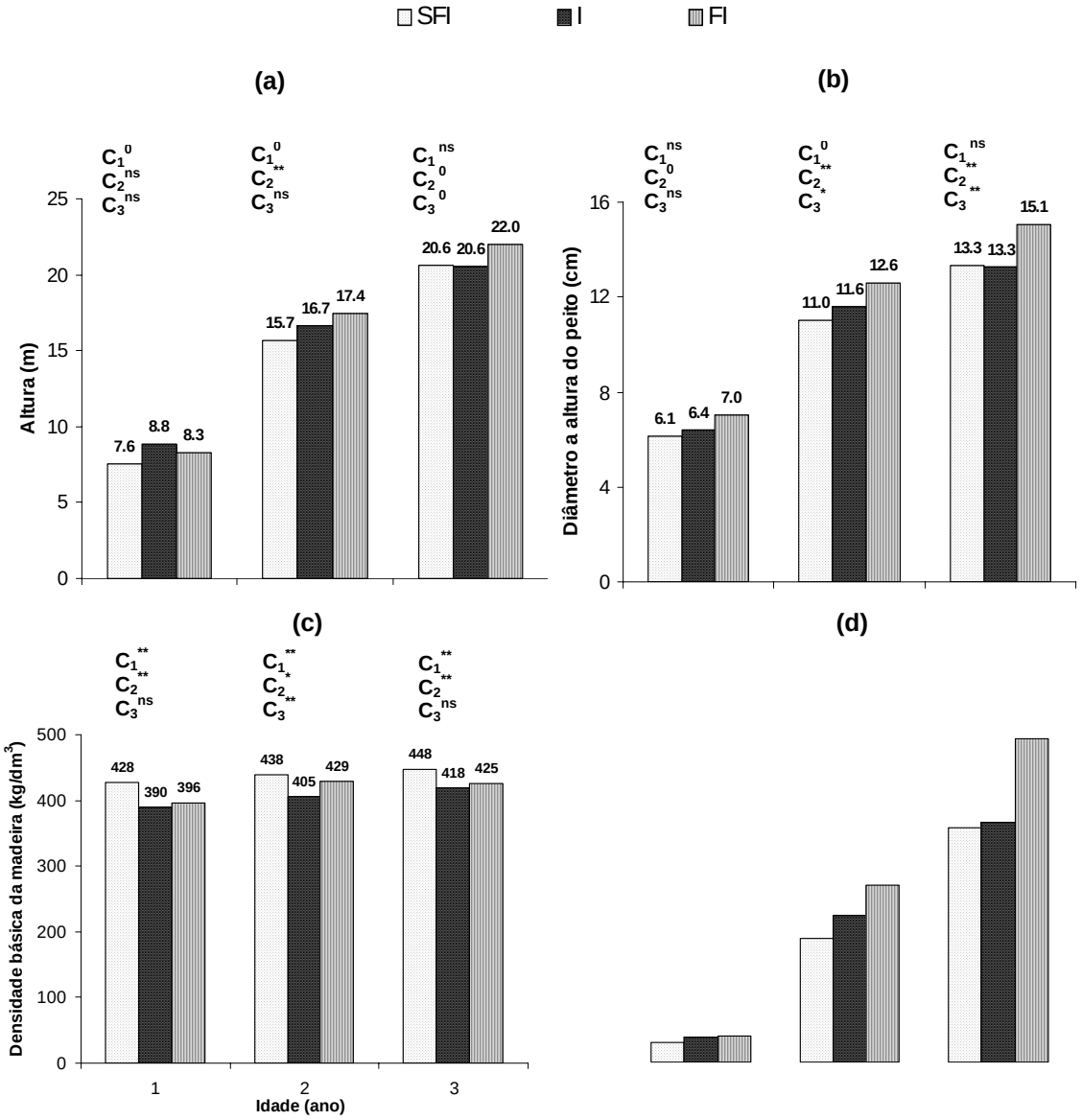
Figura 6. Eficiência da área foliar para produção de biomassa do tronco e da parte aérea em *Eucalyptus grandis*, nas idades de 1, 2 e 3 anos em resposta aos tratamentos com água e nutrientes (Controle: SFI; Irrigação: I; Fertirrigação: FI), na região do Vale do Rio Doce, MG. C_1 = SFI vs I; C_2 = SFI vs FI e C_3 = I vs FI. **, *, ^{o} e ^{ns}: significativo a 1, 5, 10 % e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

Altura (ALT), diâmetro (DAP) e volume cilíndrico (VC)

Na idade de um ano apenas a ALT do tratamento I foi maior do que do SFI, e o DAP do FI maior do que o do SFI, não havendo efeito dos tratamentos sobre o VC. Em linhas gerais, portanto, os resultados do crescimento nesta idade seguiram a mesma tendência já apresentada quando da discussão das características dendrométricas.

Aos dois anos, o aumento na disponibilidade de água (I) e de água e nutrientes (FI) causou maior crescimento das árvores, avaliado com base em ALT, DAP e VC (Figura 7, C_1 e C_2). Nesta idade, exceto para ALT, o crescimento respondeu positivamente à suplementação nutricional em condições de maior disponibilidade hídrica, (Figura 7, C_3). O ganho percentual em VC foi de 16 % para a adição só de água (tratamento I), e de mais 18 % quando também foi feita a suplementação nutricional (FI), totalizando, assim, 34 % de aumento da produção volumétrica quando comparado ao tratamento controle (SFI).

Da avaliação aos 3 anos, vê-se que não mais houve ganho de crescimento em ALT, DAP, e VC em resposta apenas à irrigação (Figura 7, contraste C1). Já, a adição conjunta de água e nutrientes, via fertirrigação, causou maior crescimento em ALT, DAP e VC (Figura 7, contrastes C_2 e C_3). Dessa forma, e tendo por base o VC, o ganho proporcionado foi de 27 %.



Densidade básica da madeira

O aumento da disponibilidade de água (I) e de água e nutrientes (FI) resultou em decréscimo na densidade básica da madeira (Db), em todas as idades avaliadas (Figura 7, contrastes C_1 e C_2). Como o contraste C_3, que compara I vs FI, só foi significativo na idade de 2 anos, pode-se concluir que os decréscimos já referidos na Db foram ocasionados pela maior disponibilidade hídrica, não sendo revertidos, de modo geral, pela suplementação nutricional.

Produção de biomassa de tronco e de parte aérea

A produção de biomassa de tronco e de parte aérea na idade de um ano não diferiu em resposta aos tratamentos (Figuras 8 e 9, contrastes C_1, C_2 e C_3).

Já, aos dois anos, o aumento na disponibilidade hídrica tendeu a aumentar a produção de biomassa de parte aérea (em 14 %) e a de tronco (em 18 %) (Figura 8, C_1). O efeito da adição de água e nutrientes, conjuntamente, mediante fertirrigação, proporcionou aumento de 32 % na biomassa de parte aérea e de 34 % na de tronco (Figuras 9 e 8, respectivamente, contraste C_2), enquanto que pelo contraste C_3 vê-se que a suplementação nutricional na condição de alta disponibilidade hídrica causou ganhos em torno de 20 % (Figuras 8 e 9, contraste C_3).

Os ganhos de crescimento em resposta à adição apenas de água não foram mantidos aos 3 anos, idade em que a produção de biomassa de parte aérea e de tronco foi praticamente a mesma obtida no tratamento controle (Figuras 9 e 8, contraste C_1). Mas, nesta idade, a suplementação nutricional em condições de alta disponibilidade hídrica causou ganhos de 22 % quando comparados ao tratamento controle (SFI) e I (Figuras 9 e 8, contrastes C_2 e C_3).

Em síntese, o conjunto dos resultados obtidos para o crescimento e produção de biomassa não deixa dúvida sobre a importância do fator nutriente, e evidencia que há “espaço” para expressivos ganhos de produtividade em resposta à melhoria nutricional, mesmo em condições de disponibilidade hídrica favorável.

Figura 8. Biomassa de tronco em *Eucalyptus grandis* nas idades de 1, 2 e 3 anos em resposta aos tratamentos com água e nutrientes (Controle: SFI; Irrigação: I; Fertirrigação: FI), na região do Vale do Rio Doce, MG. C_1 = SFI vs I; C_2 = SFI vs FI e C_3 = I vs FI. **, *, ^{o} e ^{ns}: significativo a 1, 5, 10 % e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

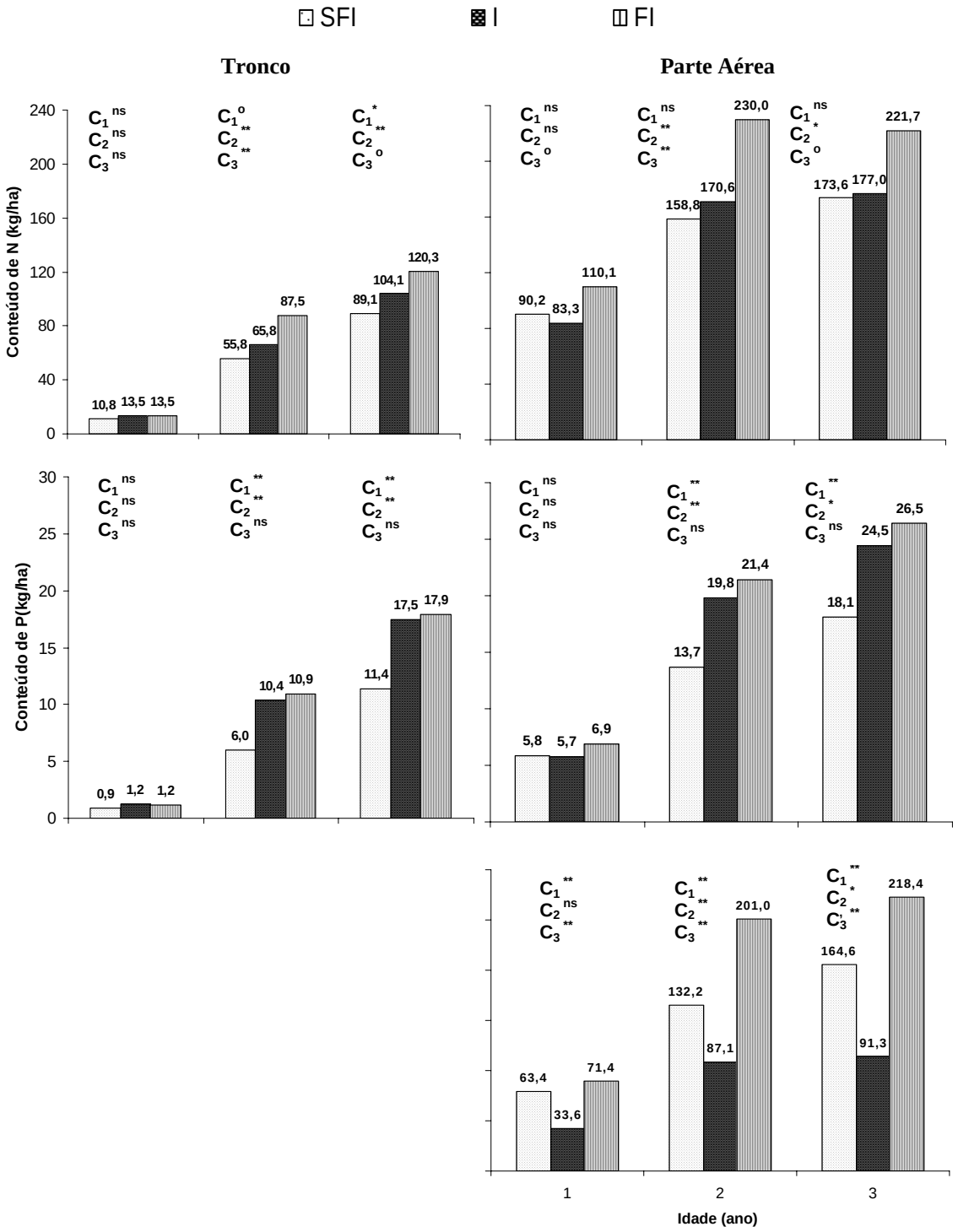
Conteúdos de N, P e K na parte aérea

Na idade de um ano, os conteúdos de N na parte aérea só diferiram na comparação entre I e FI, sendo maiores neste último tratamento (Figura 10, contraste C_3); já no tronco, os conteúdos de N não foram influenciados pelos tratamentos. Nesta idade, os conteúdos de P, nessas partes da planta, também não responderam aos tratamentos. Contudo, para K, nessa idade inicial, os conteúdos de K na parte aérea foram menores quando se fez a adição apenas de água (I); no tronco, neste tratamento, houve tendência de menor conteúdo de K quando comparado ao tratamento Controle (SFI), e o conteúdo de K foi menor no I em relação ao FI. Os menores conteúdos de K nas árvores nas parcelas do tratamento I são compatíveis com os menores teores deste nutriente no solo destas parcelas (Quadro 6).

Quadro 6. Análise química do solo (0 – 20 cm) em resposta a tratamentos com água e nutrientes, aos 6 (03/04/02), 18 (08/04/03) e 32 (07/06/04) meses após o plantio do eucalipto

Trat.	pH	M.O.	P[1/]	K[1/]	Na[2/]	Ca^{2+}[2/]	Mg^{2+}[2/]	Al^{3+}[2/]	H+Al[3/]	SB	t	m	Zn[1/]	Cu[1/]	Fe[1/]	Mn[1/]	B[4/]	S[5/]
		dag/dm³	-- mg/dm³ --			---------- $cmol_c$/dm³ ----------						%	---------- mg/dm³ ----------					
6 meses																		
SFI	4,9	1,37	2,2	46	1,9	0,72	0,28	0,55	3,52	1,13	1,68	40	1,1	2,3	25	61	0,53	84
I	4,7	1,68	7,8	18	3,2	0,66	0,35	0,78	4,45	1,07	1,85	54	0,3	1,7	36	9	0,60	78
FI	5,2	1,56	2,5	50	2,9	1,00	0,38	0,27	2,67	1,51	1,79	20	0,8	1,2	16	30	0,41	37
18 meses																		
SFI	5,1	1,57	1,6	51	6,1	1,06	0,35	0,56	3,87	1,57	2,13	37	1,2	2,4	46	43	0,46	41
I	4,7	1,92	2,8	24	7,1	0,66	0,44	0,80	5,19	1,19	2,00	49	0,4	2,1	68	11	0,46	40
FI	5,2	1,81	1,9	59	7,6	1,34	0,61	0,22	3,05	2,14	2,36	13	1,9	1,9	30	54	0,49	16
32 meses																		
SFI	5,6	2,78	2,0	66	13,0	3,33	1,12	0,13	3,06	4,67	4,80	6	2,6	1,7	17	133	0,65	41
I	4,6	2,41	2,3	18	12,0	0,65	0,39	1,10	6,91	1,14	2,24	56	0,7	1,7	52	16	0,68	42
FI	5,0	2,20	2,7	62	12,0	1,65	0,63	0,45	3,77	2,49	2,94	22	2,5	1,6	26	45	0,74	148

pH = relação 1:2,5; M.O. = 1,724 x C.O.; [1/] Extrator Mehlich-1; [2/] Extrator KCl 1 mol/L; [3/] Extrator acetato de cálcio 0,5 mol/L, pH = 7,0; SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+}; t = SB + Al^{3+}; m = 100 Al^{3+}/ t; [4/] Extrator água quente; [5/] Extrator $Ca(H_2PO_4)_2$, 500 mg/L de P, em ácido acético 2 mol/L (Chesnin & Yien, 1950); SFI = Sem irrigação ou fertirrigação (Controle); I = Irrigação e FI = Fertirrigação, com adubação equivalente a 100 % da demanda de nutrientes estimada para 60 m^3/ha.ano aos 6 anos.


SFI
I
FI
Tronco
Parte Aérea
Conteúdo de N (kg/ha)
Conteúdo de P(kg/ha)
Idade (ano)
1
2
3
10,8 13,5 13,5
55,8 65,8 87,5
89,1 104,1 120,3
90,2 83,3 110,1
158,8 170,6 230,0
173,6 177,0 221,7
0,9 1,2 1,2
6,0 10,4 10,9
11,4 17,5 17,9
5,8 5,7 6,9
13,7 19,8 21,4
18,1 24,5 26,5
63,4 33,6 71,4
132,2 87,1 201,0
164,6 91,3 218,4

Nas idades de dois e três anos, os tratamentos com irrigação e com fertirrigação promoveram, em geral, maior acúmulo de N e de P quando comparados ao controle (Figura 10, C_1 e C_2), cabendo notar que para P a não significância do contraste C_3 indica que a adição apenas de água causou o mesmo efeito sobre a disponibilidade de P no solo do que o do tratamento com água e suplementação nutricional, fato este que pode ser explicado com base num grande favorecimento ao transporte de P no solo, por difusão, resultante da melhoria hídrica. Para K, entretanto, nesta idade, a tendência que já vinha se delineando na idade de um ano se mantém, e, assim, o acúmulo de K decresceu com a adição apenas de água (tratamento I), mas aumentou com a suplementação nutricional nessa condição de alta disponibilidade hídrica. Na literatura, há registros de que a resposta ao K diminui em anos de boa pluviometria, ocorrendo o contrário em anos com escassez de água.

Eficiências de utilização de N, P e K para a produção de biomassa

Nas idades de um e dois anos, a adição apenas de água (I) causou maior eficiência de utilização de N e K (Figura 11, contraste C_1) para a produção de biomassa de parte aérea e de tronco. Para P, isso também foi verificado no tronco (Figura 11, contraste C_1), na idade de um ano. Já aos dois anos, houve menor eficiência de utilização de P para a produção de ambas as partes da planta em resposta ao tratamento I, fato explicado com base no grande aumento no acúmulo de P (Figura 10) verificado, nesta idade, em função da maior disponibilidade hídrica e seus reflexos no transporte de P no solo, como já comentado.

Até a idade de dois anos, inclusive, a aplicação de água e nutrientes (FI), realizada a partir de cerca de 10 meses após o plantio, ocasionou, em geral, menor eficiência de utilização de N, de P e de K comparativamente ao I, que, contudo, não diferiu, em geral, do tratamento controle (SFI).

Aos três anos, a eficiência de utilização de N não mais foi influenciada pelos tratamentos, não havendo, além disso, qualquer tendência consistente de resposta (Figura 11, contrastes C_1, C_2 e C_3). A eficiência de utilização de P e de K, exceção feita a este último nutriente no tronco, respondeu significativamente à adição apenas de água (I), diminuindo para P e

aumentando para K (Figura 11, contraste C_1). Por sua vez, a adição de água e nutrientes (FI) reduziu as eficiências de utilização de K e de P quando comparada ao tratamento controle (SFI), exceto, novamente, quanto a K no tronco (Figura 11, C_2). E, em condições de disponibilidade hídrica elevada essa adição conjunta aumentou a eficiência de P e diminuiu a de K (Figura 11, C_3).

Correlações entre os teores de nutrientes e o crescimento em altura

Foram obtidos os coeficientes de correlação linear simples dos teores foliares de nutrientes com o crescimento em altura dos 5 aos 22 meses de idade, considerando os três espaçamentos e os quatro clones (Quadro 7).

A freqüência de correlações significativas entre os teores foliares de nutrientes na primeira amostragem, aos cinco meses, final de época chuvosa, e a altura nesta época (ALTID1) foi de 45,5 %, sendo significativas as correlações com Ca, Fe, B, P e Cu. Ainda, para Ca, Fe, B e P esses teores também correlacionaram significativa e positivamente com as alturas das árvores na segunda época (ALTID2), e, exceto para o P, também com as alturas na terceira (ALTID3) e na quarta época (ALTID4), cabendo notar que os valores de r decrescem consistentemente de ALTID1 a ALTID4. Contrariamente, as correlações com S, negativas, aumentam de ALTID1 para ALTID4, passando de não significativas com ALTD1 a significativas a partir de ALTID2.

Na segunda amostragem, aos 11 meses, portanto em período seco, a freqüência de correlações significativas dos teores nesta época com a altura (ALTID2) foi de 27,3 %, sendo significativas com Ca, Fe e B. Estes três nutrientes avaliados nessa segunda amostragem também se correlacionaram significativa e positivamente com ALTID3 e ALTID4, sendo a magnitude das correlações relativamente pouco variável. Por outra linha de análise, vê-se que árvores com maiores alturas aos 5 meses (ALTID1) tendem a apresentar maiores teores de Ca, Fe e B aos 11 meses; vê-se ainda que árvores maiores aos 5 meses (ALTID1) tendem a ter menores teores de N na segunda época de amostragem. Já na terceira amostragem, aos 15 meses, final de um novo período chuvoso, apenas o Ca correlacionou significativamente com ALTID3, sendo tal relacionamento positivo. Ou seja, a freqüência de correlações

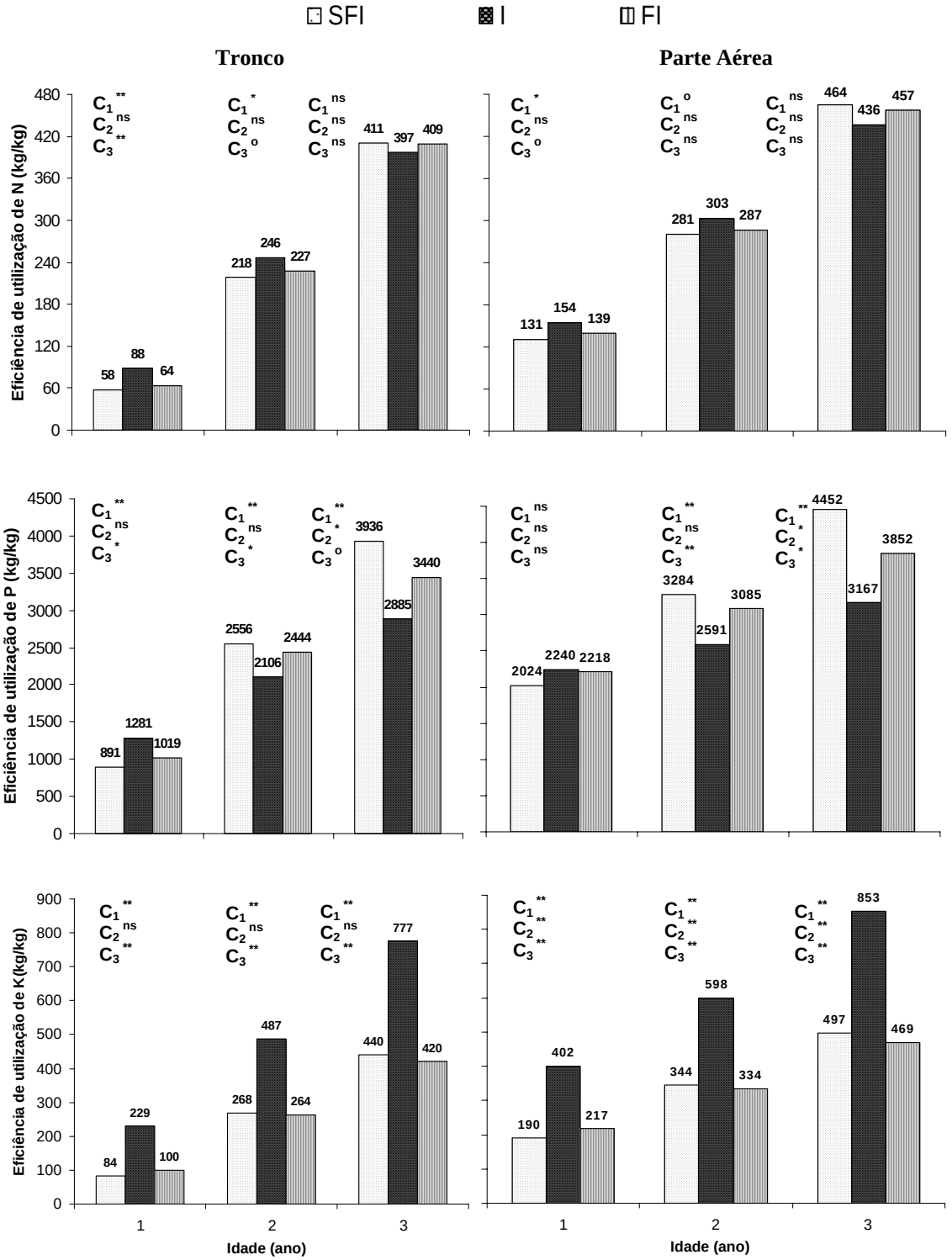


Figura 11 – Eficiência de utilização de N, P e K para a produção de tronco (kg tronco/kg Nut. absorvido) e de parte aérea (kg parte aérea/kg Nut. absorvido) em *Eucalyptus grandis* nas idades de 1, 2 e 3 anos em resposta a tratamentos com água e nutrientes (Controle: SFI; Irrigação: I; Fertirrigação: FI), na região do Vale do Rio Doce, MG. C_1 = SFI vs I; C_2 = SFI vs FI e C_3 = I vs FI. **, *, ^{o} e ^{ns}: significativo a 1, 5, 10 % e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 7. Coeficientes de correlação de Pearson (r) dos teores (macro: g/kg; micronutrientes: mg/kg) e de relações entre nutrientes em folhas de árvores de *Eucalyptus grandis*, amostradas em quatro épocas (aos 5, 11, 15 e 22 meses) com a altura das árvores medida nas idades de 5, 11, 15 e 22 meses (ALTID1 a ALTID4, respectivamente). Valores em negrito são significativos até 5 % de probabilidade

Variável	ALTID1	ALTID2	ALTID3	ALTID4	ALTID1	ALTID2	ALTID3	ALTID4	ALTID1	ALTID2	ALTID3	ALTID4	ALTID1	ALTID2	ALTID3	ALTID4
	r com valores na amostragem 1				r com valores na amostragem 2				r com valores na amostragem 3				r com valores na amostragem 4			
N	0,128	0,063	0,156	-0,062	**-0,344**	-0,174	0,060	0,207	**-0,353**	**-0,435**	-0,265	-0,230	-0,139	**-0,343**	-0,303	**-0,437**
P	**0,386**	**0,355**	0,305	0,046	0,238	0,301	**0,482**	0,320	-0,256	-0,160	-0,065	0,106	**0,515**	**0,427**	0,263	0,013
K	-0,189	-0,204	-0,237	-0,169	-0,012	0,036	-0,105	0,087	-0,310	-0,296	-0,277	-0,040	**-0,386**	-0,294	-0,269	-0,096
Ca	**0,706**	**0,678**	**0,425**	**0,338**	**0,648**	**0,758**	**0,671**	**0,586**	**0,422**	**0,425**	**0,350**	**0,236**	**0,425**	**0,572**	**0,627**	**0,482**
Mg	-0,120	-0,144	-0,279	-0,169	-0,006	-0,082	-0,197	-0,289	-0,178	-0,200	-0,141	-0,218	**0,340**	0,324	0,228	-0,039
S	-0,281	**-0,458**	**-0,535**	**-0,585**	0,008	-0,061	0,225	-0,024	-0,213	-0,256	-0,186	-0,264	0,322	**0,359**	**0,398**	0,283
Zn	0,177	0,262	0,272	0,225	-0,215	-0,154	-0,209	-0,087	-0,216	-0,170	-0,182	0,049	0,048	0,206	0,276	0,293
Cu	**0,349**	0,184	0,189	-0,103	-0,316	-0,288	-0,055	0,044	0,301	0,123	0,117	-0,101	0,109	0,039	0,081	0,048
Fe	**0,616**	**0,510**	**0,463**	**0,360**	**0,394**	**0,452**	**0,574**	**0,452**	0,152	0,234	0,280	0,303	0,229	0,245	**0,341**	0,205
Mn	0,285	0,122	0,189	-0,023	0,268	0,254	**0,409**	0,286	-0,058	-0,121	0,062	-0,107	0,001	0,055	0,107	0,089
B	**0,511**	**0,519**	**0,422**	**0,462**	**0,421**	**0,445**	**0,407**	**0,445**	0,026	-0,039	-0,132	-0,133	0,244	**0,378**	**0,408**	**0,515**
N_P	**-0,325**	**-0,381**	-0,246	-0,142	**-0,584**	**-0,477**	**-0,419**	-0,107	-0,099	**-0,341**	-0,270	**-0,464**	**-0,520**	**-0,616**	**-0,456**	**-0,355**
N_K	0,258	0,233	0,265	0,131	0,003	0,015	0,219	0,082	0,126	0,060	0,120	-0,051	0,285	0,127	0,100	-0,103
N_Ca	**-0,483**	**-0,494**	-0,206	-0,249	**-0,607**	**-0,633**	**-0,513**	**-0,367**	**-0,385**	**-0,429**	**-0,348**	-0,214	**-0,424**	**-0,608**	**-0,605**	**-0,538**
N_Mg	0,170	0,164	**0,366**	0,111	-0,160	-0,019	0,158	0,300	-0,027	-0,032	0,020	0,101	**-0,350**	**-0,442**	**-0,344**	-0,151
N_S	**0,362**	**0,501**	**0,631**	**0,531**	-0,235	-0,066	-0,172	0,162	0,004	0,000	0,036	0,157	**-0,334**	**-0,508**	**-0,523**	**-0,517**
N_Zn	-0,209	-0,326	-0,283	-0,295	0,072	0,085	0,239	0,220	0,111	0,038	0,135	-0,091	-0,116	**-0,342**	**-0,374**	**-0,440**
N_Cu	-0,260	-0,114	-0,073	0,081	0,081	0,156	0,037	0,042	**-0,460**	-0,311	-0,218	0,018	-0,055	-0,045	-0,124	-0,115
N_Fe	**-0,491**	**-0,447**	**-0,388**	**-0,376**	**-0,523**	**-0,562**	**-0,604**	**-0,443**	-0,204	-0,305	**-0,337**	**-0,354**	-0,308	**-0,400**	**-0,482**	**-0,363**
N_Mn	-0,171	-0,121	-0,214	-0,095	-0,313	-0,302	**-0,405**	-0,281	-0,118	-0,078	-0,230	-0,078	-0,102	-0,204	-0,293	-0,264
N_B	**-0,378**	**-0,417**	-0,283	**-0,438**	**-0,407**	**-0,368**	-0,322	-0,296	-0,237	-0,161	-0,021	0,032	-0,281	**-0,472**	**-0,537**	**-0,659**
P_K	**0,438**	**0,427**	**0,403**	0,190	0,165	0,143	0,309	0,099	0,142	0,164	0,201	0,104	**0,533**	**0,436**	0,327	0,092
P_Ca	**-0,362**	**-0,352**	-0,101	-0,217	**-0,506**	**-0,578**	**-0,465**	**-0,402**	**-0,396**	**-0,383**	-0,319	-0,133	-0,282	**-0,458**	**-0,525**	**-0,487**
P_Mg	**0,376**	**0,378**	**0,467**	0,179	0,100	0,199	**0,358**	**0,361**	0,018	0,119	0,123	0,302	-0,044	-0,072	-0,086	0,074
P_S	**0,488**	**0,620**	**0,668**	**0,514**	0,121	0,243	0,096	0,264	0,030	0,145	0,138	**0,341**	0,072	-0,044	-0,195	-0,279
P_Zn	-0,030	-0,119	-0,161	-0,235	0,207	0,194	**0,334**	0,226	0,133	0,145	0,222	0,062	0,225	0,067	-0,076	-0,202
P_Cu	-0,123	0,029	0,012	0,106	**0,463**	**0,460**	0,320	0,127	**-0,413**	-0,176	-0,121	0,189	0,129	0,195	0,045	0,037
P_Fe	-0,327	-0,256	-0,274	-0,297	**-0,416**	**-0,487**	**-0,550**	**-0,446**	-0,193	-0,235	-0,283	-0,255	-0,057	-0,093	-0,272	-0,193
P_Mn	-0,108	-0,060	-0,171	-0,079	-0,256	-0,261	**-0,379**	-0,283	-0,099	-0,016	-0,183	-0,003	0,006	-0,090	-0,212	-0,218
P_B	-0,230	-0,247	-0,192	**-0,370**	-0,274	-0,260	-0,211	-0,280	-0,214	-0,086	0,025	0,126	-0,149	**-0,345**	**-0,459**	**-0,636**

continua ...

Variável	ALTID1	ALTID2	ALTID3	ALTID4	ALTID1	ALTID2	ALTID3	ALTID4	ALTID1	ALTID2	ALTID3	ALTID4	ALTID1	ALTID2	ALTID3	ALTID4
K_Ca	**-0,707**	**-0,703**	**-0,486**	**-0,386**	**-0,634**	**-0,685**	**-0,700**	**-0,488**	**-0,492**	**-0,502**	**-0,444**	-0,192	**-0,607**	**-0,679**	**-0,665**	**-0,457**
K_Mg	-0,097	-0,096	-0,023	-0,031	-0,016	0,083	0,040	0,255	-0,084	-0,038	-0,050	0,135	**-0,484**	**-0,391**	-0,295	0,025
K_S	0,130	0,291	**0,362**	**0,464**	-0,022	0,061	-0,184	0,120	-0,117	-0,070	-0,118	0,172	**-0,427**	**-0,393**	**-0,396**	-0,207
K_Zn	**-0,378**	**-0,457**	**-0,478**	**-0,405**	0,095	0,084	0,081	0,153	0,015	-0,030	0,007	-0,094	**-0,410**	**-0,479**	**-0,523**	**-0,366**
K_Cu	-0,276	-0,153	-0,154	0,042	0,139	0,148	-0,091	0,015	**-0,335**	-0,210	-0,202	0,076	-0,211	-0,123	-0,190	-0,068
K_Fe	**-0,491**	**-0,453**	**-0,467**	**-0,361**	**-0,382**	**-0,424**	**-0,539**	**-0,353**	-0,281	**-0,337**	-0,400	-0,294	**-0,478**	**-0,437**	**-0,512**	-0,253
K_Mn	-0,206	-0,165	-0,267	-0,122	-0,258	-0,255	**-0,391**	-0,252	-0,150	-0,082	-0,238	-0,030	-0,160	-0,205	-0,301	-0,202
K_B	**-0,433**	**-0,457**	**-0,415**	**-0,449**	-0,282	-0,288	**-0,408**	-0,322	**-0,329**	-0,217	-0,126	0,066	**-0,385**	**-0,510**	**-0,579**	**-0,607**
Ca_Mg	**0,699**	**0,686**	**0,537**	**0,411**	**0,548**	**0,695**	**0,667**	**0,662**	**0,384**	**0,430**	**0,347**	0,308	0,234	**0,442**	**0,573**	**0,628**
Ca_S	**0,639**	**0,730**	**0,627**	**0,575**	**0,540**	**0,676**	**0,475**	**0,547**	**0,433**	**0,455**	**0,348**	0,313	0,242	**0,356**	**0,408**	0,325
Ca_Zn	0,308	0,215	-0,017	-0,035	**0,479**	**0,550**	**0,590**	**0,486**	**0,448**	**0,432**	**0,388**	0,144	**0,384**	**0,457**	**0,473**	**0,329**
Ca_Cu	0,098	0,223	0,125	0,241	**0,620**	**0,690**	**0,515**	**0,423**	0,097	0,198	0,129	0,200	0,202	**0,372**	**0,375**	**0,354**
Ca_Fe	-0,014	0,031	-0,142	-0,108	-0,008	-0,028	-0,192	-0,101	0,225	0,172	0,049	-0,077	0,203	**0,351**	0,295	0,316
Ca_Mn	-0,004	0,040	-0,113	0,001	-0,046	-0,032	-0,212	-0,144	0,128	0,158	-0,014	0,025	0,108	0,080	-0,006	-0,027
Ca_B	0,060	0,020	-0,074	-0,218	0,212	0,276	0,199	0,102	0,288	**0,360**	**0,378**	0,283	0,097	0,063	0,060	-0,140
Mg_S	0,212	**0,374**	**0,376**	**0,468**	-0,032	-0,039	-0,283	-0,196	0,009	0,026	0,017	0,002	0,086	0,035	-0,075	-0,222
Mg_Zn	-0,300	**-0,375**	**-0,433**	-0,311	0,195	0,112	0,170	0,032	0,091	0,071	0,120	-0,085	0,206	0,108	-0,002	-0,200
Mg_Cu	-0,281	-0,137	-0,156	0,055	0,129	0,067	-0,136	-0,219	**-0,380**	-0,252	-0,231	-0,094	0,111	0,171	0,068	-0,005
Mg_Fe	**-0,498**	**-0,452**	**-0,516**	**-0,378**	**-0,384**	**-0,470**	**-0,591**	**-0,505**	-0,173	-0,243	-0,285	**-0,351**	-0,021	-0,046	-0,218	-0,239
Mg_Mn	-0,192	-0,141	-0,267	-0,114	-0,218	-0,241	**-0,390**	-0,311	-0,095	-0,071	-0,225	-0,131	-0,005	-0,078	-0,202	-0,220
Mg_B	**-0,431**	**-0,460**	**-0,449**	**-0,464**	-0,191	-0,220	-0,298	-0,328	-0,172	-0,086	0,02140					

significativas foi de apenas 9,1 %. O teor de Ca na terceira amostragem também correlacionou significativamente com ALTID4. E, pode-se notar que árvores maiores nas duas primeiras épocas (ALTID1 e ALTID2) tendem a manter maiores teores de Ca na terceira época de amostragem; percebe-se também que árvores maiores na primeira e na segunda época (ALTID1 e ALTID2) tendem a ter menores teores de N na terceira amostragem. Os relacionamentos opostos entre as alturas de épocas precedentes e os teores de nutrientes na segunda e na terceira amostragem, podem refletir a mobilidade diferencial dos nutrientes nas árvores.

Na quarta amostragem, aos 22 meses, final de outro período seco, a freqüência de correlações significativas dos teores com a altura nesta época (ALTID4) volta a ser de 27,3 %, sendo positivas para B e Ca, e negativa para N. Cabe destacar, também, que para Ca as correlações entre os teores na quarta amostragem e as alturas em todas as épocas precedentes (ALTID1 a ALTID3) foram todas significativas e positivas, sugerindo que árvores maiores nessas épocas sempre tenderam a manter maiores teores de Ca o que se refletiu até na quarta amostragem; para B isso também ocorreu, exceto para ALTID1.

CONCLUSÕES

- O aumento da disponibilidade de água e nutrientes, via fertirrigação, promove maior índice de área foliar, maior produção de biomassa e maior acúmulo de nutrientes, em magnitudes variáveis com a idade e o nutriente, e influencia a eficiência de utilização de nutrientes.

- O aumento apenas da disponibilidade de água, via irrigação, não aumenta o índice de área foliar, mas eleva a área foliar específica, além de promover aumento no crescimento e na produção de biomassa até os 2 anos de idade, e aumentar a aquisição de P.

- O aumento da disponibilidade de água reduz a densidade básica da madeira;

- A manutenção de elevadas taxas de crescimento requer adequada suplementação nutricional, mesmo em condições de disponibilidade hídrica elevada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barros, N.F. & Comerford, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: Alvarez V., V.H.; Schaefer, C.E.G.R.; Barros, N.F.; Mello, J.W.V. de; Costa, L.M. da. Tópicos em Ciência do Solo, v.2, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.487-592, 2002.

Barros, N.F.; Neves, J.C.L. & Novais, R.F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. Visão Agrícola, 4:76-79, 2005.

Barros, N.F.; Novais, R.F.; Teixeira, J.L. & Fernandes Filho, E.I. NUTRICALC 2.0 – Sistema para calculo del balance nutricional y recomendacion de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. Bosque, 16:129-131, 1995.

Chesnin, L. & Yien, C.H. Turbidimetric determination of available sulfates. Soil Sci. Am. Proc., 15:149-151, 1950.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço de Produção de Informação. 1997. 212p.

Golfari, L.; Caser, R.L. & Moura, V.P.G. Zoneamento ecológico da região nordeste para experimentação florestal. Belo Horizonte, PNUD/FAO/IBDF, 1977. 116p.

Honeysett, J.L.; White, D.A.; Worledge, D.; & Beadle, C.L. Growth and water use of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in irrigated and rainfed plantations. Aust. For., 59:64-73, 1996.

Hunter, I. Above ground biomass and nutrient uptake of three tree species (*Eucalyptus camaldulensis, Eucalyptus grandis* and Dalbergia sissoo) as affected by irrigation and fertilizer, at 3 years of age, in southern India. For. Ecol. Manage, 144:189-199, 2001.

Landsberg, J.J. & Gower, S.T. Applications of physiological ecology to forest management. Academic Press, San Diego, CA, 1997. 354p.

Landsberg, J.J. & Waring, R.H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. For. Ecol. Manage., 95:209-228, 1997.

Larcher, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos. RiMa. 2000. 531p.

Leite, N.B. Avanços da silvicultura brasileira são significativos. Visão Agrícola, n.4, Jul/Dez, p.58-61, 2005.

Lieth, H. Modelling the primary productivity of the world. In: H. Lieth, H. & Whittaker, editors. Primary productivity of the biosphere. Springer-Verlag, New York, p.237-263, 1975.

Madeira, M.V.; Fabião, A.; Pereira, J.S.; Araújo, M.C. & Ribeiro, C. Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globulus* Labill. Plantations induced by different water and nutrient availability. For. Ecol. Manage., 171:75-85, 2002.

Martin-Neto, L. & Bayer, C. Sequestro de carbono pelo solo e o plantio direto. B. Inf. SBCS, 25(2):11-13, 2000.

Menezes, A.A. Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 98p. (Tese de Doutorado).

Myers, B.J.; Theiveyanathan, S.; O'Brien, N.D. & Bond, W.J. Growth and water use of *Eucalyptus grandis* and *Pinus radiate* plantations irrigated with effluent. Tree Physiol., 16:211-219, 1996.

Neves, J.C.L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e híbridos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado).

Olbrich, B.W.; Dye, P.J.; Christie, S.I. & Poulter, A.G. The water use characteristic of four eucalyptus clones in the Mkuzi irrigation trail. CSIR WNNR Division of Forest Science and Technology: p.1-40, 1992.

Oliveira, A.A.K. & Leite, A. da S. Projeto Leste: Folha Ipatinga – SE.24-Z-D-II, escala 1:100.000. v.20. Belo Horizonte, SEME/COMIG/CPRM, 2000. 58p.

Pereira, J.S. & Pallardy, S. Water stress limitations to tree productivity. In: Pereira, J.S. & Landsberg J.J. Editores. Biomass production by fast-growing trees. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht. p.37-56, 1989.

Santana, R.C.; Barros, N.F. & Comerford, N.B. Above-ground biomass, nutrient content, and nutrient use efficiency of eucalypt plantations growing in different sites in Brasil. New Zealand. J. For. Sci., 30:225-236, 2000.

Sefton, C.A.; Montagu, K. Atwell, B.J. & Conroy, J.P. Anatomical variation in juvenile eucalypt leaves accounts for differences in specific leaf area and CO_2 assimilation rates. Aust. J. Bot., 50:301-310, 2002.

Stape, J.L.; Gonçalves, J.L.M. & Gonçalves, A.N. Relationships between nursery practices and field performance for eucalyptus plantations in Brazil: a historical overview and its increasing importance. New Forests, 22:19-41, 2001.

Stape, J.L. Production ecology of clonal eucalyptus plantations in northesastern Brazil. Fort Collins, Colorado, Colorado State University, 2002, 225p. (Tese de Ph.D.).

Stewart, H.T.L.; Hopmans, P. & Flinn, D.W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. Env. Poll., 63:155-177, 1990.

Tedesco, M.J.; Volkweiss, S.J. & Bohnen, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Departamento de Solos - UFRGS,. v.1. 1985. 188p.

CAPÍTULO III

PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO DE CRESCIMENTO 3-PG PARA PLANTIOS DE EUCALIPTO NA REGIÃO CENTRO-LESTE DE MINAS GERAIS

RESUMO: A tentativa de estimar o potencial produtivo de determinada floresta, considerando a influência dos fatores determinantes desse potencial, vem sendo estudada há vários anos. Essa estimativa pode ser viabilizada por meio da modelagem. Dentre os diversos modelos existentes, o 3-PG (*Physiological Principles in Predicting Growth*) é um modelo baseado em processos que utiliza princípios fisiológicos para estimar a produtividade de povoamentos florestais eqüiâneos. O modelo 3-PG calcula, essencialmente, a quantidade de energia radiante que será absorvida pelo dossel, convertida em carboidratos e alocada nos diferentes componentes da árvore (folhas, tronco + galhos e raízes). O objetivo deste trabalho foi parametrizar o modelo baseado em processos 3-PG para plantios de eucalipto na região Centro-Leste de Minas Gerais. A parametrização foi realizada com base em dados obtidos na empresa CENIBRA S.A. e em dados constantes de relatórios, teses, e outros trabalhos lá desenvolvidos, acrescidos de dados e informações obtidas de um experimento de fertirrigação e de medições complementares obtidas em clones de *Eucalyptus grandis* e de *E. grandis x E. urophylla (“urograndis”)*. Na fase de calibração, o 3-PG proporcionou estimativas acuradas para biomassa de

folhas, índice da área foliar, biomassa de stem (tronco + galhos), diâmetro, volume de lenho e incremento médio anual, as quais refletem o crescimento da floresta. A parametrização em nível regional promove melhoria no desempenho do modelo 3-PG, e resulta em estimativas mais acuradas da produtividade em plantios de eucalipto. O modelo 3-PG, devidamente parametrizado, apresenta bom desempenho quanto às estimativas da produtividade de plantios de eucalipto, em escala regional, necessitando, contudo, ser aprimorado de modo a ser dotado de resolução em nível local, por exemplo, de talhão, e se constituir em efetiva ferramenta para subsidiar o manejo florestal no contexto de silvicultura de precisão.

PARAMETERIZATION THE 3-PG GROWTH MODEL FOR EUCALYPT STANDS IN THE CENTRAL-WESTERN REGION OF MINAS GERAIS

ABSTRACT: There have been several attempts in recent years to estimate the growth potential of forests as affected by determinant factors. This estimate may be viable through modeling. Among the models available, the 3-PG (*Physiological Principles in Predicting Growth*) is a model based in processes and it employs physiological principles to estimate the productivity of forest stands of same age. The 3-PG model basically calculates the amount of radiant energy that could be absorbed by the canopy and is converted to carbohydrates and allocated to different tree components (leaves, trunk + branches and roots). The objective of the present work was to parameterize the process-based model 3-PG to stands of eucalypt in the Central-Western region of Minas Gerais State, Brazil. The parameterization was performed based on data obtained from the CENIBRA S.A Company and on data from technical reports, thesis, and other in-Company studies. It was also used data and information obtained from a fertirrigation experiment and complementary measurements obtained in *Eucalyptus grandis* and *E. grandis x E. urophylla (“urograndis”)* clones. In the calibration phase, the 3-PG model led to accurate estimates for leaf biomass, leaf foliar area, stem (trunk + branches) biomass, diameter, wood volume and mean annual increment, which are variables that reflect the forest growth. The

parameterization in a regional scale leads to gains in the performance of the 3-PG model and results in more accurate estimates for the productivity of eucalypt stands. The 3-PG model, if adequately parameterized, presents as good performance regarding the estimated productivity of eucalypt stands in a regional scale. However, it needs further refinements in order to be used at local level, such as at stand level. After such adjustments it may prove and effective tool for helping forest management in a precision silviculture scenario.

INTRODUÇÃO

A tentativa de estimar o potencial produtivo de determinada floresta, considerando a influência dos fatores determinantes da produtividade, vem sendo perseguida há vários anos. Essa estimativa pode ser viabilizada por meio da modelagem. A modelagem pode ser entendida como a construção de uma representação matemática de sistemas biológicos que incorporam conhecimentos sobre mecanismos fisiológicos e ecológicos por meio de algoritmos preditivos (Johnsen et al., 2001).

De maneira geral, os modelos de simulação em agricultura podem ser divididos em dois grupos básicos (Passioura, 1996): empíricos (modelos de engenharia) e mecanísticos (modelos científicos). Os modelos empíricos baseiam-se em “correlações” entre variáveis de um sistema, sem que, necessariamente, exista uma relação de causa-efeito entre as mesmas, e são representados por equações, cujos coeficientes das variáveis não possuem interpretação biológica, sendo válidos apenas para as condições específicas em que foram estabelecidos. Já os modelos mecanísticos se baseiam em processos físicos e biológicos que governam o sistema em questão, o que lhes confere maior capacidade de extrapolação.

Na área florestal, diversos modelos mecanísticos, também denominados modelos baseados em processos (MBP) têm sido idealizados para estimar a produtividade de povoamentos florestais nos últimos 15 – 20 anos, como exemplo tem-se: LINKAGES (Pastor & Post, 1986), CENTURY (Parton et al., 1987), FOREST-BCG (Running & Gower, 1991); MAESTRO

(Wang & Jarvis, 1990); BIOMASS (McMurtrie et al., 1990); BEX (Bonan, 1991); TREGROW (Weinstein et al., 1991); PnET (Aber & Federer, 1992). Em geral, esses modelos apresentam obstáculos para utilização prática, em virtude da

calibrado, por meio de ajustes dos parâmetros ou relacionamentos para as condições específicas do ambiente, e posteriormente, validado, por meio da comparação dos dados observados e aqueles estimados pelo modelo.

Considerando a importância da cultura do eucalipto no Brasil, em que o mesmo participa com área cultivada de 3,4 milhões de hectares (Leite, 2005) com produtividade variando de 12 (1960) até 20 – 60 m^3/ha/ano atualmente (Leite, 2005) e a considerável disponibilidade de dados e de informações referentes à nutrição, crescimento e produtividade das florestas de eucalipto na região Centro-Leste de Minas Gerais, em áreas de propriedade da CENIBRA (Celulose Nipo Brasileira), é perfeitamente viável o procedimento de parametrização do modelo 3-PG para esta região.

Neste trabalho objetivou-se parametrizar o modelo baseado em processos 3-PG para plantios de eucalipto na região Centro-Leste de Minas Gerais.

O Modelo 3-PG

O 3-PG *(Physiological Principles in Predicting Growth)* foi originalmente proposto por Landsberg & Waring (1997) com intuito de preencher uma lacuna entre os modelos empíricos, baseados em dados de inventários florestais, e os de balanço de C, baseados em processos, caracterizando-o como um modelo híbrido que pode ser utilizado de forma mais pratica para estimativa da produtividade florestal. Sands & Landsberg (2002) apresentaram os procedimentos para parametrização e algumas modificações na estrutura do 3-PG para *Eucalyptus globulus* na Tasmânia e Oeste da Austrália. Essas e outras recentes modificações foram incorporadas por Sands (2004a,b) na versão mais atualizada do 3-PG, desenvolvida por meio de macros do Visual Basic em planilhas do Excel, a qual foi utilizada neste trabalho.

Descrição da estrutura do modelo 3-PG

O modelo é composto por cinco sub-modelos: produção de biomassa, alocação de biomassa, mortalidade de árvores, balanço de água no solo e caracterização dendrométrica, além da descrição dos fluxos de diversos tipos

de variáveis (entrada, estado e internas) e de parâmetros (fixos e dependentes do tempo) (Figura 1).

Essencialmente, o modelo 3-PG estima a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel (RFAA) por meio da lei de Beer, considerando que a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é 50 % da radiação solar (RS). A lei de Beer descreve o decréscimo exponencial da luz, ao percorrer verticalmente toda extensão da cobertura vegetal, por meio da seguinte equação:

$\mathbf{I_z = I_0 \cdot e^{-k \cdot IAF}}$ em que,

$\mathbf{I_z}$ = intensidade da radiação a uma determinada altura dentro da cobertura vegetal;

$\mathbf{I_0}$ = intensidade de radiação no topo da cobertura vegetal, representa a RFA;

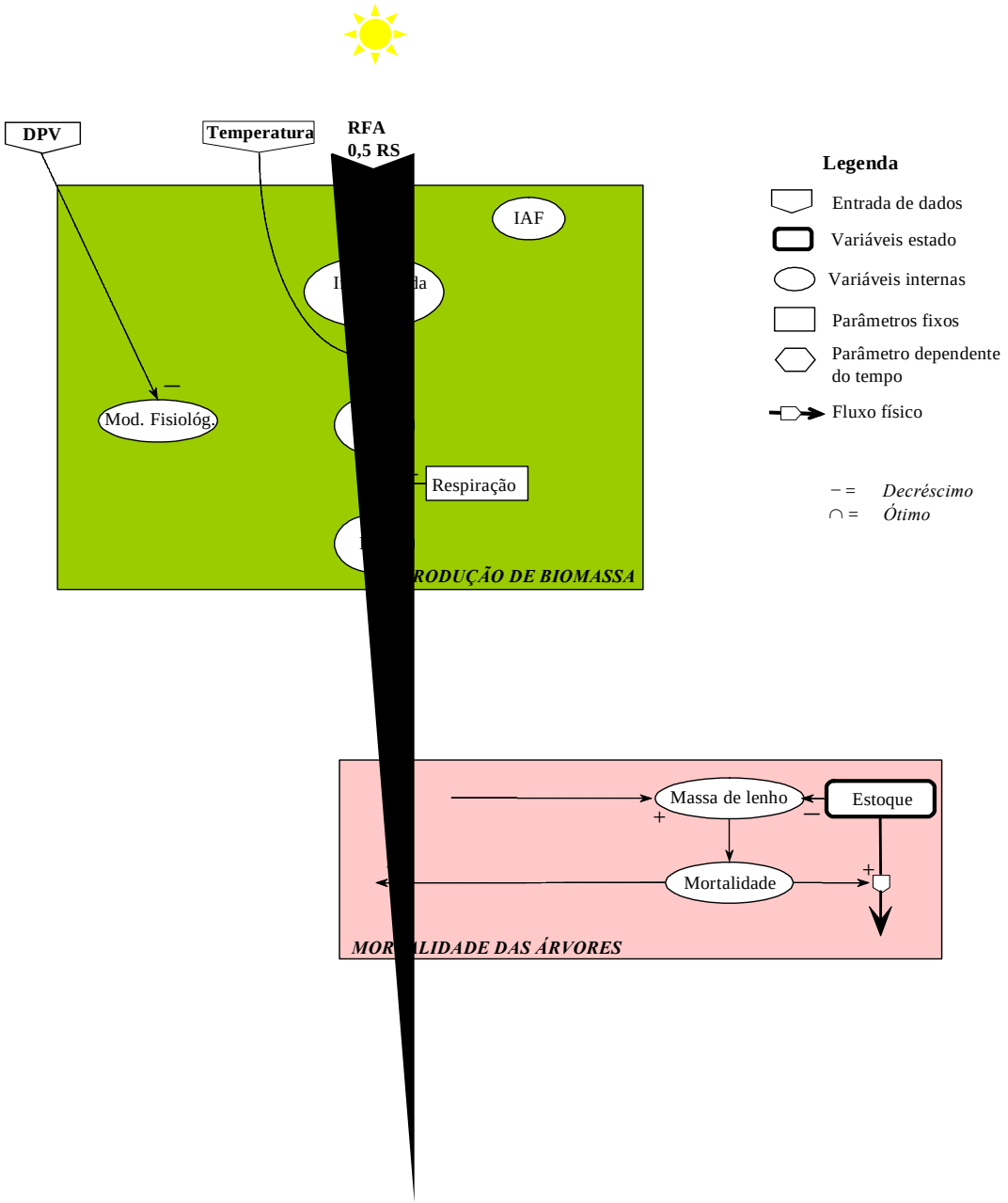
k = coeficiente de extinção ou atenuação, representa o grau de diminuição da radiação no interior da cobertura vegetal, seja por absorção ou espalhamento;

IAF = soma total da superfície foliar, de cima para baixo, até a altura z, por unidade de área de solo (IAF acumulado) (Larcher, 2000).

A lei de Beer é uma forma simplificada para calcular a quantidade da RFAA, e tem sido utilizada em vários modelos (Century, Cenw, Fullcam, G'day, Gendec, Grazplan, Linkages, Promod e 3PG) desenvolvidos na Austrália (Wang, 2001).

Quantificada a RFAA pelo dossel, o 3-PG estima a quantidade de CO_2 fixado por unidade de energia radiante absorvida (fótons), que representa a eficiência quântica do dossel (α_C). O valor dessa eficiência de conversão é calculado a partir de um valor de eficiência quântica máxima do dossel (α_{Cx}) que considera as limitações ambientais impostas pelo déficit de pressão de vapor (f_{DPV}), pela temperatura (f_T), pelas geadas (f_F), pela disponibilidade hídrica (f_A) e nutricional (f_N) e pela idade da população (f_I).

Essas limitações ambientais são incorporadas ao 3-PG pela multiplicação de moduladores adimensionais, apropriadamente calculados, cujos valores variam de 0 (condições de alta limitação) a 1 (condições sem limitação). Já a partir da versão do modelo proposta por Sands & Landsberg (2002) foram realizadas várias modificações na estimativa desses moduladores. Dentre as


DPV
Temperatura
RFA
0,5 RS
IAF
Mod. Fisiológ.
Respiração
Massa de lenho
Estoque
Mortalidade
Legenda
Entrada de dados
Variáveis estado
Variáveis internas
Parâmetros fixos
Parâmetro dependente do tempo
Fluxo físico
− = Decréscimo
∩ = Ótimo

quais, a separação entre os moduladores que afetam diretamente o processo fotossintético daqueles que são independentes desse processo. Os moduladores que tratam do balanço de água no solo (f_A), déficit de pressão de vapor (f_{DPV}) e idade da população (f_I) compõem o chamado modulador fisiológico (φ), definido como:

$$\varphi = f_I \min \{ f_{DPV} , f_A \} \quad (1)$$

O modulador φ atua diretamente no processo fotossintético. Os moduladores f_{DPV} e f_A não atuam de forma aditiva ou multiplicativa, e sim, considerando a limitação mais restritiva (modulador de menor valor), ou seja, se a água no solo é mais limitante ao crescimento do que o DPV, então o modulador f_A atuará limitando o crescimento no período de estimativa considerado (Landsberg et al., 2001).

Os outros moduladores f_T, f_F e f_N, que atuam de forma independente do processo fotossintético são aplicados multiplicativamente (Sands & Landsberg, 2002). Portanto, a eficiência quântica do dossel é calculada da seguinte forma:

$$\alpha_C = \alpha_{Cx} f_T f_F f_N \varphi \quad (2)$$

O efeito da fertilidade do solo influência, indiretamente, a eficiência quântica do dossel, por meio do f_N, o qual depende do nível de fertilidade do solo (FR), que pode variar de 0 (baixa fertilidade) até 1 (sem limitação nutricional). O relacionamento entre o valor de FR e o modulador de fertilidade (f_N) é dado por:

$$f_N(FR) = 1 - (1 - f_{N0})(1 - FR)^{n_{fN}} \quad (3),$$

em que, f_{N0} é o valor de f_N quando FR = 0 e n_{fN} é a potência da equação. O valor de FR é obtido empiricamente, baseando-se em características físicas e químicas do solo, e dados sobre crescimento florestal, além da própria experiência do manejador florestal. A maioria dos trabalhos relacionados ao 3-PG não define com clareza a obtenção de FR, com exceção apenas da classificação atribuída por Grant et al. (1995) citada por Bataglia & Sands (1997); embora, também, a mesma não seja definida a contento.

Para contornar a dificuldade na determinação de FR, que é utilizado como variável de entrada no modelo 3-PG, vários trabalhos consideram a mesma como variável ajustável (Landsberg et al., 2001; Landsberg et al., 2003), ou seja, dependo das condições locais, a mesma pode ser ajustada para possibilitar melhor relacionamento entre os valores observados e aqueles estimados pelo modelo, mantendo-se as outras variáveis de entrada constantes. Landsberg et al. (2003) propõem os valores de 0,6 e 1 para f_{N0} e n_{fN}, respectivamente.

Após a consideração de todas essas limitações impostas pelo ambiente, por meio dos moduladores, o 3-PG estima o relacionamento entre a produção primária bruta (PPB) e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel (RFAA):

$$\mathbf{PPB} = \alpha_{\mathbf{C}}\ \mathbf{RFAA} \quad \therefore \quad \alpha_{\mathbf{Cx}}\ f_{\mathbf{T}}\ f_{\mathbf{F}}\ f_{\mathbf{N}}\ \varphi\ \mathbf{RFAA} \qquad (4)$$

A relação entre produção primária líquida (PPL) e PPB equivale a um coeficiente de uso do C (CEU) (Gifford, 2001). Avaliando os fluxos de C em 12 localidades com grande variabilidade climática (altitude, precipitação, temperatura), radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (1934 – 3030 MJ/m^2/ano) e diferentes espécies dominantes (*Pinus radiata, Querqus garryana, Alnus rubra, Juniperus occidentalis*, etc), Waring et al. (1998) constataram que a relação PPL/PPB foi pouco variável (0,47 $\pm$ 0,04). Essa constância da relação PPL/PPB em povoamentos florestais adultos tem sido encontrada por outros autores (Landsberg & Gower, 1997; Law et al., 2000, 2001); não obstante, Mäkelä & Valentine (2001) constataram declínio significativo na relação PPL/PPB em função da altura e idade de povoamentos de *Pinus sylvestris*. O 3-PG considera um valor fixo em torno de 0,47 para a referida relação, o que elimina a necessidade de cálculos referentes às perdas de C por meio da respiração.

A alocação da PPL é realizada primeiramente para as raízes, considerando os moduladores fisiológico (φ) e nutricional (f_N). Além do efeito sobre a $\alpha_{\mathbf{C}}$, a fertilidade do solo influencia a alocação de carboidratos para o sistema radicular, por meio da variável “m”, que depende linearmente do valor de FR:

$$\mathbf{m = m_0 + (1 - m_0)\ FR} \qquad (5)$$

em que, “m_0” será igual a “m” em solos de baixa fertilidade (FR = 0). O valor de “m” é incluído em equação empírica que calcula a alocação de carboidratos para as raízes:

$$\eta_R = \frac{\eta_{Rx}\eta_{Rn}}{\eta_{Rn} + (\eta_{Rx} - \eta_{Rn})m\varphi} \qquad (6)$$

em que

η_R = coeficiente de alocação para raízes;
η_{Rx} = valor máximo do coeficiente de alocação para raízes;
η_{Rn} = valor mínimo do coeficiente de alocação para raízes;
φ = modulador fisiológico.

Quanto maior a limitação nutricional e ou hídrica ($\varphi = f_I \min\{f_{DPV}, f_A\}$), representada por meio dos respectivos moduladores, maior será o coeficiente de alocação de carbono para as raízes (n_R), em acordo com princípios estabelecidos por Beets & Whitehead (1996) e Landsberg & Gower (1997).

Após a alocação de C para as raízes, o modelo calcula a alocação para as folhas e para o tronco (casca, lenho e galhos), por meio de equações alométricas que descrevem a massa de folhas (M_F), incluindo a queda de folhas acumulada, e de tronco (M_T) em função do diâmetro à altura do peito (DAP) (Landsberg & Waring, 1997; Sands & Landsberg, 2002):

$$M_F = a_F DAP^{n_F} \qquad (6a)$$

$$M_T = a_T DAP^{n_T} \qquad (6b)$$

Os coeficientes multiplicativos (a_F e a_T) e potenciais (n_F e n_T) relacionados com a M_F e a M_T são utilizados para calcular o decréscimo da relação ($p_{F,T}$) entre os coeficientes de alocação de folhas (n_F) e de tronco (n_T):

$$p_{F,T} = \frac{n_F}{n_T} = \left(\frac{dM_F/dDAP}{dM_T/dDAP}\right) = \frac{a_F n_F DAP_F^{(n-1)}}{a_T n_T DAP_T^{(n-1)}} \equiv a_p DAP^{n_p} \qquad (6c)$$

em que, $n_p = \ln(p_{F,T}20/p_{F,T}2)/\ln(10)$ e $a_p = p_{F,T}2/2n_p = p_{F,T}20/20n_p$. Os valores de $p_{F,T}2$ e $p_{F,T}20$, representam a relação $p_{F,T}(n_F/n_T)$ para os DAP do tronco de 2 e de 20 cm, respectivamente (Sands & Landsberg, 2002).

O balanço de água no solo é calculado pela diferença entre precipitação (mais irrigação quando aplicada) e a transpiração, calculada usando a equação de Penman-Monteith com o apropriado valor de condutância estomática do dossel (g_c), e interceptação da água pelo dossel. A condutância estomática em nível de folha (g_s) é calculada baseando-se num valor de condutância estomática máximo (g_{smax}), o qual decresce na dependência das limitações impostas pelo ambiente, por meio do modificador fisiológico (φ, eq. 1). O produto entre a g_s e o IAF, para valores de IAF até 3, resulta no valor da g_c (Landsberg & Waring, 1997; Sands & Landsberg, 2002). Landsberg & Gower (1997) relacionaram as características hidráulicas de solos com diferentes teores de argila para estimar o conteúdo de água disponível do mesmo. Esse modulador considera o perfil de solo como uma camada única. Maiores detalhes sobre as pressuposições incorporadas nos diversos compartimentos do modelo podem ser encontrados em Landsberg & Waring (1997) e Sands & Landsberg (2002).

Variáveis de entrada e de saída do modelo 3-PG

As principais variáveis de entrada para execução do modelo 3-PG são: climatológicas (latitude, longitude, médias mensais de temperatura, radiação e precipitação); solo (fertilidade, textura, disponibilidade de água); planta (biomassa inicial de folha, stem (tronco + galhos) e raízes, número de árvores, coeficientes de equações alométricas; e as fisiológicas: eficiência quântica do dossel, condutância estomática máxima do dossel).

A partir desses dados, o modelo estima, em intervalos mensais: biomassa de stem (tronco + galhos), folhas e raízes, diâmetro do caule, área basal do povoamento, balanço de água no solo, índice de área foliar, queda de “litter”, densidade e volume do lenho (Quadro 1).

Quadro 1. Descrição dos principais dados de entrada e de saída e unidades utilizados pelo modelo 3-PG

Descrição	Símbolo	Nome	Unidade
Entrada			
Culturais			
Idade corrente do povoamento	t	StandAge	ano
Idade inicial e final de simulação	S_A, E_A	-	ano
Número de árvores do povoamento	N	StemNo	árvores/ha
Biomassa de folhas	W_F	WF	t/ha
Biomassa de raízes	W_R	WR	t/ha
Biomassa do lenho, incluindo galhos e casca	W_S	WS	t/ha
Climáticos			
Média do número de dias frios por mês	d_F	FrostDays	d/mês
Radiação solar incidente média diária	Q	SolarRad	$MJ/m^2.d$
Temperatura máxima	T_{Max}	Tmax	°C
Temperatura mínima	T_{Min}	Tmin	°C
Temperatura média diária	T_a	Tav	°C
VPD médio diário	D	VPD	mbar
Irrigação aplicada	R_I	Irrig	mm/mês
Solo			
Classe textural do solo	SC	SoilClass	(S, SL,CL, C)
Nível de fertilidade corrente	FR	FR	(0 – 1)
Máxima água disponível	θ_{sx}	maxASW	mm
Mínima água disponível	θ_{sn}	minASW	mm
Saída			
Biomassa de folhas	W_F	WF	t/ha
Biomassa de raízes	W_R	WR	t/ha
Biomassa de tronco + galhos	W_S	WS	t/ha
Índice de área foliar	L	LAI	m^2/m^2
Diâmetro médio à altura do peito	B	AvDBH	cm
Área basal	A	BasArea	m^2/ha
Volume de lenho	V	StandVol	m^3/ha
Incremento médio anual de lenho	MAI	MAI	$m^3/ha.ano$
Água disponível no solo	θ_s	AWS	mm
Transpiração		Transp	mm
Eficiência do uso da água	ω	WUE	g/mm
Total de “litter” produzido		TotalLitter	t/ha.ano
Raízes mortas		delRoots	t/ha
Modificadores do crescimento (Idade, Déficit de pressão do vapor, Temperatura, Dias frios, Água no solo e Nutrição)		(f_I, f_{DPV}, f_T, f_F, f_A e f_N)	-
Produção primária bruta	P_g	GPP	t/ha
Produção primária líquida	P_n	NPP	t/ha
Eficiência quântica do dossel	α_C	abvgrndEpsilon	g/MJ
Eficiência de utilização da luz (baseada na biomassa da parte aérea)	ε	totalEpsilon	g/MJ

MATERIAL E MÉTODOS

Experimento utilizado para a parametrização do modelo 3-PG

A parametrização do modelo 3-PG para as condições de povoamentos de eucalipto na região Centro-Leste de Minas Gerais, em áreas pertencentes à CENIBRA (Celulose Nipo – Brasileira S.A), foi realizada com base em dados obtidos pela empresa e em dados constantes de relatórios, teses, e outros trabalhos lá desenvolvidos, acrescidos de dados e informações obtidas de um experimento de fertirrigação (capítulo II, nesta tese) e de medições complementares.

O experimento de fertirrigação foi instalado no município de Santana do Paraíso, Estado de Minas Gerais, localizado a 19°18’23’’ S, 42°22’46’’ e 220 m de altitude, na bacia do Rio Doce, utilizando quatro clones (57, 129 e 2719 – *Eucalyptus grandis*) e 1215 – híbrido de *E. grandis x E. urophylla, “urograndis”*, em idades de 1, 2, 3 e 4 anos, em uma área de 13,4 ha. Além desses dados, foram instaladas parcelas em povoamentos localizados nos municípios de Santana do Paraíso (região do Rio Doce) e Antônio Dias, Ferros e Mesquita (região de Cocais), MG, compreendendo quatro materiais genéticos (57, 129 e 7074 - *Eucalyptus grandis* e 1213 - híbrido de *E. grandis x E. urophylla, “urograndis”*), plantados em posição de encosta, abrangendo plantas jovens (idade de três meses) e adultas (1,8 a 4 - 6 anos).

Os dados climáticos do experimento de fertirrigação foram obtidos por meio de uma estação climatológica localizada na região de Rio Doce, próxima ao experimento. A partir dessa estação, foram obtidos dados médios mensais de precipitação, temperaturas máxima e mínima, radiação solar global e déficit de pressão de vapor para o período de outubro de 2001 a outubro de 2004 (Quadro 2).

O solo em que foi instalado o experimento de fertirrigação é um Cambissolo Háplico.

Quadro 2. Dados climáticos referente ao período de 10/2001 até 12/2005 de estação próxima à área experimental

Mês	Tmed		Tmax		Tmin		Prec.		Rad. tot.	
	$\overline{Y}$	sd	$\overline{Y}$	sd	$\overline{Y}$	sd	$\overline{Y}$	sd	$\overline{Y}$	sd
	---------- °C ----------						-------- mm --------		----- MJ/m^2.dia -----	
Jan	25,2	0,2	31,2	0,4	21,6	0,2	283,3	33,2	18,4	0,9
Fev	25,1	0,3	31,4	0,7	20,8	0,2	292,5	118,0	19,9	1,6
Mar	25,1	0,3	31,5	0,6	21,1	0,2	116,3	28,0	19,0	0,9
Abr	23,9	0,2	30,6	0,6	19,7	0,1	82,0	22,2	16,8	0,8
Maio	21,8	0,2	28,6	0,5	17,3	0,5	37,9	11,9	13,7	0,7
Jun	20,0	0,3	27,7	0,7	15,1	0,6	18,4	10,7	13,1	0,8
Jul	19,5	0,4	27,0	0,6	14,4	0,6	13,6	10,7	12,9	0,6
Ago	20,8	0,5	28,5	0,4	15,2	0,6	11,4	3,8	15,6	0,2
Set	22,3	0,3	29,3	0,6	17,0	0,7	35,6	22,8	15,3	1,1
Out	24,1	0,2	31,0	0,5	18,9	0,3	67,9	18,2	18,8	1,2
Nov	25,0	0,3	31,2	0,5	20,7	0,2	162,1	86,4	18,2	0,3
Dez	25,2	0,2	31,4	0,4	21,1	0,2	311,0	67,6	21,9	2,3

Tmed = temperatura média; Tmax = temperatura máxima; Tmin = temperatura mínima; Prec. = precipitação; Rad. tot = radiação global total; $\overline{Y}$ = média; sd = erro padrão da média.

Obtenção das variáveis utilizadas para parametrizar o modelo 3-PG

Biomassa dos compartimentos

No experimento de fertirrigação em cada parcela experimental, composta de aproximadamente 40 plantas, foi abatida uma árvore da bordadura com DAP em torno da média, dos clones 57 e 129, no espaçamento (3 x 3,33), nas idades de 1, 2 e 3 anos, do tratamento fertirrigado - FI. Após o abate, os componentes da árvore (folha, galhos, casca e lenho) foram separados e pesados (matéria fresca). Para a estimativa do peso da matéria seca desses componentes, após a homogeneização, foi retirada uma amostra que foi pesada (matéria fresca) e posta a secar em estufa de circulação forçada a 65 ºC, até peso constante. A partir do peso da matéria fresca total de cada compartimento e da relação média entre o peso da matéria seca e fresca de cada amostra, foi obtido o peso da matéria seca total dos respectivos compartimentos para cada árvore abatida.

Equações alométricas

A partir de dados dendrométricos (DAP e altura), obtidos em coletas no campo, e outros dados fornecidos pela empresa, de medições realizadas anteriormente, foi possível obter uma seqüência maior de informações, em mais idades para os clones 57, 129, 7074 e 1213. Com esses dados foram ajustadas equações alométricas, com o auxílio do programa Statistica 6.0, que descrevem o relacionamento da biomassa de folhas (M_F), da biomassa de galhos + tronco (stem) (M_T) e altura (m) em função do DAP (Landsberg & Waring, 1997; Sands & Landsberg, 2002). Essas equações foram linearizadas e testadas, utilizando o SAEG 5.0, para cada variável (altura, biomassa de folhas e de tronco + galhos) individualmente, para verificar se os modelos ajustados por material genético diferiam entre si. Para a obtenção da equação alométrica que descreve o relacionamento da massa de folhas com o DAP, é necessário o conhecimento de toda a biomassa de folhas produzida pela planta até o momento da quantificação. Para tanto, assumiu-se que a taxa de queda de “litter” é igual 60 % do valor da serapilheira medida; então com os dados medidos de serapilheira, estimou-se a taxa anual de queda de “litter”. A partir desta taxa e com a biomassa atual de folhas nas árvores, calculou-se a biomassa total de folhas (M_T) produzidas, a qual foi usada para obtenção das seguintes equações alométricas: $M_F = a_F DAP^{nF}$, $M_T = a_T DAP^{nT}$ e $H = a\ DAP^{n}$, em que, M_F = biomassa total de folhas, M_T = biomassa total de stem, a_F e a_T = coeficientes multiplicativos, n_F e n_T = coeficientes potenciais e H = altura.

Área foliar específica (AFE), densidade básica da madeira (D_b) e fração de galhos e casca em relação à biomassa da parte aérea excluindo as folhas (F_{gc})

A determinação da AFE, F_{gc} e D_b foram realizadas nas árvores utilizadas para as avaliações dendrométricas para os clones 57, 129, 7074 e 1213.

Para a área foliar específica foi retirada uma amostra de 50 g, coletada após a homogeneização de toda a folhagem, no momento da quantificação da biomassa das árvores médias. As folhas foram conduzidas para o laboratório

em sacolas plásticas mantidas refrigeradas em caixa de isopor. A AFE (m^2/kg) foi calculada pela relação entre área foliar, determinada em um medidor automático de área foliar LI-3000 (LI-Cor, EUA), e da massa seca das folhas.

Para a densidade básica da madeira foram retirados três discos de 3 cm de espessura das posições base, meio e topo, de cada uma das quatro árvores, amostradas. A média do valor de densidade encontrado nessas três posições deu origem ao valor da densidade de cada árvore abatida.

A fração de galhos e casca em relação a biomassa da parte aérea, excluindo as folhas, foi obtida a partir dos dados das avaliações da biomassa dos compartimentos das árvores.

Para avaliar a variação dessas características com a idade dos povoamentos realizou-se o ajuste de equações não-lineares, propostas por Sands & Landsberg (2002), para AFE, para D_b e para F_{gc} em função da idade, considerando os clones (57, 129, 7074 e 1213), com auxílio do software Statistica 6.0.

Calibração do modelo 3-PG

Os procedimentos utilizados para calibração do modelo foram semelhantes àqueles descritos por Landsberg et al. (2003). A partir das medições das variáveis, descritas no item obtenção das variáveis utilizadas para parametrizar o 3-PG, foi possível obter os valores dos parâmetros das equações, considerando os clones conjuntamente. Os outros parâmetros foram obtidos a partir de dados da literatura (Quadro 3). Esses parâmetros foram utilizados pelo modelo 3-PG para obter estimativas da biomassa de folhas, IAF, biomassa de stem (tronco + galhos), volume de lenho, incremento médio anual (IMA) e DAP, e compará-las com os valores observados no experimento de fertirrigação para as respectivas variáveis, considerando conjuntamente os clones 57 e 129.

Na comparação dos dados estimados pelo modelo e observados no experimento, utilizou-se o tratamento sem limitação hídrica e nutricional (FI). Portanto, o modelo foi executado considerando não haver limitação por água (“Soil class = 0”) e por nutrientes (FR = 1). Para permitir um melhor ajuste entre

Quadro 3. Principais parâmetros do modelo 3-PG (C1) depois do procedimento de calibração a partir do experimento de fertirrigação[1/], considerando valores médios dos clones (57, 129, 7074 e 1213), a forma de obtenção dos mesmos (C2), além de outras parametrizações realizadas por Sands & Landsberg (2002) (C3), Stape et al. (2004) (C4) e Almeida et al. (2004b) (C5)

Parâmetro	Símbolo	U	C1	C2	C3	C4	C5
Biomassa inicial de folhas[2/]	W_F	t/ha	2,63/3,87	O	2,63/3,87	2,63/3,87	2,63/3,87
Biomassa inicial de stem (tronco + galhos)[2/]	W_S	t/ha	3,00/3,95	O	3,00/3,95	3,0/3,95	3,0/3,95
Biomassa inicial de raiz[2/]	W_R	t/ha	7,22/8,95	O	7,22/8,95	7,22/8,95	7,22/8,95
Partição folha/stem para D = 2 cm	pFS2	-	1	O	1	0,096	0,7
Partição folha/stem para D = 20 cm	pFS20	-	0,09	O	0,15	0,034	0,1
Constante do relacionamento entre massa do stem vs D	stemConst	-	0,1076	O	0,095	0,065	0,045
Potência do relacionamento entre massa do stem vs D	stemPower	-	2,51	O	2,4	2,68	2,812
Fração máxima da PPL para raízes	pRx	-	0,5	L	0,8	0,8	0,6
Fração mínima da PPL para raízes	pRn	-	0,1	L	0,25	0,2	0,1
Taxa de queda de “litter” para t = 0	gammaF0	1/mês	0,001	P	0,001	0,001	0,0017
Taxa de queda de “litter” para plantios em idade adulta	gammaF1	1/mês	0,1	A	0,027	0,07	0,13
Idade em que a taxa de queda de “litter” é ½($\sigma_0 + \sigma_1$)	tgammaF	mês	12	L	12	4	13
Taxa média de ciclagem radicular	Rttover	1/mês	0,015	P	0,015	0,015	0,025
Temperatura mínima para o crescimento	Tmin	ºC	8	L	8,5	8	8
Temperatura ótima para o crescimento	Topt	ºC	25	L	16	25	25
Temperatura máxima para o crescimento	Tmax	ºC	40	L	40	40	36
Valor de f_N quando FR = 0	fN0	-	0,5	P	1	0,5	0,5
Potência de (1 – FR), na expressão do f_N	fNn	-	1	P	0	1	1
Nível de fertilidade (FR)	FR	-	1/0,9	A	0,9	0,9	0,9
Define a resposta estomática ao déficit de pressão do vapor	CoeffCond	$mbar^{-1}$	0,04	L	0,05	0,0324	0,047
Parâmetro relacionado com a disponibilidade de água no solo	Soil Class	-	0/cl	A	cl	cl	cl

continua...

Parâmetro	Símbolo	U	C1	C2	C3	C4	C5
Idade máxima do “stand” para computar a idade relativa	MaxAge	Ano	9	L	50	9	9
Potência para idade relativa (f_{age})	nAge	-	4	L	4	4	4
Idade relativa igual a 0,5	rAge	-	0,95	L	0,95	0,95	0,95
Condutância máxima do dossel	MaxCond	m/s	0,02	L	0,02	0,02	0,021
IAF em que a condutância do dossel é máxima	LAIgcx	m^2/m^2	3,33	P	3,33	3,33	3
Condutância da camada limite do dossel	BLcond	m/s	0,2	P	0,2	0,2	0,2
Massa de lenho máxima para cada 1000 árvores/ha	wSx1000	kg/arv.	300	P	300	300	180
Área foliar específica para plantios em idade zero	SLA0	m^2/kg	17	O	11	11	10,5
Área foliar específica para plantios em idade adulta	SLA1	m^2/kg	8,24	O	4	8,5	8
Idade na qual a área foliar específica = ½($\sigma_0 + \sigma_1$)	tSLA	ano	0,81	O	2,5	2,5	2,5
Interceptação máxima de água pelo dossel	MaxIntcptn	-	0,15	L	0,15	0,15	0,15
IAF em que a interceptação de água pelo dossel é máxima	LAImaxIntcptn	m^2/m^2	3,33	P	0	0	3
Coeficiente de extinção da RFAA pelo dossel	k	-	0,47	L	0,5	0,4	0,5
Idade de fechamento do dossel	fullCanAge	Ano	1	A	0	1,5	0
Eficiência quântica máxima do dossel	Alpha	-	0,07	A	0,07	0,08	0,068
Relação PPL/PPB	Y	-	0,47	L	0,47	0,5	0,47
Fração de galho e casca para plantios em idade inicial (zero)	fracBB0	-	0,79	O	0,75	0,75	0,3
Fração de galho e casca para plantios em idade adulta	fracBB1	-	0,11	O	0,15	0,15	0,12
Idade na qual a fração de galhos e casca = ½($p_{BB0} + p_{BB1}$)	tBB	Ano	1,35	O	2	2	5
Densidade básica mínima – plantios em idade inicial (zero)	rhoMin	t/m^3	0,356	O	0,450	0,450	0,480
Densidade básica máxima – plantios em idade adulta	rhoMax	t/m^3	0,500	O	0,450	0,450	0,520
Idade na qual a densidade básica = ½ ($\rho_0 + \rho_1$)	trho	ano	2,1	O	4	4	4

[1/] utilizando apenas dados do tratamento fertirrigado (FI) para os clones (57 e 129); U = unidade; [2/] biomassa inicial de folhas, stem (tronco + galhos) e raiz utilizadas no procedimento de validadação para as regiões de Rio Doce e de Cocais, Sabinópolis e Virginópolis, respectivamente; D = diâmetro; O = observado; L = literatura; P = Padrão (modelo original); A = ajustado; Soil class = item de inicialização do 3-PG relacionado com a disponibilidade de água no solo, nesse caso, o valor zero indica não haver limitação hídrica pelo solo e foi utilizado no procedimento de calibração; cl = indica a classe textural do solo (argiloso) que foi utilizado para validação do 3-PG; IAF = índice de área foliar; PPL = produção primária líquida e PPB = produção primária bruta.

os dados observados no experimento e àqueles estimados pelo modelo realizaram-se alterações apenas em três parâmetros: eficiência quântica máxima do dossel (α_{Cx}), relação das partições de folha e de stem para DAP igual a 20 cm (pFS_{20}) e taxa máxima de queda de "litter". Em estudos sobre análise de sensibilidade, esses são considerados os mais influentes (Landsberg & Waring, 1997; Law et al., 2000; Waring & McDowell, 2002; Landsberg et al., 2001).

Validação do modelo 3-PG

Após os procedimentos de calibração, foram realizadas estimativas de produtividade (volume de tronco) e de biomassa de folhas durante um período de simulação de um a sete anos, utilizando a calibração obtida neste trabalho e outras realizadas na Austrália (Sands & Landsberg, 2002) e no Brasil (Almeida et al., 2004a; Stape et al., 2004) (Quadro 3). Essas estimativas foram comparadas com dados de produtividade independentes, obtidos do inventário florestal contínuo e pré-corte (Rio Doce, Cocais, Sabinópolis e Virginópolis) e com dados de biomassa de folhas, obtidos em medições de campo (Rio Doce e Cocais).

A sensibilidade do 3-PG em diferenciar a produtividade (IMA, m^3/ha/ano) de diferentes regiões da CENIBRA, quando se utilizam dados climáticos reais (medições em base mensal) e médios (média de dados climáticos referente ao período de 1985 – 2005 – "Normais Climatológicas") foi também avaliada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parametrização e calibração do modelo 3-PG

O modelo 3-PG foi calibrado a partir dos ajustes dos valores dos parâmetros relacionados com a eficiência quântica máxima do dossel (α_{Cx}), com a relação das partições de folha e de lenho para DAP igual a 20 cm (pFS_{20}) e com a taxa máxima de queda de "litter", além da inclusão dos demais

parâmetros (Quadro 3). O resultado dessa calibração permitiu ajustar os dados estimados pelo 3-PG àqueles observados no experimento de fertirrigação, considerando as seguintes variáveis: biomassa de folhas, índice de área foliar, biomassa de stem (tronco + galhos), diâmetro à altura do peito, volume de lenho e incremento médio anual para as idades de um a três anos (Figura 2).

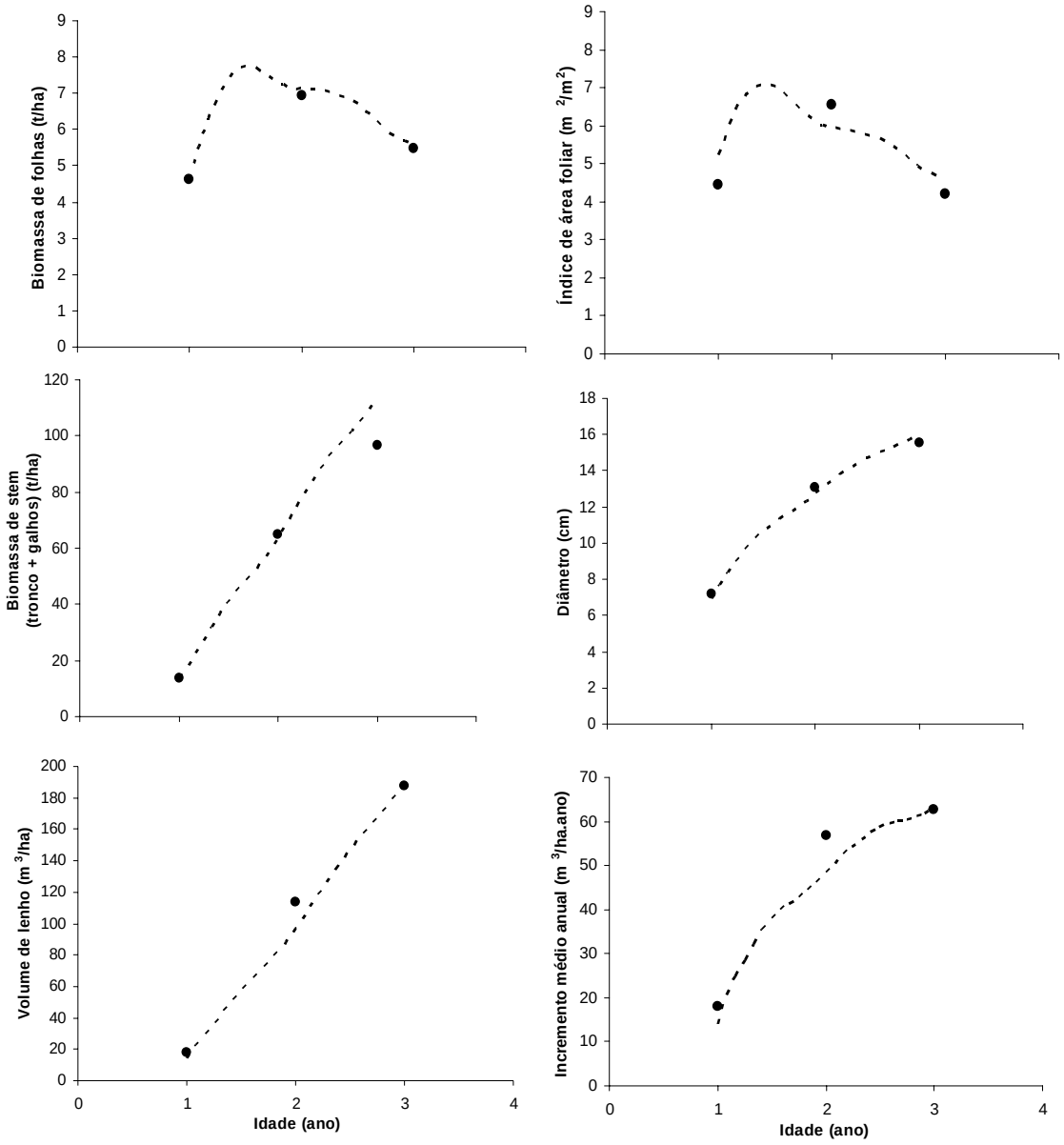


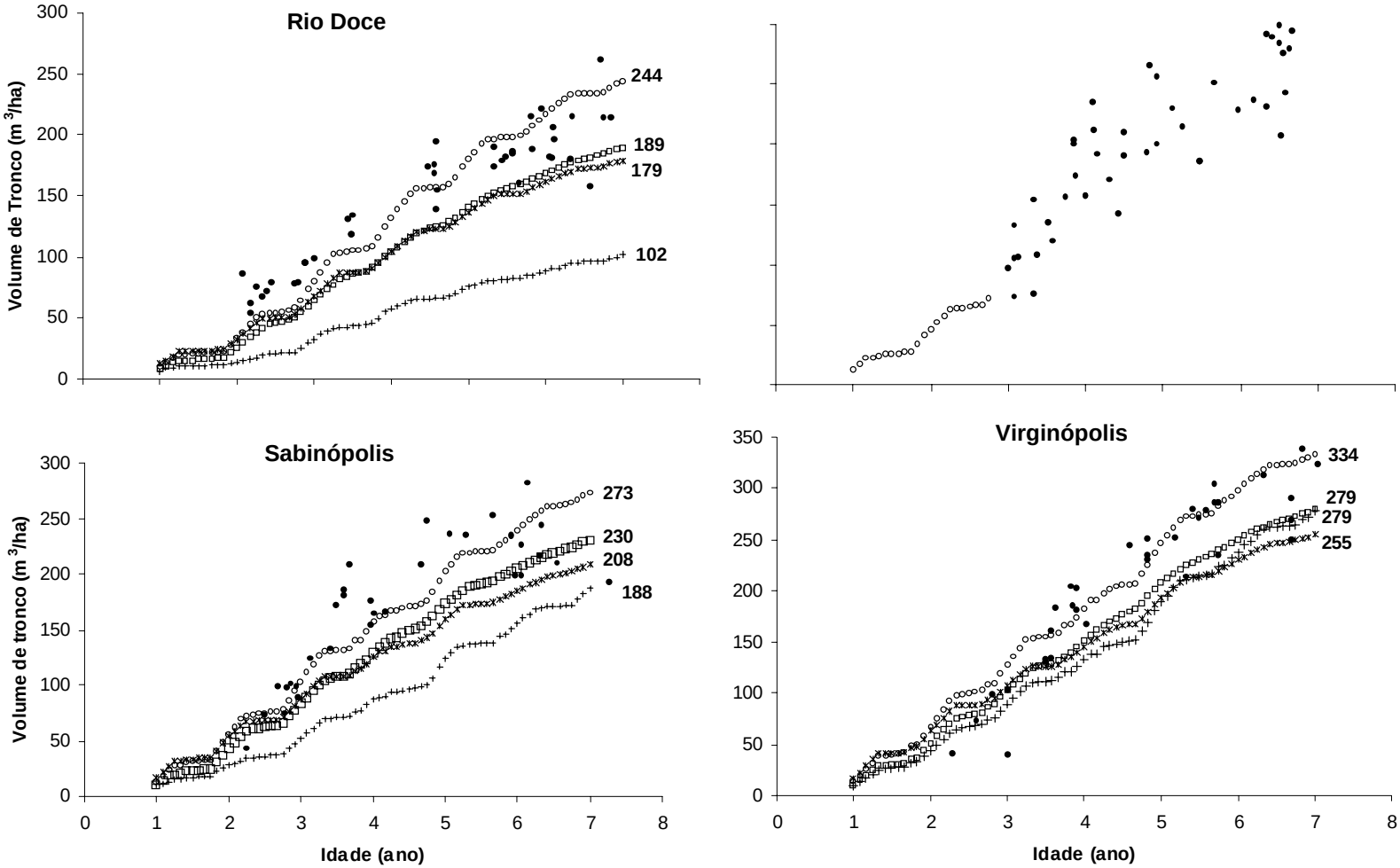
Figura 2. Estimativas da biomassa de folhas, índice de área foliar, biomassa de stem (tronco + galhos), diâmetro à altura do peito, volume de lenho e incremento médio anual, obtidas pelo modelo 3-PG calibrado (------) comparadas com dados observados no tratamento fertirrigado - FI (●) do experimento fertirrigação, em clones de *E. grandis* e *"urograndis",* nas idades de 1 a 3 anos, para a região do Rio Doce.

De maneira geral, o 3-PG apresentou estimativas acuradas para as diferentes variáveis que refletem o crescimento da floresta, considerando o período de três anos de simulação. O desempenho do 3-PG foi resultante, principalmente, dos ajustes realizados nos parâmetros: α_{Cx} (influencia diretamente as variáveis dendrométricas), pFS_{20} e γ_{Fx} (alteram sensivelmente a biomassa de folhas e, consequentemente, o IAF). Para a biomassa de stem (tronco + galhos) houve uma tendência do 3-PG superestimar o valor dessa variável apenas na idade final de três anos. Parametrizações semelhantes do 3-PG foram realizadas no Brasil para as regiões costeiras dos Estados de Espírito Santo (Almeida et al., 2004b) e de Bahia (Stape et al., 2004) para clones de *E. grandis* e "*urograndis*", respectivamente.

Validação do modelo 3-PG

A partir da parametrização do 3-PG, realizada neste trabalho (3-PG - calibrado), e de outras, realizadas na Austrália (Sands & Landsberg, 2002) e no Brasil (Almeida et al., 2004b; Stape et al., 2004) foi possível avaliar o desempenho das respectivas parametrizações em estimar a produtividade (volume de tronco), obtida a partir do inventário florestal (contínuo e pré-corte) (Figura 3). De maneira geral, a parametrização realizada neste trabalho apresentou estimativas mais próximas dos dados observados (inventário) para as diferentes regiões. As estimativas realizadas com as parametrizações obtidas por Stape et al. (2004), Almeida et al. (2004b) e por Sands & Landsberg (2002) foram subestimadas quando comparadas com aquela realizada neste trabalho em todas as regiões da CENIBRA. As estimativas realizadas com as outras parametrizações obtidas no Brasil (Stape et al., 2004; Almeida et al., 2004b) apresentaram comportamento semelhante entre si, exceto apenas para a região de Sabinópolis, onde houve uma diferença média entre as estimativas finais de volume de tronco de 10 %. Já para a parametrização realizada por Sands & Landsberg (2002) as estimativas foram abaixo das demais, principalmente, na região de Rio Doce (região quente, 220 m de altitude) e Sabinópolis (880 m de altitude); enquanto, nas regiões mais frias, (Cocais e Virginópolis, 950 e 860 m de altitude, respectivamente) as estimativas finais

foram próximas daquelas obtidas por Stape et al. (2004) e Almeida et al (2004b). Parte das diferenças quanto às


Rio Doce
Volume de Tronco (m 3/ha)
244
189
179
102
Sabinópolis
Volume de tronco (m 3/ha)
273
230
208
188
Virginópolis
334
279
279
255
Idade (ano)
Idade (ano)

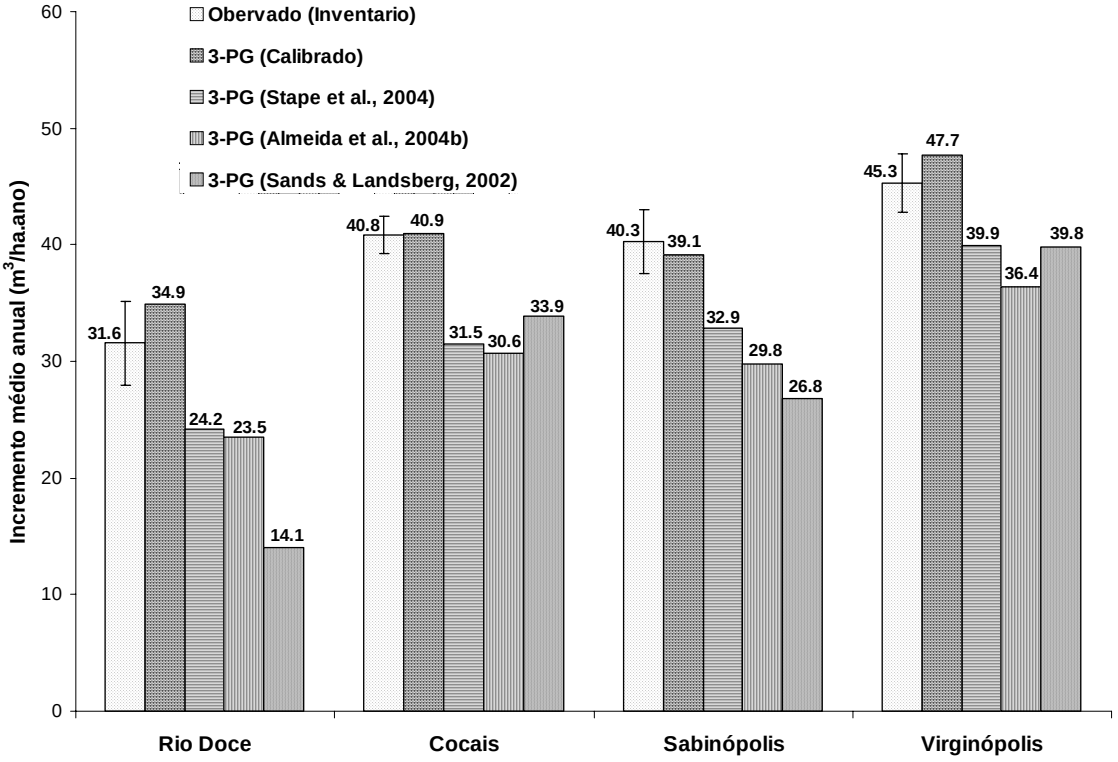


Figura 4. Estimativas do incremento médio anual obtidas pelo 3-PG (Calibrado), (Stape et al., 2004), (Almeida et al., 2004b) e (Sands & Landsberg, 2002) comparadas com medições do inventário para clones de *E. grandis* e "*urograndis*" aos sete anos de idade em diferentes regiões da CENIBRA.

As diferenças nas estimativas de biomassa de folhas, considerando as diferentes parametrizações, são reflexos, principalmente, dos parâmetros relacionados com as equações alométricas (pFS_2 e pFS_{20}) e com a queda de "litter" (gammaF1 e tgammaF). Isto pode ser comprovado comparando os valores de alguns desses parâmetros, por exemplo, a ordem crescente da taxa de queda de "litter" máxima é a seguinte: Sands & Landsberg (0,027) < Stape (0,07), 3-PG Calibrado (0,10) < Almeida (0,13). Portanto, em princípio, quanto mais elevada a taxa de queda de "litter" menor será a quantidade de folhas na copa das árvores. Por isso, as estimativas de biomassa de folhas de Sands & Landsberg foram tão elevadas, quando comparadas com as demais estimativas. Por esse mesmo raciocínio, as estimativas realizadas por Stape, que se encontram bem abaixo das demais, deveriam estar mais próximas daquelas realizadas por Sands & Landsberg. Isto ocorre em virtude de um outro parâmetro que descreve o comportamento da queda de "litter" ao longo

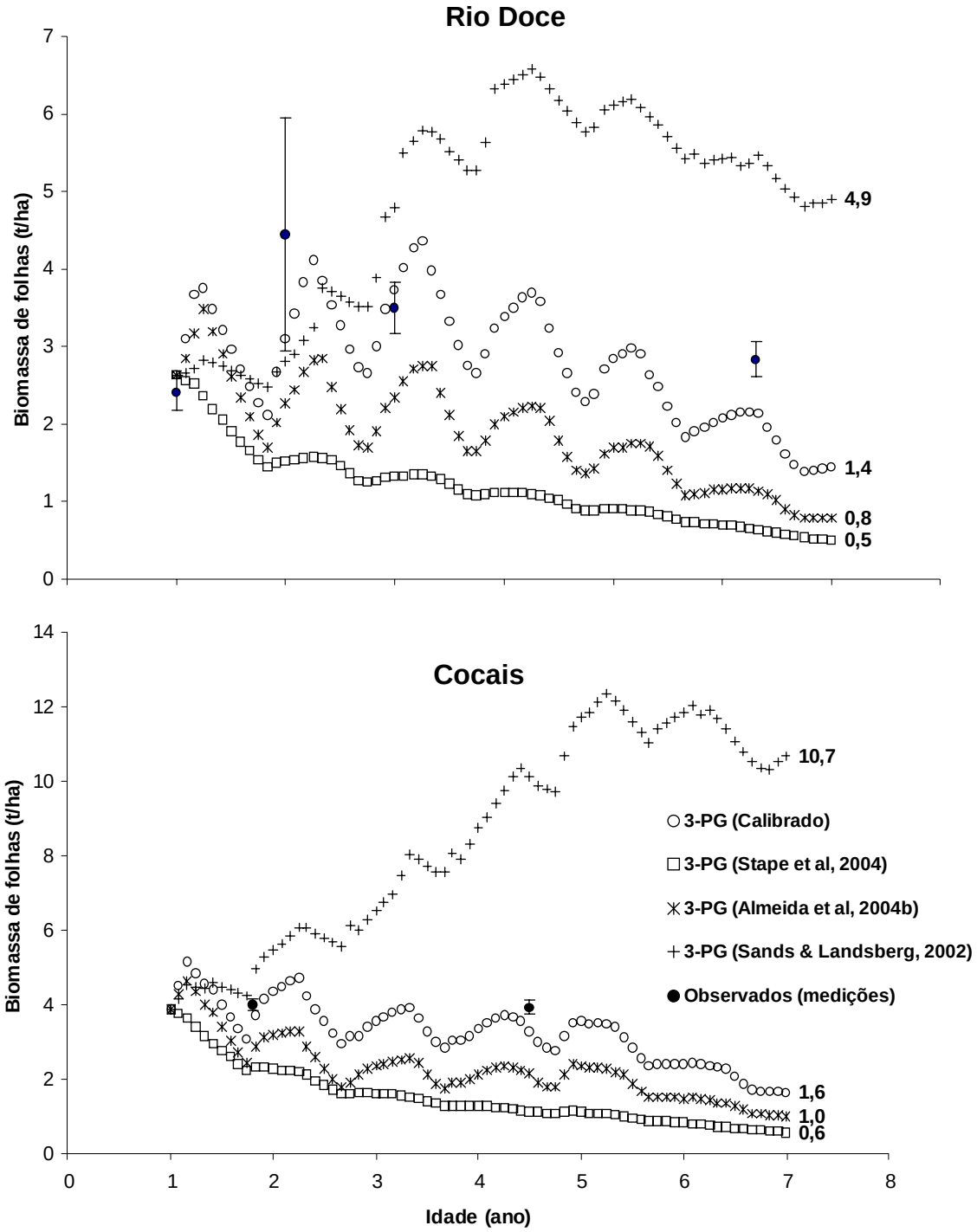


Figura 5. Estimativas da biomassa de folhas obtidas pelo 3-PG (Calibrado), (Stape et al., 2004), (Almeida et al., 2004b) e (Sands & Landsberg, 2002) e comparadas com algumas medições de campo, para clones de *E. grandis* e "*urograndis*", para as regiões de Rio Doce e de Cocais, para um período de simulação de um a sete anos.

da idade. Esse parâmetro é a idade na qual a taxa de queda de “litter” é a metade da total ($\sigma_0 + \sigma_1$) (Quadro 3). Nas estimativas realizadas por Stape essa idade é de quatro meses, ou seja, o início da queda de “litter” está sendo muito antecipada, reduzindo, consequentemente, a biomassa de folhas; enquanto nas demais estimativas essa idade é em torno de 12 meses. A biomassa final de folhas é reflexo, também, dos valores das relações alométricas, principalmente, o pFS_{20}, que apresenta a seguinte ordem decrescente: Sands & Landsberg (0,15) > Almeida (0,13) > 3-PG Calibrado (0,1) > Stape (0,034). Esses resultados destacam as grandes discrepâncias que podem ocorrer quando se utilizam diferentes parametrizações, enfatizando a importância de se ter valores de parâmetros que descrevem as relações alométricas e a queda de “litter” em nível regional. Além disso, vale ressaltar que a semelhança entre estimativas de produtividade (volume de tronco), obtidas utilizando diferentes parametrizações, pode não ocorrer se avaliada a biomassa de folhas, e, conseqüentemente, o IAF.

A partir da parametrização obtida neste trabalho (3-PG Calibrado) foram estimados (Figura 6) o incremento médio anual de tronco (IMAt) para diferentes regiões da CENIBRA, utilizando dados climáticos reais (medições em base mensal) e médios (média de dados climáticos referente ao período de 1985 – 2005, Normais Climatológicas) para clones de *E. grandis* e “*Urograndis*”, para um período de simulação de um a sete anos.

A partir das simulações utilizando dados reais constata-se maior sensibilidade do modelo em diferenciar a produtividade (IMA) das regiões mais produtivas (Sabinópolis < Cocais < Santa Bárbara < Virginópolis), apresentando 19 % de variação entre as produtividades extremas; enquanto, para simulações em que se utilizam dados médios houve pouca diferenciação entre as produtividades (IMA), apenas 8 % de variação. Além disso, a utilização dos dados climáticos médios resultou em inversão na seqüência de produtividades (Virginópolis < Santa Bárbara < Cocais < Sabinópolis) entre regiões. Almeida et al. (2004a) utilizando essa mesma abordagem para comparar o incremento corrente anual (ICA) constataram que a utilização de dados climáticos reais fornece estimativas que refletem declínios na produtividade provocados por períodos de baixa disponibilidade hídrica; enquanto a utilização de dados médios pode superestimar a produtividade em função de possíveis períodos de baixa precipitação.

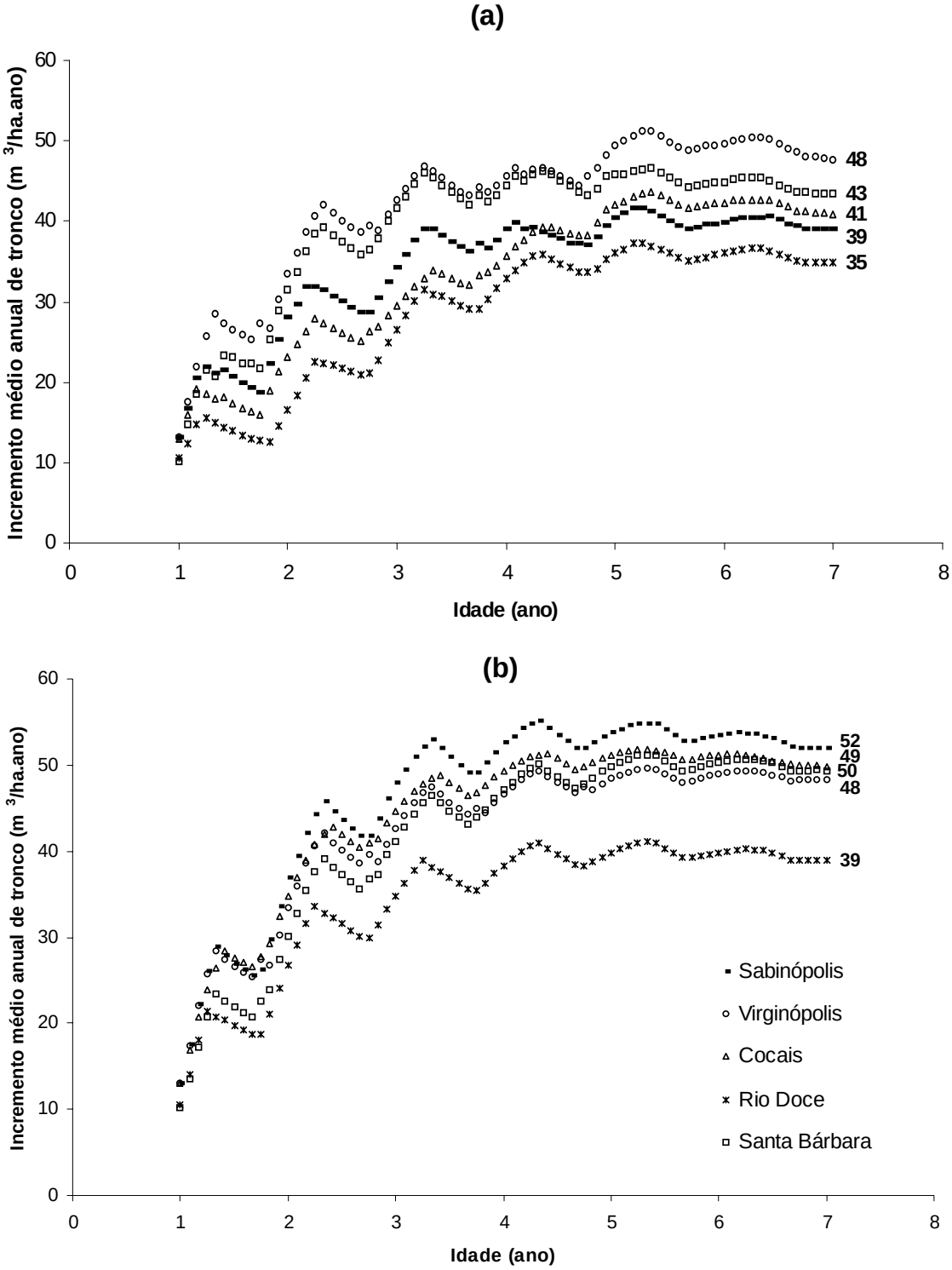


Figura 6. Estimativa do incremento médio anual de tronco obtida pelo 3-PG (Calibrado) para cinco regiões da CENIBRA, considerando dados climáticos reais (a) (medições em base mensal) e médios (b) (média de dados climáticos referente ao período de 1985 – 2005 – Normais Climatológicas) para clones de *Eucalyptus grandis* e *"urograndis",* para um período de simulação de um a sete anos.

CONCLUSÕES

- Foi obtida a parametrização do modelo baseado em processos 3-PG para eucalipto na região Centro-Leste de Minas Gerais.

- A parametrização em nível regional promove melhoria no desempenho do modelo 3-PG, e resulta em estimativas mais acuradas da produtividade em plantios de eucalipto.

- O modelo 3-PG, devidamente parametrizado, apresenta bom desempenho quanto às estimativas da produtividade de plantios de eucalipto, em escala regional, necessitando, contudo, ser aprimorado de modo a ser dotado de resolução em nível local, por exemplo, de talhão, e se constituir em efetiva ferramenta para subsidiar o manejo florestal no contexto de silvicultura de precisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aber, J.D. & Federer, C.A. A generalized, lumped-parameter model of photosynthesis, evapotranspiration and net primary production in temperate and boreal forest ecosystems. Oecol., 92:463-474, 1992.

Almeida, A.C.; Landsberg, J.J.; Sands, P.J.; Ambrogi, M.S.; Fonseca, S.; Barddal, S.M. & Bertolucci, F.L. Needs and opportunities for using a process-based productivity model as a practical tool in fast growing Eucalyptus plantations. For. Ecol. Manage., 193:167-177, 2004a.

Almeida, A.C.; Landsberg, J.J. & Sands, P.J. Parameterisation of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations. For. Ecol. Manag., 193:179-195, 2004b.

Almeida, A.C.; Maestri, R.; Landsberg, J.J. & Scolforo, J.R.S. Linking process-based and empirical forest models in Eucalyptus plantations in Brazil. In: Amaro, A.; Tomé, M. (Eds.). Modelling Forest Systems. CABI, Wallingford, UK, p.63-74, 2003.

Battaglia, M. & Sands, P. Modelling site productivity of *Eucalyptus globulus* in response to climatic and site factors. Aust. J. Plant Physiol., 24:831-850, 1997.

Beets, P.N. & Whitehead, D. Carbon partitioning in *Pinus radiata* stands in relation to foliage nitrogen status. Tree Physiol., 16:131-138, 1996.

Bonan, G.B. Atmoshpere-biosphere exchange of carbon dioxide in boreal forests. J. Geophys. Res., 96:7301-7312, 1991.

Coops, N.C. & Waring, R.H. Assessing forest growth across southwestern Oregon under a range of current and future global change scenarios using a process model, 3-PG. Glob. Change Biol., 7:15-29, 2001a.

Coops, N.C. & Waring, R.H. Estimating maximum potential site productivity and site water stress of the Eastern Siskiyou Mountains of southwestern Oregon using a satellite driven process model, 3-PGs. Can. J. For. Res., 31:143-154, 2001b.

Coops, N.C., Waring, R.H. & Landsberg, J.J. Assessing forest productivity in Australia and New Zealand using a physiologically-based model driven with averaged monthly weather data and satellite-derived estimates of canopy productivity. For. Ecol. Manage., 104:113-127, 1998.

Dye, P.J. Modelling growth and water use in four Pinus patula stands with the 3-PG process-based model. S. Afr. For. J., 191:53-63, 2001.

Dye, P.J. Verification of 3-PG growth and water-use predictions in twelve *Eucalyptus* plantation stands in Zululand, South Africa. For. Ecol. Manage., 193:197-218, 2004.

Gifford, R. Plant respiration. NEE WORKSHOP PROCEEDINGS: 18-20, 2001.

Johnsen, K.; Samuelson, L.; Teskey, R.; McNulty, S. & Fox, T. Process models as tools in forestry research and management. For. Sci., 47:2-8, 2001.

Landsberg, J.J. & Gower, S.T. Applications of physiological ecology to forest management. Academic Press, San Diego, CA, 1997. 354p.

Landsberg, J.J. & Waring, R.H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. For. Ecol. Manage., 95:209-228, 1997.

Landsberg, J.J.; Johnsen, K.H.; Albaugh, T.J.; Allen, H.L. & McKeand, S.E. Applying 3-PG, a simple process-based model designed to produce practical results, to data from loblolly pine experiments. For. Sci., 47:43-51, 2001.

Landsberg, J.J.; Waring, R.H. & Coops, N.C. Performance of the forest productivity model 3-PG applied to a wide range of forest types. For. Ecol. Manage., 172:199-214, 2003.

Larcher, W. Ecofisiologia vegetal. RiMa. São Carlos. 2000. 531p.

Law, B.E.; Kelliher, F.M.; Baldocchi, D.D.; Anthoni, P.M.; Irvine, J.; Moore, D. & Van Tuyl, S. Spatial and temporal variation in respiration in a young ponderosa pine forest during a summer drought. Agric. For. Meteorol. 110:27-43, 2001.

Law, B.E.; Waring, R.H.; Anthoni, P.M. & Aber, J.D. Measurements of gross and net ecosystem productivity and water exchange of a *Pinus ponderosa* ecosystem, and evaluation of two generalized models. Glob. Change Biol., 6:155-168, 2000.

Leite, N.B. Avanços da silvicultura brasileira são significativos. Visão Agrícola, 4:.58-61, 2005.

Mäkelä, A. & Valentine, H.T. The ratio of NPP to GPP: evidence of change over the course of stand development. Tree physiol., 21:1015-1030, 2001.

McMurtrie, R.E.; Rook, D.A. & Kelliher, F.M. Modelling the yield of *Pinus* radiata on a site limited by water and nutrition. For. Ecol. Manage., 30:381-413, 1990.

Parton, W.J. Schimel, D.S.; Cole, C.V. & Ojima, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great plains grasslands. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:1173-1179, 1987.

Passioura, J.B. Simulation models: Science, snake oil, education or engineering?. J. Agr., 88: 690-694, 1996.

Pastor, J. & Post, W.M. Influence of climate, soil moisture, and succession on forest carbon and nitrogen cycles. Biogeo., 2:3-27, 1986.

Running, S.W. & Gower, S.T. FOREST-BGC, a general model of forest ecosystem proceses for regional applications, II. Dynamic carbon allocation and nitrogen budgets. Tree Physiol., 9:147-160, 1991.

Sands, P.J. & Landsberg, J.J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. For. Ecol. Manage., 163:273-292, 2002.

Sands, P.J. 3-PG_{PJS} vsn 2.4 – a user-friendly interface to 3-PG, the Landsberg and Waring model of forest productivity. Tecchnical Report, N° 140, CRC for Sustainable Production Forestry and CSIRO Forestry and Forest Products, Hobart, Tasmania, Australia. 2004a. **(on www.landsberg.com.au and www.ffp.csiro.au).**

Sands, P.J. Adaptation of 3-PG to novel species: guidelines for data collection and parameter assignment. Tecchnical Report, N° 141, CRC for Sustainable Production Forestry and CSIRO Forestry and Forest Products, Hobart, Tasmania, Australia. 2004b. **(on www.landsberg.com.au and www.ffp.csiro.au).**

Stape, J.L.; Ryan, M.G. & Binkley, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis* x urophylla with natural and manipulated supplies of water and nutrients. For. Ecol. Manage., 193:219-234, 2004.

Tickle, P.K.; Coops, N.C. & Hafner, S.D. Assessing forest productivity at local scales across a native eucalypt forest using the spatial model, 3PG-SPATIAL. For. Ecol. Manage., 152:275-291, 2001.

Wang, Y.P. & Jarvis, P.G. Description and validation of an array model – MAESTRO. Agric. For. Meteorol., 51:257-280, 1990.

Wang, Y.P. Modelling radiation absorption by plant canopies. NEE WORKSHOP PROCEEDINGS: p.18-20, 2001.

Waring, R.H. & McDowell, N. Use of a physiological process model with forestry yield tables to set limits on annual carbon balances. Tree Physiol., 22:179-188, 2002.

Waring, R.H. Landsberg, J.J. & Williams, M. Net primary production of forest: a constant fration of gross primary production? Tree Physiol., 18:129-134, 1998.

Weinstein, D.A.; Beloin, R.M. & Yanai, R.D. Modeling changes in red spruce carbon balance and allocation in response to interacting ozone and nutrient stresses. Tree Physiol., 9:127-146, 1991.

Whitehead, D.; Hall, G.M.J.; Walcroft, A.S.; Brown, K.J.; Landsberg, J.J.; Tissue, D.T.; Turnbull, M.H.; Griffin, K.L.; Schuster, W.S.F.; Carswell, F.E.; Trotter, C.M.; James, I.L. & Norton, D.A. Analysis of the growth of rimu (*Dacrydium cupressinum*) in South Westland, New Zealand, using process-based simulation models. Int. J. Biometeorol, 46:66–75, 2002.

CONCLUSÃO GERAL

- Os teores foliares de nutrientes e suas relações são sensíveis à idade dos plantios, à época de amostragem, e ao manejo de água e nutrientes, fatores que, portanto, influenciam a diagnose do estado nutricional em plantios jovens de eucalipto.

- O aumento da disponibilidade de água e nutrientes, via fertirrigação, promove maior índice de área foliar, maior produção de biomassa e maior acúmulo de nutrientes, em magnitudes variáveis com a idade e o nutriente, e influencia a eficiência de utilização de nutrientes.

- O aumento apenas da disponibilidade de água, via irrigação, não aumenta o índice de área foliar, mas eleva a área foliar específica, além de promover aumento no crescimento e na produção de biomassa até os dois anos de idade, e aumentar a aquisição de P.

- O aumento da disponibilidade de água reduz a densidade básica da madeira.

- A manutenção de elevadas taxas de crescimento requer adequada suplementação nutricional, mesmo em condições de disponibilidade hídrica elevada.

- Foi obtida a parametrização do modelo baseado em processos 3-PG para eucalipto na região Centro-Leste de Minas Gerais.

- A parametrização em nível regional promove melhoria no desempenho do modelo 3-PG, e resulta em estimativas mais acuradas da produtividade em plantios de eucalipto.

- O modelo 3-PG, devidamente parametrizado, apresenta bom desempenho quanto às estimativas da produtividade de plantios de eucalipto, em escala regional, necessitando, contudo, ser aprimorado de modo a ser dotado de resolução em nível local, por exemplo, de talhão, e se constituir em efetiva ferramenta para subsidiar o manejo florestal no contexto de silvicultura de precisão.

APÊNDICE

Quadro A1. Análise de variância da área foliar específica (AFE), do índice de área foliar (IAF), da altura (ALT), do diâmetro à altura do peito (DAP), do volume cilíndrico do tronco (VCTR) e da biomassa do tronco (PSTR) e da parte aérea (PSPA), considerando os efeitos dos tratamentos (sem fertirrigação – controle, irrigação e fertirrigação), espaçamento (4 x 3, 3 x 3,33 e 3 x 2,5) e material genético (57, 129, 2719 e 1215) nas idades um, dois e três anos

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio						
		AFE	IAF	ALT	DAP	VCTR	PSTR	PSPA
				1 ano				
Tratamento	2	0,69*	2,08^{o}	2,30^{ns}	1,22^{ns}	108,65^{ns}	6,24^{ns}	22,00^{ns}
Espaçamento (esp)	2	0,16^{ns}	2,87*	0,97^{ns}	0,08^{ns}	189,99^{ns}	9,54^{ns}	39,32^{ns}
Material genético (mgen)	1	0,71*	8,47**	3,00^{ns}	0,80^{ns}	219,40^{ns}	12,14^{ns}	90,60*
Esp x Mgen	2	0,17^{ns}	0,44^{ns}	0,17^{ns}	0,15^{ns}	17,97^{ns}	0,93^{ns}	6,28^{ns}
Resíduo	10	0,14	0,54	1,15	0,73	89,44	4,13	14,02
CV (%)		3,9	23,7	13,0	13,13	33,4	31,6	28,3
				2 anos				
Tratamento	2	2,249*	9,21**	4,52*	3,67**	6445,60**	469,69**	698,71**
Espaçamento (esp)	2	0,858^{ns}	2,99*	0,07^{ns}	2,00*	3683,20*	380,64**	446,74*
Material genético (mgen)	1	8,236**	10,08**	0,05^{ns}	0,06^{ns}	88,70^{ns}	20,54^{ns}	81,23^{ns}
Esp x Mgen	2	0,28^{ns}	0,32^{ns}	1,15^{ns}	0,08^{ns}	434,20^{ns}	56,84^{ns}	96,66^{ns}
Resíduo	10	0,511	0,74	0,81	0,32	606,80	51,95	83,17
CV (%)		7,2	17,7	5,4	4,81	13,7	16,7	16,8
				3 anos				
Tratamento	2		3,55^{o}	3,40^{o}	5,25**	18032,00**	645,37**	838,20**
Espaçamento (esp)	2		2,45^{ns}	0,17^{ns}	0,48^{ns}	21379,00**	1376,41**	1595,20**
Material genético (mgen)	1		4,40*	0^{ns}	0,36^{ns}	272,00^{ns}	241,08^{ns}	386,60^{o}
Esp x Mgen	2		0,18^{ns}	1,68^{ns}	0,54^{ns}	2542,00^{ns}	90,54^{ns}	84,90^{ns}
Resíduo	10		0,89	1,2	0,32	1643,00	90,60	110,10
CV (%)				5,0	4,08	13,0	12,7	12,5

^{o}, *, **: Significativo a 10, 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 2A. Análise de variância do conteúdo de N (CNTR e CNPA), P(CPTR e CPPA) e K(CKTR e CKPA) no tronco e na parte aérea, considerando os efeitos dos tratamentos (sem fertirrigação – controle, irrigação e fertirrigação), espaçamento (4 x 3, 3 x 3,33 e 3 x 2,5) e material genético (57, 129, 2719 e 1215) nas idades um, dois e três anos

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio					
		CNTR	CPTR	CKTR	CNPA	CPPA	CKPA
				1 ano			
Tratamento	2	14,52 ^{ns}	0,18 ^{ns}	87,65 *	1160,80 ^{ns}	2,53 ^{ns}	2382,69 **
Espaçamento (esp)	2	44,91 ^{ns}	0,10 ^{ns}	45,33 ^{ns}	2599,90 *	7,54 ^{ns}	773,74 ^{o}
Material genético (mgen)	1	30,19 ^{ns}	0,25 ^{ns}	64,90 ^{ns}	4981,90 *	30,47 **	3059,92 **
Esp x mgen	2	1,34 ^{ns}	0,03 ^{ns}	2,11 ^{ns}	434,60 ^{ns}	2,66 ^{ns}	99,86 ^{ns}
Resíduo	10	16,32	0,14	20,31	607,30	2,70	223,87
CV (%)		32,1	33,8	31,5	26,1	26,6	26,7
				2 anos			
Tratamento	2	1577,01 **	43,29 **	6729,80 **	8757,50 **	100,72 **	19731,10 **
Espaçamento (esp)	2	705,37 **	10,63 *	707,10 ^{ns}	3714,50 *	26,38 ^{ns}	1220,00 ^{ns}
Material genético (mgen)	1	169,76 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1200,70 ^{o}	1743,10 ^{ns}	18,04 ^{ns}	6921,90 **
Esp x Mgen	2	125,40 ^{ns}	0,61 ^{ns}	347,90 ^{ns}	1029,80 ^{ns}	4,17 ^{ns}	302,40 ^{ns}
Resíduo	10	77,92	2,53	334,40	680,50	9,96	581,60
CV (%)		12,7	17,5	22,9	14,0	17,3	17,2
				3 anos			
Tratamento	2	1278,50 **	75,47 **	11750,60 **	3608,70 *	105,95 *	21690,90 **
Espaçamento (esp)	2	1031,00 **	27,42 ^{ns}	752,00 ^{ns}	4622,30 *	67,76 ^{o}	1465,10 ^{ns}
Material genético (mgen)	1	28,60 ^{ns}	11,76 ^{ns}	1872,30 ^{ns}	908,80 ^{ns}	0,17 ^{ns}	7080,30 *
Esp x Mgen	2	95,30 ^{ns}	1,55 ^{ns}	268,00 ^{ns}	253,00 ^{ns}	4,05 ^{ns}	285,30 ^{ns}
Resíduo	10	139,80	9,83	573,40	783,20	18,47	978,50
CV (%)		11,5	20,4	21,8	15,0	19,1	20,5

^{o}, *, **: Significativo a 10, 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 3A. Análise de variância da eficiência de utilização da área foliar para produção de tronco (EUIATR) e da parte aérea (EUIAF) e eficiência de utilização do N (EUINTR e EUNPA), P (EUIPTR e EUPPA) e K (EUIKTR e EUKPA) de tronco e da parte aérea, considerando os efeitos dos tratamentos (sem fertirrigação – controle, irrigação e fertirrigação), espaçamento (4 x 3, 3 x 3,33 e 3 x 2,5) e material genético (57, 129, 2719 e 1215) nas idades um, dois e três anos

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio							
		EUIATR	EUIAF	EUINTR	EUIPTR	EUIKTR	EUNPA	EUPPA	EUKPA
					1 ano				
Tratamento	2	2,46*	2,09^{o}	1566,67**	236587,00**	38019,90**	831,20*	84680,00^{ns}	79644,00**
Espaçamento (esp)	2	0,15^{ns}	0,34^{ns}	84,02^{ns}	1760,00^{ns}	785,50^{ns}	196,10^{ns}	8486,00^{ns}	1870,00^{ns}
Material genético (mgen)	1	1,47^{o}	2,01^{ns}	334,29^{ns}	165521,00*	5288,60*	48,60^{ns}	151095,00^{ns}	6805,00^{o}
Esp x Mgen	2	0,12^{ns}	0,22^{ns}	18,65^{ns}	8557,00^{ns}	591,20^{ns}	17,90^{ns}	12750,00^{ns}	2762,00^{ns}
Resíduo	10	0,40	0,70	150,47	25366,00	941,30	205,70	52521,00	1937,00
CV (%)		28,6	18,9	17,5	15	22,30	10,1	10,6	16,3
					2 anos				
Tratamento	2	5,93*	6,52*	1213,20^{o}	328210,00**	97591,00**	748,00^{ns}	764068,00**	134775,00**
Espaçamento (esp)	2	0,28^{ns}	0,04^{ns}	1131,60^{o}	256554,00*	6215,00^{ns}	5760,00^{ns}	202282,00*	5827,00^{ns}
Material genético (mgen)	1	21,28**	27,29**	489,50^{ns}	78382,00^{ns}	28988,00**	151,00^{ns}	31326,00^{ns}	38270,00**
Esp x Mgen	2	0,01^{ns}	0,12^{ns}	238,80^{ns}	62153,00^{ns}	1494,00^{ns}	123,00^{ns}	80203,00^{ns}	2951,00^{ns}
Resíduo	10	1,35	1,38	335,40	40490,00	2418,00	433,00	47415,00	3787,00
CV (%)		12,7	10,2	7,9	8,5	14,5	7,2	7,3	14,5
					3 anos				
Tratamento	2	37,59^{ns}	35,93^{ns}	301,00^{ns}	1656708,00**	229411,00**	1257,00^{ns}	2482376,00**	261309,00**
Espaçamento (esp)	2	0,04^{ns}	0,19^{ns}	3734,00^{ns}	286246,00^{ns}	26402,00^{o}	4002,00^{ns}	300400,00^{ns}	29856,00^{o}
Material genético (mgen)	1	19,57^{ns}	21,40^{ns}	490,00^{ns}	249221,00^{ns}	28201,00^{o}	1206,00^{ns}	407820,00^{ns}	31768,00^{o}
Esp x Mgen	2	31,82^{ns}	33,92^{ns}	7892,00^{ns}	283316,00^{ns}	572,00^{ns}	8530,00*	293749,00^{ns}	1001,00^{ns}
Resíduo	10	20,37	21,02	1680,00	153989,00	7499,00	1424,00	155474,00	8982,00
CV (%)		21,1	19,2	10,2	11,5	15,7	8,4	10,4	15,5

^{o}, *, **: Significativo a 10, 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 4A. Análise de variância do diâmetro à altura do peito (DAP), altura (ALT) área basal (AB) e volume cilíndrico (VC), considerando os efeitos dos tratamentos (sem fertirrigação – controle, irrigação e fertirrigação), espaçamento (4 x 3, 3 x 3,33 e 3 x 2,5) e material genético (57, 129, 2719 e 1215) nas idades um, dois e três anos

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
		DAP	ALT	AB	VC
Espaçamento (Esp) *Material genético (Mgen)	4	7,09^{ns}	5,22^{ns}	17,92^{ns}	10758,00^{ns}
Tratamento Agua/Nutrientes (Trat) * Esp (1)	4	20,26	21,48	64,22	42653,00
Trat*Mgen (2)	3	3,37	9,13	6,80	5665,00
Trat*Esp*Mgen (3)	12	13,85	18,43	55,47	35271,00
Res. A (1+2+3)	19	13,54	17,60	49,63	32151,00
Classe (CL)	2	1004,39**	485,34**	3896,54**	2108953,00**
Trat * CL (Res. B)	4	1,93	2,00	4,39	4476,00
Esp*CL	4	1,12^{ns}	4,64^{ns}	84,11**	45843,00**
Mgen*CL	6	11,54**	8,75*	45,04**	25647,00**
Esp*Mgen*CL	12	2,00^{ns}	5,31^{ns}	8,75^{ns}	5740,00^{ns}
Trat*Esp*CL (4)	8	3,23	6,83	10,08	8101,00
Trat*Mgen*CL (5)	12	1,06	2,06	4,89	2987,00
Trat*Esp*Mgen*CL (6)	24	3,08	4,65	10,03	5823,00
Res. C (4 + 5 +6)	44	2,56	4,34	8,64	5463,00
IDADE (ID)	12	730,06**	1991,95**	2390,04**	1772130,00**
Trat * ID (Res. D)	28	3,81	12,52	17,06	15827,00
Esp*ID	29	0,44**	1,82**	15,81**	9512,00**
Mgen*ID	43	1,51**	2,12**	6,32**	1957,00**
CL*ID	32	4,06**	3,01**	54,84**	59434,00**
Esp*Mgen*ID	93	0,06^{ns}	0,78**	0,32^{ns}	460,00^{ns}
Mgen*CL*ID	96	0,24**	0,68**	1,82**	1633,00**
Trat*Esp*ID	64	0,19**	1,65**	1,04**	1290,00**
Trat*Mgen*ID	92	0,13**	1,24**	0,60^{o}	928,00**
Trat*CL*ID	64	0,13**	0,48^{ns}	0,39^{ns}	335,00^{ns}
Esp*CL*ID	64	0,02	0,41	1,29	1247,00
Res. E	862	0,08	0,46	0,49	533,00

^{o}, *, **: Significativo a 10, 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo