

FREDERICO DE FREITAS ALVES

**SECA DE PONTEIROS E CRESCIMENTO DE CLONES DE EUCALIPTO
EM DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO**

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

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011**

FREDERICO DE FREITAS ALVES

**SECA DE PONTEIROS E CRESCIMENTO DE CLONES DE EUCALIPTO
EM DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO**

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

APROVADA: 29 de julho de 2011

Prof^a. Maria das Graças Ferreira Reis
(Coorientador)

Prof. Sílvio Nolasco de Oliveira Neto
(Coorientador)

Prof. Helio Garcia Leite

Dr. Paulo Cesar de Lima

Prof. Geraldo Gonçalves dos Reis
(Orientador)

Aos meus queridos pais,

José Alves Neto (*in memoriam*), meu grande mestre, que infelizmente não pode presenciar este dia, mas faz parte de toda esta conquista;

e Elisabete Teresinha de Freitas Alves, minha eterna professora, por toda a força, carinho e incentivo sempre.

Dedico.

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

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF), a todos os seus professores e funcionários pela oportunidade de realização do treinamento.

Aos professores Geraldo Gonçalves dos Reis e Maria das Graças Ferreira Reis, por todo o período compartilhado, de orientações, ensinamentos e amizade.

Ao meu Coorientador, Professor Sílvio Nolasco de Oliveira Neto, pelos conselhos e orientações fornecidas para a realização deste trabalho.

Ao professor Helio Garcia Leite, pelos conselhos e apontamentos para a execução do trabalho.

À Votorantim Siderurgia Ltda. (VS), pelo apoio para realização desta pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro e logístico para o desenvolvimento da pesquisa.

À equipe do Laboratório de Ecologia e Fisiologia Florestal da UFV, por todo o período compartilhado, pelo auxílio durante a coleta e processamento dos dados: Felipe, Ranieri, Diego, Hortênsia, Ronan, Guilherme, Mariana, Marco Antonio, Ivan, Filipe, Jonathan, Ernani, Juvenal, Rogério, e tantos outros que já passaram pelo LEF.

Aos meus pais, José Alves Neto (*in memoriam*) e Elisabete Teresinha de Freitas Alves, pelos ensinamentos de uma vida inteira. Aos meus irmãos Fabrício e Flávia, pelo apoio incondicional e a todos os meus familiares, em especial ao meu afilhado Gabriel.

Aos grandes amigos e companheiros do DEF, principalmente Léo, Márcio, Serjão, Bruna, Mila, Nanda, Lívia, entre outros. À Cínthia, pela força e paciência constantes.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

FREDERICO DE FREITAS ALVES, filho de José Alves Neto e Elisabete Teresinha de Freitas Alves, nasceu em 8 de fevereiro de 1985, na cidade de Viçosa, Minas Gerais.

Em dezembro de 2002 concluiu o ensino médio no Colégio Universitário (COLUNI), da Universidade Federal de Viçosa.

Em março de 2004, ingressou no curso de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Viçosa , concluindo-o em janeiro de 2009.

Em março de 2009, ingressou no programa de pós-graduação em Ciência Florestal, em nível de Mestrado, do Departamento de Engenharia Florestal da UFV, defendendo a dissertação em 29 de julho de 2011.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
OBJETIVOS.....	3
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	3
CAPÍTULO I.....	5
SECA DE PONTEIROS E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR EM CLONES DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO	5
1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1. Localização do experimento.....	8
2.2. Instalação do experimento	9
2.3. Coleta de dados	11
2.3.1. Determinação da seca de ponteiros.....	11
2.3.2. Índice de área foliar	12
2.3.3 Avaliação do volume de madeira	12
2.4. Análise de dados.....	13
3. RESULTADOS	13
4. DISCUSSÃO	18
5. CONCLUSÕES	21
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
CAPÍTULO II.....	26
CRESCIMENTO DE CLONES DE EUCALIPTO EM DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO.....	26
1. INTRODUÇÃO.....	28
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.1. Localização do experimento.....	29
2.2. Instalação do experimento	29
2.3. Coleta de dados de crescimento.....	32
2.4. Análise de dados.....	33
3. RESULTADOS.....	34
4. DISCUSSÃO.....	41
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
CONCLUSÕES GERAIS	48

RESUMO

ALVES, Frederico de Freitas, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2011. **Seca de ponteiros e crescimento de clones de eucalipto em diferentes doses de adubação**. Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis. Coorientadores: Maria das Graças Ferreira Reis e Sílvio Nolasco de Oliveira Neto.

O bioma Cerrado, com solos relativamente pobres e acentuada deficiência hídrica em parte do ano, tem sido amplamente utilizado para o estabelecimento de plantios de eucalipto. Este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento de clones de eucalipto e sua susceptibilidade à seca de ponteiros quando submetidos a diferentes doses de adubação, na região de cerrado, em Vazante, MG (17°36'09"S e 46°42'02"W). A susceptibilidade dos clones de eucalipto à seca de ponteiros foi avaliada com base na: proporção de plantas afetadas e altura de copa atingida, aos 13 meses, índice de área foliar (*IAF*) aos 13 e 21 meses e crescimento em volume aos 11 e 19 meses de idade. O diâmetro e a altura total foram avaliados até a idade de 44 meses para estimar o crescimento em volume por hectare. Foi determinada a dose do adubo NPK 10-28-06 para máxima produção, por clone. Os clones 36, 02, 62, 10, e 280 apresentaram elevada ocorrência de seca de ponteiros e produção muito baixa. O clone E2 apresentou reduzida seca de ponteiros, porém, sua produção foi relativamente baixa. Houve menor ocorrência de seca de ponteiros em plantas da testemunha (aplicação apenas de fosfato natural). A seca de ponteiros influenciou negativamente o *IAF*, aos 13 meses, e este apresentou correlação positiva com o incremento periódico mensal. Houve diferença ($p \leq 0,05$) em crescimento em volume por hectare, entre os tratamentos que receberam as doses do adubo NPK 10-28-06 e a testemunha. A produção volumétrica foi maior para os clones GG100, 3487 e 02, sendo as doses ótimas do adubo para máxima produtividade desses clones, respectivamente, iguais a 110, 141 e 82 g planta⁻¹. A aplicação de doses acima da recomendada pelo NUTRICALC não implicou em aumento da produção, sendo observado um comportamento quadrático com a aplicação de doses crescentes do adubo. O clone E1 se destacou em produção volumétrica até 25 meses de idade e foi pouco afetado pela seca de ponteiros, podendo ser recomendado para rotações curtas. Os clones GG100, 3487, 02, E2, I042, E5, E4 e 157 são recomendados para rotações mais longas em razão da maior produção após o terceiro ano.

ABSTRACT

ALVES, Frederico de Freitas, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2011. **Die-back and growth of eucalypt clones in different doses of fertilizer.** Adviser: Geraldo Gonçalves dos Reis. Co-Advisers: Maria das Graças Ferreira Reis and Sílvio Nolasco de Oliveira Neto.

The *Cerrado* biome has been widely used for the establishment of eucalypt plantations. This work aimed to evaluate the growth of eucalypt clones and susceptibility to die-back when subjected to different doses of fertilizer, in the *cerrado* region. The die-back was evaluated based on the proportion of plants and crown height with die-back at 13 months, leaf area index (*LAI*) at 13 and 21 months and volume at 11 and 19 months of age. The diameter and height were assessed up to 44 months to estimate the growth in volume per hectare. It was determined the dose of 10-28-06 NPK fertilizer to obtain the maximum production per clone. Clones 36, 02, 62, 10, and 280 presented high occurrence of die-back and very low production. The E2 clone showed reduced die-back, but its production was relatively low. It was observed low die-back in the control plants (phosphate application only). The die-back was negatively correlated to *LAI*, at 13 months. *LAI*, on the other hand, was positively correlated with the periodic monthly increment at 11 months. There was significant difference ($p \leq 0.05$) in volume per hectare between the treatments that received doses of NPK 10-28-06 fertilizer and the control. The production was higher for the clones GG100, 3487 and 02, with optimal doses of fertilizer for maximum productivity of 110, 141 and 82 g plant⁻¹, respectively. The application of fertilizer doses greater than that recommended by NUTRICALC did not result in increased production, producing a quadratic behavior with the application of increasing doses of fertilizer. Clone E1 presented the highest production up to 25 months of age and was little affected by the die-back, being recommended for short rotations. Clones GG100, 3487, 02, E2, I042, E5, E4 and 157 are recommended for longer rotations due to the increased production after the third year.

INTRODUÇÃO GERAL

O setor de florestas plantadas tem destacada importância no agronegócio brasileiro, com a geração de 4,7 milhões de empregos diretos e indiretos, em 2010, sendo que a área com florestas plantadas cresceu 20 % em relação ao ano anterior, cobrindo, aproximadamente, 4,8 milhões de hectares (ABRAF, 2011).

A expansão da fronteira agrícola e pecuária e a crescente e desordenada urbanização no Brasil, associadas a práticas inadequadas de cultivo e extração seletiva de madeira e lenha para a indústria, contribuíram para uma acentuada substituição da cobertura florestal nativa. Grande parte da madeira utilizada como matéria prima para a produção de carvão e madeira serrada no país, ainda é proveniente de florestas nativas (ABRAF, 2011). Assim sendo, torna-se importante a implantação de florestas de alta produtividade, contribuindo efetivamente para a minimização de impactos negativos sobre os remanescentes florestais nativos (Dias et al., 2005).

O setor florestal tem sido impulsionado, principalmente, em razão de avanços na implantação e manejo das florestas naturais e plantadas. O cultivo do eucalipto, em especial, tem se destacado devido à disponibilidade de materiais genéticos adaptados a diferentes condições ambientais, apresentando rápido crescimento e produtividade elevada, e por sua madeira atender a diferentes finalidades (Xavier, 2001). Ainda, destacam-se avanços no melhoramento genético, no preparo de solo, na fertilização, no controle de pragas, doenças e plantas daninhas e na propagação clonal do eucalipto, que fizeram com que a produtividade de madeira de florestas plantadas triplicasse desde as décadas de 60 e 70 até os dias atuais (Stape, 2005; Gonçalves et al., 2008).

A sustentabilidade da produção de florestas plantadas em ambientes tropicais é governada, principalmente, pelos fluxos de água e de nutrientes no solo, já que, de modo geral, a temperatura e a radiação solar não têm sido limitantes nesses ambientes (Barros e Comerford, 2002). Grande parte das florestas de eucalipto, no Brasil, é plantada em solos sob Cerrado, que

são de baixa fertilidade, e de reduzida disponibilidade hídrica em alguns meses do ano, o que limita a sua capacidade produtiva.

A deficiência de nutrientes no solo, embora dificulte o estabelecimento de plantios de eucalipto, pode ser corrigida, principalmente, pelo manejo da fertilização (Mello et al., 1970; Barros et al., 1984; Gava et al., 1997; Berger et al., 2002; Silva, 2006; Faria et al., 2008), enquanto a melhoria das condições de água no solo tem incluído, principalmente, o uso de técnicas conservacionistas e, ou, a seleção de materiais genéticos adaptados a essa condição (Costa, 1990; Chaves et al., 2004; Reis et al., 2006).

As diferenças entre materiais genéticos de eucalipto na absorção e uso eficiente de água e nutrientes podem ser usadas em programas de melhoramento genético, visando obtenção de elevada produtividade em plantios de eucalipto. Portanto, é de fundamental importância compreender como os recursos de crescimento das plantas, principalmente água e nutrientes, regulam a produtividade das florestas plantadas, para subsidiar a aplicação de técnicas de manejo mais adequadas ao crescimento do povoamento florestal (Silva, 2006; Chaves et al., 2004).

OBJETIVOS

Geral

O presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento silvicultural de clones de eucalipto, em solos sob Cerrado de Minas Gerais, com relação ao crescimento e à sua susceptibilidade a seca de ponteiros, quando submetidos a diferentes doses de adubação.

Específicos

1. Analisar a ocorrência de seca de ponteiros em clones de eucalipto submetidos a diferentes doses de adubação, com base na proporção de plantas afetadas, na altura de copa atingida e no índice de área foliar.

2. Avaliar o crescimento de clones de eucalipto, visando identificar os materiais genéticos e as doses de fertilizantes mais adequadas para obtenção de elevada produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2010**. Brasília: ABRAF, 2011. 130p. Disponível em: <www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF11/ABRAF11-BR.pdf>. Acesso em: 30 de junho de 2011.

BARROS, N.F. et al. Análise do crescimento de *Eucalyptus saligna* em solo de cerrado sob diferentes níveis de N, P, e K, no Vale do Jequitinhonha, MG. **IPEF**, Piracicaba, n.26, p13-17, 1984.

BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L; NOVAIS, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000, p.269-286. il.

BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H. et al., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2. p.487-592, 2002.

BERGER, R. et al. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.2, p.75-87, 2002.

CHAVES, J.H. et al. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.3, p.333-341, 2004.

COSTA, L.M. Manejo de solos em áreas reflorestadas. In: **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.237-264.

DIAS, A.N. et al. Avaliação financeira de plantações de eucalipto submetidas a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.3, p.419-429, 2005.

FARIA, G.E. et al. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no Vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.18, n.3, p.363-373, 2008.

GAVA, J.L. et al. Eficiência relativa de fertilizantes fosfatados no crescimento inicial de eucalipto cultivado em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.21, p.497-504, 1997.

GONCALVES, J.L.M. et al. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests**, Grahamstown, v.70, p.105–118, 2008.

MELLO, H.A.; MASCARENHAS SOBRINHO, J.; SIMÕES, J.W. Resultados da aplicação de fertilizantes minerais na produção de madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. em solos de cerrado do Estado de S. Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n.1, p.7-26, 1970.

REIS, G.G. et al. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.6, p.921-931, 2006.

SILVA, G.G.C. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutrientes**. 2006. 102p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

STAPE, J.L. Modelos ecofisiológicos têm aplicação ampliada. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v.4, p.108-109, 2005.

XAVIER, A. Desempenho do enraizamento de microestacas e miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.25, n.4, p.403-411, 2001.

CAPÍTULO I

SECA DE PONTEIROS E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR EM CLONES DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO

Resumo – A seca de ponteiros das árvores, com conseqüente redução de área foliar e altura da planta, pode ocorrer como resultado de estresse nos tecidos da planta quando ocorre deficiência hídrica no solo. Este trabalho teve como objetivo analisar a seca de ponteiros em clones de eucalipto submetidos a doses crescentes de adubação (NPK 10-28-06), em Vazante, MG (17°36'09"S e 46°42'02"W), onde há acentuado déficit hídrico. Foram realizadas avaliações da proporção de plantas com seca de ponteiro e a altura de copa com sintomas de seca, aos 13 meses, e, do índice de área foliar (*IAF*) aos 13 e 21 meses. O volume foi obtido aos 11 e aos 19 meses de idade. Os clones 36, 10, 02 e 62 apresentaram mais de 65% das árvores com algum sintoma de seca de ponteiros. Os clones mais susceptíveis à seca de ponteiros apresentaram, também, baixa produção aos 19 meses de idade, enquanto os menos susceptíveis apresentaram elevada produção, à exceção do clone E2, que apresentou produção volumétrica relativamente baixa mesmo sem apresentar sintomas significantes de seca de ponteiros. Houve menor ocorrência de seca de ponteiros em plantas do tratamento com aplicação apenas de fosfato natural (testemunha). A seca de ponteiros influenciou negativamente o *IAF* aos 13 meses e este apresentou correlação positiva com o incremento periódico mensal aos 11 e 19 meses de idade. O clone E1 se destacou em produção volumétrica até 19 meses de idade e foi pouco afetado pela seca de ponteiros. Estes resultados indicam haver susceptibilidade diferenciada à seca de ponteiros entre os clones de eucalipto estudados, possibilitando o uso dessa informação para selecionar materiais genéticos para regiões com deficiência hídrica.

Palavras chave: seca de ponteiros, Índice de área foliar, clone de eucalipto

Abstract – The die-back occurs as a result of stress in the plant tissues under soil water deficit. This study aimed to analyze the die-back in eucalypt clones submitted to increasing doses of fertilizer (NPK 10-28-06) in Vazante, MG (17 ° 36'09 "S and 46 ° 42'02" W), which presents strong soil water deficit. It was evaluated the proportion of plants and of crown height with symptoms of die-back, at 13 months, and leaf area index (*LAI*) at 13 and 21 months. The volume was obtained at the age of 11 and at 19 months. Clones 36, 10, 02 and 62 presented more than 65% of trees

with symptoms of die-back. The most susceptible clones also showed low production at 19 months of age. Clone E2 was the most resistant one, but exhibited low production. There was a low occurrence of die-back with the application of phosphate only (control). The die-back was negatively correlated to *LAI*, at 13 months. *LAI*, on the other hand, was positively correlated with the periodic monthly increment at 11 months. Clone E1 showed low die-back and presented the highest production up to 25 months of age. These results indicate differential susceptibility to die-back among eucalypt clones studied.

Keywords: Die-back, leaf area index, eucalypt clones

1. INTRODUÇÃO

A elevada demanda por produtos florestais tem estimulado pesquisas visando aumentar a produtividade dos plantios de eucalipto. Para manter a elevada fixação de carbono destas florestas, há necessidade de conhecer as exigências de cada material genético no que se refere à demanda de água, nutrientes e radiação fotossinteticamente ativa (Barros et al., 2000; Gonçalves e Passos, 2000; Santana et al., 2002; Binkley et al., 2004; Stape et al., 2004; Chaves et al., 2004, 2007; Reis et al., 2006; Faria et al., 2008; Leles et al., 2008).

Dentre os fatores limitantes do crescimento das plantas destaca-se a disponibilidade de água no solo, que também interfere na disponibilidade e na aquisição de nutrientes que são transportados por fluxo de massa promovido pelo gradiente de potencial hídrico (Raven, 1980; Barros et al., 1985; Hu e Brown, 1997; Mattiello et al., 2009). Mengel e Kirkby (1982) relataram que o déficit hídrico acarretou mudanças fisiológicas e metabólicas às plantas, com redução no seu crescimento, necrose nos terminais e em tecidos foliares e, ou, senescência precoce de partes da copa da planta, reduzindo a área foliar efetiva.

A seca de ponteiros em eucalipto tem sido frequentemente observada em plantas de seis a 18 meses de idade, durante os meses mais secos do ano, em várias regiões do Brasil, sendo muito frequente nos reflorestamentos de eucalipto em solos sob Cerrado, comprometendo o crescimento das plantas e a produtividade dos plantios (Ferreira, 1989; Chaves et al., 2004; Mattiello et al., 2009).

Esta seca de ponteiros pode estar associada à deficiência de boro na planta. Havendo limitação de água no solo, a planta pode exibir deficiência deste micronutriente, mesmo quando é aplicado através da adubação de solo (Malavota et al. 1997; Sgarbi et al., 1999; Mattiello et al., 2009).

Existem variações nas respostas das plantas ao déficit hídrico, demandando estudos sobre as características das plantas e sua interação com o ambiente. *E. camaldulensis* e seus híbridos, geralmente, apresentam

raízes profundas e ramificadas permitindo absorção de água a maiores profundidades no solo, controle estomático eficiente através de fechamento dos estômatos e redução da superfície transpiracional através da queda de folhas, quando sob deficiência hídrica e, uma rápida recuperação da área foliar após o restabelecimento da umidade no solo (Gomes, 1984; Reis e Hall, 1986; Reis et al., 1987; Leles et al., 1998; Chaves et al., 2004). Estas características possibilitam a sobrevivência e a produção adequada do povoamento, mesmo sob períodos de elevada deficiência hídrica no solo.

Variações na copa das árvores podem ser determinadas através do índice de área foliar (IAF) (Lima, 2003; Whitehead e Beadle, 2004; Chaves et al., 2007; Oliveira et al., 2008), que está diretamente relacionado à produtividade florestal (Lang e McMurtrie, 1992). O IAF varia com o material genético, com a idade da planta e com as condições ambientais (Xavier et al., 2002; Almeida, 2003; Lima, 2003; Fontan, 2007; Almeida et al., 1995). Em povoamentos adequadamente adubados e com suficiente disponibilidade de água no solo, o IAF é mais elevado do que em sítios com limitação destes recursos de crescimento, conforme revisto por Whitehead e Beadle (2004). Considerando que durante o período de baixa disponibilidade hídrica no solo pode ocorrer seca de ponteiros das plantas, em diferentes intensidades, haverá, certamente, variações no IAF em função do material genético utilizado no povoamento florestal.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a seca de ponteiros em clones de eucalipto submetidos a diferentes doses de adubação, através da análise da intensidade dos sintomas de seca, do índice de área foliar e do crescimento das plantas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização do experimento

O presente estudo foi desenvolvido em povoamento constituído por 16 clones do gênero *Eucalyptus*, estabelecidos no espaçamento 3,6 x 2,5 m; em área da Votorantim Siderurgia Ltda. (VS), no município de Vazante,

Minas Gerais (17° 36' S, 46° 42' W e altitude de 550 m), no bioma Cerrado, onde os solos são classificados como Latossolo Vermelho distrófico (LVd), com textura argilosa. A precipitação média para o ano de 2007 foi de 947 mm e, considerando o balanço hídrico deste ano, o déficit hídrico foi de 422 mm, sendo que, no período de maio a setembro, a precipitação foi de apenas 5 mm (Figura 1). Oliveira et al. (2008) registraram déficit hídrico de 722 mm para esta mesma área, em 2005.

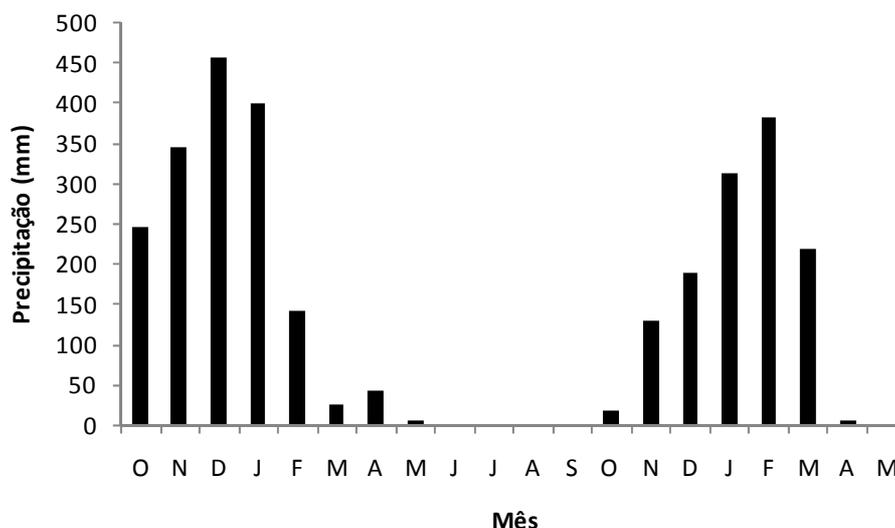


Figura 1 – Precipitação mensal entre outubro de 2006 e maio de 2008, na área de estudo, em Vazante, MG

2.2. Instalação do experimento

O experimento foi estabelecido no início de outubro de 2006, com 16 clones e seis doses de adubação. Os 96 tratamentos foram distribuídos em parcelas subdivididas, em que as parcelas foram constituídas pelos clones e as subparcelas pelas doses de adubação, com seis repetições e 10 plantas por unidade experimental.

Os clones E1, E2, E4, E5, E6, 19, 157 e GG100 são híbridos artificiais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*; os clones 02, 3487 e 1042 são materiais genéticos provenientes de *E. urophylla*; os clones 10, 36, 62 e 280

de *E. camaldulensis* e o clone 58 é híbrido artificial de *E. camaldulensis* x *E. grandis*.

Antes da implantação do experimento, em 2006, foi realizada amostragem de solos para análise química, na profundidade de 0-20 cm. Algumas das principais características nessa profundidade foram: pH = 5,2; CTC = 6,3, saturação por bases (V) = 22 %, saturação por alumínio (m) = 39 % e acidez potencial (H+Al) = 4,9. A caracterização da resistência do solo à penetração foi obtida até a profundidade de 60 cm, utilizando um penetrômetro de impacto convencional, modelo Stolf (Stolf et al., 1983), em seis pontos nas entrelinhas do plantio, ao longo da área experimental. Os valores de resistência foram 7,4; 8,0; 7,9; 8,0; 7,0 e 5,4 MPa, para as profundidades de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 cm, respectivamente, justificando o uso da subsolagem.

O preparo do solo para o plantio dos clones de eucalipto constituiu-se de uma subsolagem a uma profundidade de 30-40 cm, e foram aplicados 4 t ha⁻¹ de calcário dolomítico zincal (85% de PRNT), em área total. Foi feita a aplicação de 360 g planta⁻¹ de fosfato natural de Gafsa no sulco, simultaneamente à subsolagem, para todos os tratamentos. A adubação de implantação foi realizada imediatamente após o plantio, utilizando as seguintes dosagens crescentes do fertilizante NPK 10-28-06: 0 (testemunha), 78, 100, 130, 156 e 234 g planta⁻¹, em covetas laterais. A dose de 78 g planta⁻¹ foi a recomendada para a área utilizando o programa NUTRICALC, um modelo de simulação que possibilita formular recomendações de adubação, muito utilizado pelas empresas florestais brasileiras para suprir as demandas de nutrientes pelos plantios de eucalipto (Barros et al., 2000). As doses de 100 e 130 g planta⁻¹ eram, naquela ocasião, utilizadas nos plantios comerciais da Votorantim Siderurgia Ltda. (VS) e 156 e 234 g planta⁻¹ correspondem a 2 e 3 vezes o recomendado através do NUTRICALC. Em abril de 2007, foi realizada a adubação de cobertura à base de 20 g planta⁻¹ de Borogram (10% B), em círculo, superficialmente, e 169 g planta⁻¹ de NPK 20-0-20, em covetas laterais.

2.3. Coleta de dados

2.3.1. Determinação da seca de ponteiros

A seca de ponteiros foi caracterizada pela murcha e posterior perda das folhas da porção superior da copa das árvores (Figura 2), terminando com a morte daquela porção da planta. A altura da copa afetada pela seca de ponteiros foi avaliada para todas as 10 plantas de cada parcela, aos 13 meses de idade, no mês de novembro, ao final do período seco. A altura da planta e da porção com seca de ponteiros foi medida com auxílio de uma vara graduada. E, tomando-se como base a altura total da árvore, foi calculada a proporção da mesma afetada com os sintomas de seca (*HSP*). Ainda, foi calculada a percentagem de plantas com quaisquer sintomas de seca de ponteiros, para auxiliar na avaliação da susceptibilidade dos clones à seca de ponteiros, como resultado da deficiência hídrica no solo.



Figura 2 – Aspecto da seca de ponteiros em plantas de clones de eucalipto, aos 13 meses de idade, no final do período seco, em Vazante, MG.

2.3.2. Índice de área foliar

A avaliação do índice de área foliar (*IAF*) foi realizada aos 13 (novembro de 2007) e aos 21 (julho de 2008) meses de idade, em um ponto por parcela, entre a primeira e a segunda planta na linha de plantio, em três repetições. Para obtenção do *IAF*, foram utilizados dois sensores LI-2050, conectados a dataloggers LI-2000 da marca LI-COR, sendo um instalado em área aberta próxima às parcelas e, o outro, utilizado no interior das parcelas. As leituras foram feitas sob luz difusa, ao amanhecer e ao anoitecer e, ou, em dias nublados.

2.3.3. Avaliação do volume de madeira

O diâmetro a 1,30 m de altura (*dap*) e a altura total (*Ht*) das 10 árvores de cada parcela experimental foram mensurados aos 11 e 19 meses de idade, com a finalidade de avaliar a produção de madeira de cada clone, em um momento anterior e outro posterior ao período de ocorrência de deficiência hídrica, para avaliar possíveis relações entre a seca de ponteiros e a taxa de crescimento das plantas.

Foram utilizados dados de cubagem realizada pela empresa Votorantim Siderurgia (VS), em plantios comerciais com os clones GG100, I042, 19, 58, 62 e 02 para estimar equações de volume para árvores individuais, a partir do modelo de Schumacher e Hall (Campos e Leite, 2009) em sua forma não linear, para cada um destes seis clones. Uma equação geral foi ajustada para os demais clones utilizando o conjunto de dados destes seis clones.

Foi calculado o incremento periódico mensal (*IPM*) como sendo a diferença de volume de madeira produzida no intervalo entre duas medições do inventário florestal (Campos e Leite, 2009), dividido pelo número de meses do período, no caso, entre 11 meses e a idade zero (*IPM* aos 11 meses) e entre 19 e 11 meses (*IPM* aos 19 meses).

2.4. Análise de dados

O volume de madeira com casca do povoamento, a ocorrência de seca de ponteiros e o índice de área foliar (*IAF*) foram avaliados por meio da análise de variância, pelo teste F, a 95 % de probabilidade. Quando houve diferença ($p \leq 0,05$) foram aplicados testes de médias de Tukey e Scott Knott, também a 95 % de probabilidade, e o desdobramento das respectivas interações. Foi realizada a análise de correlação, a 95 % de probabilidade, entre o *IPM* e o *IAF*.

3. RESULTADOS

Houve diferença ($p \leq 0,05$) entre os clones, doses de adubação e, também, para a interação entre esses fatores, quando a seca de ponteiros foi avaliada com base na proporção da altura das árvores afetadas (*HSP*). Para a proporção de plantas afetadas pela seca de ponteiros, os dados não atenderam às pressuposições de normalidade e homocedasticidade (homogeneidade de variâncias), mesmo após transformações dos dados e então foram aplicadas análises descritivas.

O clone com maior intensidade de seca de ponteiros foi o 36, que é híbrido de *E. camaldulensis*. Este clone apresentou 8,85 % da altura da copa afetada e 80% dos indivíduos com copa comprometida. Os demais clones procedentes de *E. camaldulensis* (10, 62, 280 e 58) também apresentaram intensa seca de ponteiros. O clone E2 (*E. urophylla* x *E. grandis*) mostrou-se mais resistente à deficiência hídrica, com apenas 3,33 % das árvores e 0,22 % da altura da copa comprometida pela seca de ponteiros (Figura 3).

De maneira geral, observou-se tendência de menor ocorrência de seca de ponteiros nas plantas do tratamento em que houve aplicação somente de fosfato na implantação (testemunha) (Figura 3).

O desdobramento da interação clone x doses de adubação para proporção da altura afetada pela seca de ponteiros (Quadro 1) resultou em efeito significativo para os clones 58, E6 e E1, dentro das doses de adubação ($p \leq 0,05$). O clone 58 apresentou valores de proporção da altura da planta com seca de ponteiros superior a 5% com a aplicação de doses

mais baixas do fertilizante NPK (78 a 130 g planta⁻¹). Os clones E6 e E1 apresentaram valores superiores a 5% apenas com a aplicação de 130 e 156 g planta⁻¹, respectivamente. O tratamento testemunha apresentou valores baixos de proporção da altura da planta com seca de ponteiro, principalmente para os clones E6 e E1.

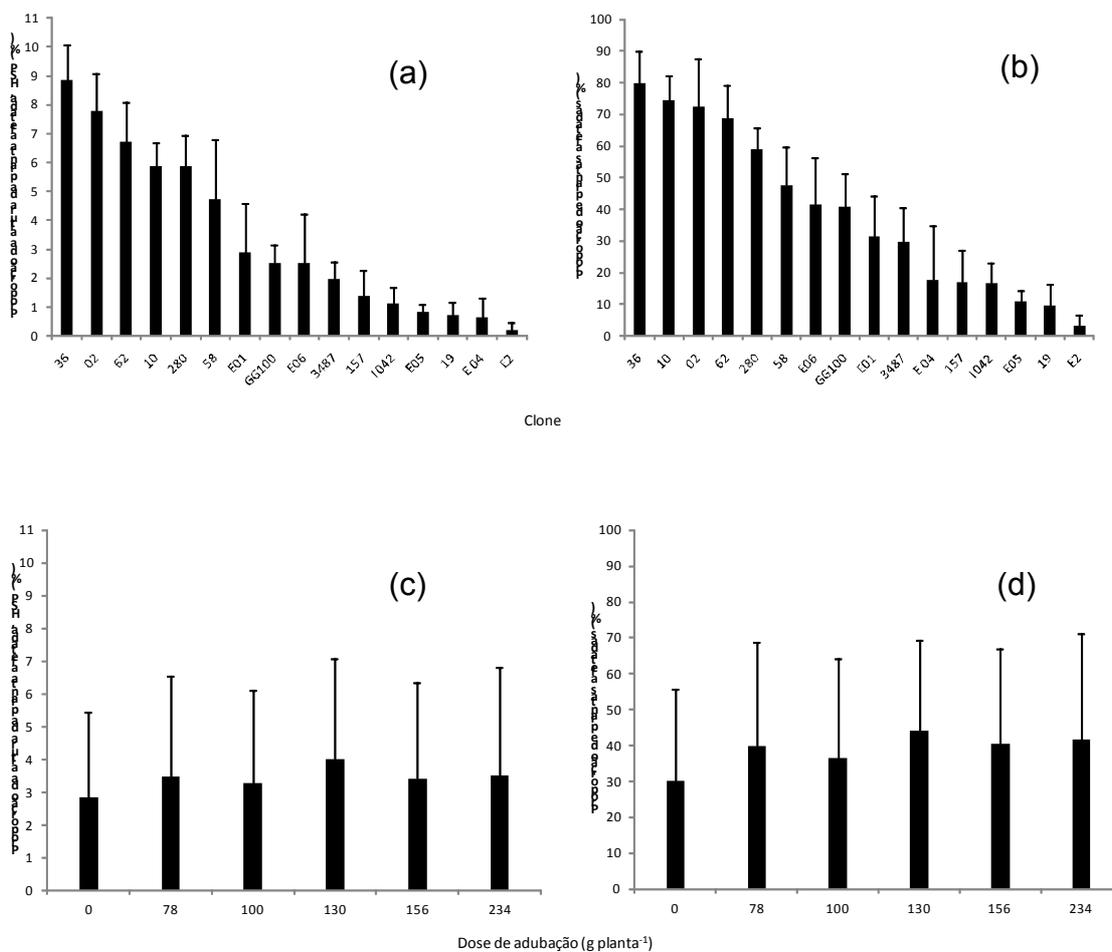


Figura 3 – Proporção da altura da planta (a, c) e proporção de plantas de clone de eucalipto, em percentagem (b, d), com seca de ponteiros, em função do clone (a,b) e da adubação (c,d), em Vazante, MG

Quadro 1 – Proporção da altura da árvore com sintomas de seca de ponteiros (*HSP*) na idade de 13 meses, por dose de adubação, para os clones 58, E6 e E1, em Vazante, MG

Clone 58		Clone E6		Clone E1	
Doses de adubação (g planta ⁻¹)	HSP (%)	Doses de adubação (g planta ⁻¹)	HSP (%)	Doses de adubação (g planta ⁻¹)	HSP (%)
130	7,90 a	130	5,96 a	156	6,16 a
100	5,49 ab	156	2,15 b	100	2,81 ab
78	5,48 ab	234	2,00 b	78	2,81 ab
0	4,26 bc	78	1,98 b	130	2,10 b
156	3,54 bc	0	1,58 b	234	1,86 b
234	1,82 c	100	1,41 b	0	1,49 b

Médias seguidas por pelo menos uma mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$)

O índice de área foliar (*IAF*) variou entre clones ($p\leq 0,05$), mas não entre doses de adubação e para a interação entre clones e adubação ($p>0,05$), aos 13 e aos 21 meses (Quadro 2). Aos 13 meses (novembro de 2007), correspondente ao final da estação seca, a seca de ponteiros apresentou relação inversa ao *IAF*. Por exemplo, o clone E5 foi um dos materiais genéticos com menor ocorrência de seca de ponteiros, tanto em altura da copa (0,85 %), quanto em percentagem de árvores afetadas (11 %) (Figura 3), tendo apresentado o maior *IAF* (1,56). Os valores de *IAF* foram muito baixos para os clones 62 e 10, que apresentaram 6,7 e 5,8 % da altura da copa afetada pela seca em 74 % das árvores.

Os clones 36, 02, 62, 10, 280 e 58 formam um grupo de clones susceptíveis à deficiência hídrica no solo, em razão de apresentarem intensa seca de ponteiros, com as maiores proporções da altura da árvore com seca (4,75 a 8,85 %) e de plantas afetadas (47,50 a 80 %). Estes clones, também, estão entre os que apresentaram os menores valores de *IAF* aos 13 meses, principalmente 02, 280, 10, 58 e 62 (Figura 3, Quadro 2).

Aos 21 meses de idade (agosto de 2008), após a segunda estação chuvosa, alguns clones mudaram de posição em relação aos valores de *IAF*

Quadro 2 – Produção média ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), incremento periódico mensal (*IPM*), em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{mês}^{-1}$ e Índice de área foliar (*IAF*) de clones de eucalipto, em quatro idades, em Vazante, MG

11 meses (set./ 2007)			13 meses (nov./2007)			19 meses (mai./2008)			21 meses (jul./2008)		
Clone	Volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	IPM ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Clone	IAF		Clone	Volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	IPM ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Clone	IAF	
E1	6,1260 a	0,5569	E5	1,56 a		E1	28,1658 a	2,7550	19	3,48 a	
E4	5,0279 b	0,4571	E1	1,54 a		157	24,9777 b	2,5626	E6	3,40 a	
I042	4,7079 b	0,4280	157	1,50 a		3487	23,6046 b	2,3756	I042	3,32 a	
3487	4,5999 b	0,4182	E6	1,36 a		19	23,5087 b	2,5696	02	3,13 b	
157	4,4770 b	0,4107	E4	1,34 a		E5	23,4855 b	2,4309	GG100	3,09 b	
E5	4,0387 c	0,3672	19	1,26 b		E4	23,1082 b	2,2600	E2	3,06 b	
GG100	3,7416 c	0,3401	E2	1,25 b		I042	23,0163 b	2,2886	280	2,86 c	
62	3,2560 d	0,2960	I042	1,17 b		GG100	21,3294 c	2,1985	E1	2,77 c	
02	3,0175 d	0,2743	36	1,11 b		E2	20,5277 c	2,2113	3487	2,75 c	
19	2,9521 d	0,2684	3487	1,08 b		36	17,5903 d	1,8904	E5	2,61 d	
10	2,9206 d	0,2655	GG100	1,07 b		62	17,1680 d	1,8376	36	2,54 d	
E2	2,8376 d	0,2580	02	1,04 b		10	16,8893 d	1,7461	157	2,54 d	
E6	2,6282 d	0,2389	280	0,93 c		02	15,6295 d	1,5765	58	2,49 d	
36	2,4674 e	0,2243	10	0,70 c		58	14,4668 e	1,5783	E4	2,47 d	
280	2,1715 e	0,1974	58	0,68 c		E6	13,9253 e	1,4121	62	2,43 d	
58	1,8407 e	0,1673	62	0,61 c		280	12,4105 f	1,2799	10	2,31 d	

Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, ($p>0,05$)

aos 13 meses, a exemplo dos clones 19 e I042, que figuram no grupo daqueles de maior *IAF*, aos 21 meses. Destaca-se a mudança de posição do clone 02 (12^a para 4^a posição) e do GG100 (11^a para 5^a posição). Por outro lado, os clones E5, E1, 157 e E4, que estavam entre os cinco de maior *IAF* aos 11 meses, apresentaram redução drástica em suas posições. Os clones 58, 10 e 62 permaneceram no grupo de menor *IAF* aos 21 meses, assim como havia ocorrido aos 13 meses (Quadro 2).

As equações de volume com casca, estimadas para os clones de eucalipto, foram:

$$\text{GG100: } V_{cc} = 0,0000347095dap^{1,583373}Ht^{1,381895},$$

$$\text{I042: } V_{cc} = 0,0000677747dap^{1,665882}Ht^{1,0881426},$$

$$\text{19: } V_{cc} = 0,0000806560dap^{1,813596}Ht^{0,887406},$$

$$\text{58: } V_{cc} = 0,0000185002dap^{1,551779}Ht^{1,652543},$$

$$\text{62: } V_{cc} = 0,0000786025dap^{1,772312}Ht^{0,909757},$$

$$\text{02: } V_{cc} = 0,0000453973dap^{1,646645}Ht^{1,249505}.$$

$$\text{Geral: } V_{cc} = 0,0000446713*dap^{1,611160*}Ht^{1,274887}.$$

Aos 11 meses de idade, o crescimento em volume variou ($p \leq 0,05$) entre clones e entre doses de adubação, não sendo verificado efeito significativo para a interação clone x dose de adubação ($p > 0,05$). Nesta idade, as plantas apresentavam os primeiros sintomas da seca de ponteiros, coincidindo com o período mais seco do ano. O clone E1 foi o clone mais produtivo ($6,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $0,57 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$), e os menos produtivos foram os clones 58 ($1,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), 280 ($2,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e 36 ($2,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). O incremento periódico mensal aos 11 meses apresentou correlação ($p \leq 0,05$) com o *IAF* estimado aos 13 meses, equivalente a 55 % (Quadro 2).

Aos 19 meses de idade, após um período de estiagem e uma segunda estação de crescimento, foi possível, avaliar a capacidade de recuperação do crescimento dos clones após a ocorrência da seca de ponteiros. O volume variou ($p \leq 0,05$) entre clones e entre doses de adubação, não sendo verificada interação clone x doses de adubação ($p > 0,05$). O clone E1 continuou sendo o mais produtivo nesta idade, embora tenha ocorrido redução no *IAF* em relação aos demais clones (Quadro 2).

O *IPM* aos 19 meses apresentou correlação ($p \leq 0,05$) de 45 % com o *IAF* aos 13 meses, e não houve correlação com o *IAF* aos 21 meses. Entre

as idades de 11 e 19 meses ocorreu mudança na posição dos clones quanto a sua produção (Quadro 2). Os clones E4 e I042 caíram da segunda e terceira, posição aos 11 meses, para a sexta e sétima posição, respectivamente, aos 19 meses, enquanto o clone 157 ascendeu da quinta para a segunda posição e o clone 19, da 10^a para a 4^a posição.

O clone GG100, extensivamente plantado na região do estudo, não se destacou em produção volumétrica em relação aos demais, aos 11 e 19 meses, ocupando apenas a sétima e a oitava posição, respectivamente. Também, não figurou entre os de maior *IAF* (Quadro 2).

4. DISCUSSÃO

Os clones 36, 62, 10, 280 e 58, procedentes de *E. camaldulensis*, exibiram intensa seca de ponteiros. Por outro lado, o clone E2, híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* apresentou reduzido sintoma de seca de ponteiros (Figura 3). Esses resultados contrastam com os verificados por Andrade et al. (1995), que encontraram a seguinte sequência quanto à intensidade de seca de ponteiros: *E. globulus* > *E. dunnii* > *E. urophylla* > *E. camaldulensis*, ou seja, este último mostrou-se o menos susceptível à seca de ponteiros.

Gomes (1994) verificou a seguinte sequência na taxa de transpiração: *E. camaldulensis* < *E. urophylla* < *E. pellita*, na região de cerrado. Chaves (2001) relatou que o clone proveniente de *E. camaldulensis* apresentou maior abscisão foliar em relação aos demais clones avaliados, após ser submetido a estresse hídrico, mas, também apresentou elevada capacidade de recuperação do crescimento, com rápida produção de matéria seca ou emissão de novas folhas, aumentando consideravelmente a sua capacidade de fixação de carbono no período pós estresse hídrico. Independentemente da estratégia dos diferentes materiais genéticos de eucalipto para se adaptar ao déficit hídrico, as alterações na alocação e partição de carbono são fundamentais para a manutenção do status hídrico e, conseqüentemente, para o crescimento da planta (Lima, 1996). Este autor verificou que *E. camaldulensis*, *E. urophylla*, *E. tereticornis* e *E. citriodora* apresentaram

maior eficiência do uso da água, sob estresse, superando *E. cloeziana*, *E. grandis*, *E. saligna* e *E. pellita*.

Com a aplicação apenas de fosfato natural (testemunha), a intensidade da seca de ponteiros foi reduzida (Figura 3), o que pode ser explicado pela menor taxa de crescimento e, conseqüentemente, mantido numa reduzida área transpiracional, mantendo elevado o estado hídrico e prevenindo os danos decorrentes da seca de ponteiros. Estes resultados indicam que a aplicação de fertilizantes, apesar de proporcionar aumento de produtividade, pode, também, aumentar a ocorrência de seca de ponteiros devido ao aumento acentuado da superfície transpiracional das plantas. Ramos et al. (2009) observaram que a intensidade dos sintomas de seca de ponteiros em *E. citriodora*, também, variou com a aplicação de doses crescentes de adubação (a base de boro) e de umidade do solo, em dois tipos de solos, mantidos em casa de vegetação. A resposta em produção ocorreu de forma quadrática com doses crescentes do fertilizante e os menores valores de produção foram observados quando houve deficiência hídrica.

A diferença em *IAF* entre os clones, em cada idade de avaliação, é decorrente de se ter utilizado materiais genéticos de procedências muito distintas. Os clones avaliados neste estudo apresentaram *IAF* variando de 0,61 a 1,56, aos 13 meses de idade, semelhantes aos valores de 0,96 a 1,77 relatados por Lima (2003), para *E. grandis*, aos 16 meses, na região de cerrado, em espaçamento semelhante ao do presente estudo. A primeira avaliação do *IAF*, no presente estudo, foi realizada em plantas bastante jovens, ou seja, quando ainda não havia ocorrido expansão plena de sua copa e ao final do período de seca. Possivelmente, até este momento pode não ter ocorrido aproveitamento pleno da adubação aplicada.

Os valores mais elevados de *IAF* foram observados para os clones E5 e E1 (*E. urophylla* x *E. grandis*) o que pode indicar elevado potencial de crescimento. Salienta-se, porém, que pode ocorrer intenso auto-sombreamento com elevado *IAF*, reduzindo a eficiência de fixação de carbono. Wong e Dumin (1987) relataram que o terço inferior da copa de floresta de eucalipto, na Austrália, contribuiu com apenas 20,74 % do carbono total acumulado pela copa.

Dentre os clones com menor *IAF*, destacam-se os materiais genéticos provenientes de *E. camaldulensis* (62, 58, 10 e 280) (Quadro 2). Estes clones apresentaram elevada seca de ponteiros, justificando o reduzido *IAF*. Fontan (2007) observou, também, que um clone originado de *E. urophylla* apresentou *IAF* maior que os de *E. camaldulensis* em razão deste apresentar galhos e folhas pendentes e copa rala em comparação com o clone de *E. urophylla*. Gonçalves e Passos (2000), também, encontraram diferenças significativas em área foliar entre materiais genéticos de eucalipto, submetidos a diferentes doses de adubação e disponibilidade hídrica no solo.

Os valores mais elevados de *IAF* dos clones 19 e I042, aos 21 meses, em comparação aos 13 meses, podem ser explicados pela baixa incidência de seca de ponteiros em plantas destes clones, aos 13 meses. O clone E1 reduziu sua posição quanto ao *IAF* na idade de 21 meses, possivelmente devido ao autossombreamento de folhas, o que promoveu abscisão foliar. É provável que maior produção possa ser obtida para este clone com o uso de espaçamentos mais amplos, permitindo uma melhor distribuição da incidência de radiação nas folhas. A capacidade de recuperação do crescimento das plantas dos diferentes materiais genéticos, avaliados em relação à susceptibilidade de seca de ponteiros ocasionada por déficit hídrico, foi avaliada aos 19 meses de idade. O clone E1 apresentou a produção volumétrica mais elevada dentre todos os clones até 19 meses de idade (Quadro 2), mesmo após um período de seca prolongado, apresentando valores relativamente baixos de seca de ponteiros. Assim, este clone pode ser considerado para plantio em áreas com acentuado déficit hídrico, para a produção de madeira para energia, em rotações curtas (em torno de 2 anos).

Plantas que apresentam elevada seca de ponteiros podem apresentar retomada de crescimento para manter produção elevada em sítios com deficiência hídrica. Tatagiba et al. (2007) encontraram respostas diferenciadas de crescimento entre clones de eucalipto, após serem submetidos a um período de acentuada deficiência hídrica no solo. Dois destes clones retomaram, de imediato, crescimento satisfatório, após reposição de água às plantas. Resultado semelhante foi obtido por

Chaves (2001), que verificou grande capacidade de recuperação após suplementação de água a plantas jovens de clone de um híbrido de *E. camaldulensis*, em casa de vegetação, após ter sido submetido a acentuado déficit hídrico. Gonçalves e Passos (2000) verificaram maior crescimento das plantas de *E. camaldulensis* em relação a *E. pellita*, *E. citriodora*, *E. cloeziana* e *E. urophylla*, quando submetidas ao déficit hídrico em dois níveis de fósforo.

A correlação apresentada ($p \leq 0,05$) entre o incremento periódico mensal, aos 11 e aos 19 meses, somente com o *IAF* aos 13 meses, comprova que a produção volumétrica está diretamente relacionada com a superfície fotossintetizante no início do estabelecimento do plantio. É provável que, aos 21 meses, os clones mais produtivos tenham apresentado intensa abscisão foliar, em razão do fechamento antecipado do dossel e tenham tido redução da fixação de carbono, resultante do autossombreamento. Com isso, a variação no *IAF* não necessariamente implica em variação no incremento volumétrico.

5. CONCLUSÕES

Variações na ocorrência de seca de ponteiros de eucalipto se deram devido a características dos materiais genéticos avaliados e não às doses de adubação aplicadas.

Os clones 36, 02, 62, 10, 280 e 58 não são indicados para manejo em rotações curtas, requerendo avaliações posteriores para identificar possível retomada de crescimento.

O clone E1 é recomendado para a região do estudo para a produção de madeira para energia, em rotações curtas.

Os clones 157, 3487, 19, E5, E4, I042 e GG100 devem ser considerados na seleção de materiais genéticos para plantio em região semelhante a da área de estudo.

O índice de área foliar, aos 13 meses de idade, é um parâmetro confiável para avaliação do crescimento potencial das plantas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J.C.P. et al. Índice de área foliar de *Eucalyptus grandis* em resposta à adubação com potássio e sódio. I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico. **Anais...** IPABHi, Taubaté, p.1-7, 1995.

ANDRADE, S.C. et al. Exigencia y distribución de boro en plantas de eucalipto. **Bosque**, Valdivia, v.16, n.1, p.53-59, 1995.

BARROS N.F. et al. Biomassa, absorção e eficiência de utilização de nutrientes por clones de eucalipto na região norte do Espírito Santo. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, XX. Programa e Resumos, Belém, SBCS, p.109, 1985.

BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. 427p. p. 269-286. il.

BINKLEY, D.; STAPE, J.L.; RYAN, M.G.T. Thinking about efficiency of resource use in forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.193, p.5-16, 2004. .

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 548p.

CHAVES, J.H. **Crescimento, fotossíntese e relações hídricas de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos**. 2001. 106p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

CHAVES, J.H. et al. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.3, p.333-341, 2004.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FARIA, G.E. et al. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no Vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.18, n.3, p.363-373, 2008.

FERREIRA, F.A. **Patologia florestal: principais doenças florestais no Brasil**. Viçosa, MG: SIF, 1989. 570p.

FONTAN, I.C.I. **Dinâmica de copa e crescimento de clones de eucalipto submetidos a desrama em sistema agroflorestal**. 2007. 68p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

GONÇALVES, M.R.; PASSOS, C.A.M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.2, p.145-161, 2000.

GOMES, R.T. **Efeito do espaçamento no crescimento e relações hídricas de *Eucalyptus* spp na região de cerrado de Minas Gerais**. 1994. 85p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

HU, H.; BROWN, P.H. Absorption of boron by plants. **Plant and Soil**. Dordrecht, v.193, p.49-58, 1997.

LANG, A.R.G.; McMURTRIE, R.E. Total leaf area of single trees of *Eucalyptus grandis* estimated from transmittances of the sun's beam. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.58, p.79-92, 1992.

LELES, P.S.S. et al. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v.22, n.1, p.41-50, 1998.

LIMA, A.P.L. **Aplicação de desrama em clone de *Eucalyptus grandis* em diferentes épocas e intensidade: efeitos sobre o crescimento e a dinâmica de copa e o tempo de desrama**. 2003. 195f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.

LIMA, P.C. **Acúmulo e distribuição de matéria seca, carboidratos e macronutrientes em mudas de *Eucalyptus* spp. em solos com diferentes potenciais hídricos**. 1996. 106p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MATTIELLO, E.M. et al. Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.1281-1290, 2009.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition** (third ed.). Bern: International Potash Institute, 1982. 844p.

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

RAMOS, S.J. et al. Crescimento e teores de boro em plantas de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) cultivadas em dois Latossolos sob influência de doses de boro e disponibilidade de água. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.1, p.57-65, 2009.

RAVEN, J.A. Short- and long-distance transport of boric acid in plants. **New Phytologist**, Lancaster, v.84, p.231-249, 1980.

REIS, G.G.; HALL, A.E. Respostas de brotações de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. submetidas a diferentes níveis de deficiência hídrica. **Revista Árvore**, Viçosa, v.10, n.1, p.16-26, 1986.

REIS, G.G. et al. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.6, p.921-931, 2006.

REIS, G.G. et al. Relações hídricas e atividade do sistema radicular em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em condições de campo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.11, n.1, p.43-55, 1987.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do Estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.4, p.447-457, 2002.

SGARBI, F. et al. Crescimento e produção de biomassa de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em condições de deficiência de macronutrientes, B e Zn. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.56, p.69-83, 1999.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G.T. Eucalyptus production and supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.193, p.17-31, 2004.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI-NETO, V.L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf. **Revista STAB**, Piracicaba, v.1, n.3, p.18-23, 1983.

TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J.E.M.; REIS, E.F. Relações hídricas e trocas gasosas na seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo. **Floresta**, Curitiba, v.38, n.2, p.387-400, 2007.

WHITEHEAD, D.; BEADLE, C.L. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.193, p.113-140, 2004.

WONG, S.C.; DUMIN, F.X. Photosynthesis and transpiration of trees in a eucalypt forest stand: CO₂, light and humidity responses. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.14, p.619-632, 1987.

XAVIER, A.D.; SOARES, J.V.; ALMEIDA, A.C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.4, p.421-427, 2002.

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO DE CLONES DE EUCALIPTO EM DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO

Resumo – Grande parte dos plantios de eucalipto, no Brasil, tem sido estabelecida no bioma Cerrado, onde os solos são de baixa fertilidade e a deficiência hídrica é acentuada, tornando fundamental a seleção de materiais genéticos e de doses adequadas de adubação para garantir produtividade elevada. Este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento de 16 clones de eucalipto submetidos a cinco diferentes doses de fertilizante, no município de Vazante, MG (17°36'09"S e 46°42'02"W). O diâmetro e a altura total das plantas foram medidos até a idade de 44 meses para avaliar o crescimento em volume e a dosagem do adubo NPK 10-28-06 para obtenção da máxima produção, por clone. Para a grande maioria dos clones houve diferença ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos que receberam qualquer dosagem do adubo NPK e a testemunha (aplicação apenas de fosfato natural). O clone GG100 obteve a maior produção em relação aos demais, seguido pelos clones 3487 e 02, e ainda apresentavam taxa de crescimento elevada aos 60 meses. O clone 10 (menos produtivo) apresentou apenas 54% da produção do GG100, aos 44 meses. Os clones 19, 62, 280, E6 e 02 apresentaram tendência de estagnação de seu crescimento, aos 60 meses. A dosagem ótima para máxima produção, para cada clone, ficou acima da recomendada pelo NUTRICALC. A aplicação de doses muito acima da recomendada não implicou em aumento de produção, sendo observado comportamento quadrático com a aplicação de doses crescentes do adubo. Os clones GG100, 3487, 02, E2, I042, E5, E4 e 157 apresentam grande potencial para serem estabelecidos na área de estudo, enquanto os clones 10, 280, 62, E6 e 19 apresentaram produção muito baixa e não devem ser utilizados para plantio na região.

Palavras chave: Crescimento, fertilização, clone de eucalipto

Abstract – Eucalypt plantations in Brazil have been established mostly in the Cerrado region, where the soils are characterized by low fertility and water availability. In such conditions genotype selection and adequate fertilization are key points to ensure high productivity. This work aimed to evaluate the growth of 16 eucalypt clones subjected to five different doses of fertilizer, in Vazante, MG (17 °

36'09 "S and 46 ° 42'02" W). The diameter and plant height were measured up to the age of 44 months to obtain volume growth and the dosage of the NPK 10-28-06 fertilizer for maximum production per clone. There was a significant difference ($p \leq 0.05$) among treatments that received any dose of NPK fertilizer and the control (application of phosphate only), for most clones studied. The clone GG100 exhibited the highest yield compared to the others, followed by 3487 and 02 clones. They were still presenting high growth rate at 60 months. Clone 10 (less productive) reached only 54% of the GG100 production, at 44 months. Clones 19, 62, 280, E6, and 02 showed a tendency to stagnate growth before 60 months. The optimum dosage for maximum production, for each clone was above the recommended by the NUTRICALC. The use of doses well above that recommended did not result in increased production, being observed quadratic behavior with the application of increasing doses of fertilizer. Clones GG100, 3487, 02, E2, I042, E5, E4 and 157 have great potential to be established in the study area, while clones 10, 280, 62, E6, and 19 had very low production and should not be planted in that region.

Key words: Tree growth, fertilization, eucalypt clone

1. INTRODUÇÃO

Grande parte das florestas de eucalipto, no Brasil, é plantada, atualmente, no bioma Cerrado, onde os solos são de baixa fertilidade natural e a disponibilidade hídrica é deficiente, o que afeta a produtividade florestal. Nos últimos anos, tem predominado o plantio de clones de eucalipto nesta região. Estes clones devem ser selecionados para sítios específicos, para obtenção de máxima produtividade e uniformidade do povoamento (Xavier, 2003). A interação genótipo x ambiente tem sido avaliada para diversos clones de eucalipto (Mori et al., 1986; Nunes et al., 2002; Rocha et al., 2005), mas há necessidade de avaliar maior quantidade de clones em diferentes condições ambientais.

O uso de clones mais produtivos, bem como de técnicas adequadas de implantação e manejo promoveram aumento substancial da produtividade dos povoamentos de eucalipto no Brasil (Stape, 2005; Gonçalves et al., 2008). Dentre as técnicas de manejo visando aumento da produtividade dos plantios de eucalipto no cerrado brasileiro, destaca-se o manejo adequado da fertilização, sendo que muitos estudos têm sido realizados nesse sentido, desde a década de 70 (Mello et al., 1970; Barros et al., 1984; Gava et al., 1997; Faria et al., 2008; Oliveira Neto et al., 2010; Rodrigues et al., 2010), comprovando a eficiência das adubações. No entanto, a adoção de doses crescentes de nutrientes não implica, necessariamente, em aumento da produtividade dos povoamentos de eucalipto. Doses muito elevadas podem produzir efeito negativo, ou o crescimento passa a depender de outro fator limitante, a exemplo da água (Silva, 2006; Stape et al., 2010) que é difícil ser suplementada nas quantidades requeridas para o crescimento adequado das florestas.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o crescimento de clones de eucalipto, na região de cerrado de Minas Gerais, visando identificar melhores materiais genéticos e doses de fertilizantes para a obtenção de povoamentos de elevada produtividade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização do experimento

O presente estudo foi desenvolvido em área da Votorantim Siderurgia (VS), no município de Vazante, Minas Gerais (17° 36' S, 46° 42' W e altitude de 550 m), no bioma Cerrado, em que os solos são classificados como Latossolo Vermelho distrófico (LVd), com textura argilosa. A precipitação média anual para o período de 2006 a 2010 foi de 1.273 mm sendo que, no período de maio a setembro, a precipitação média acumulada foi de apenas 53 mm (Figura 1), com déficit hídrico de 476 mm/ano. Oliveira et al. (2008) registraram déficit de 722 mm para esta mesma área, em 2005.

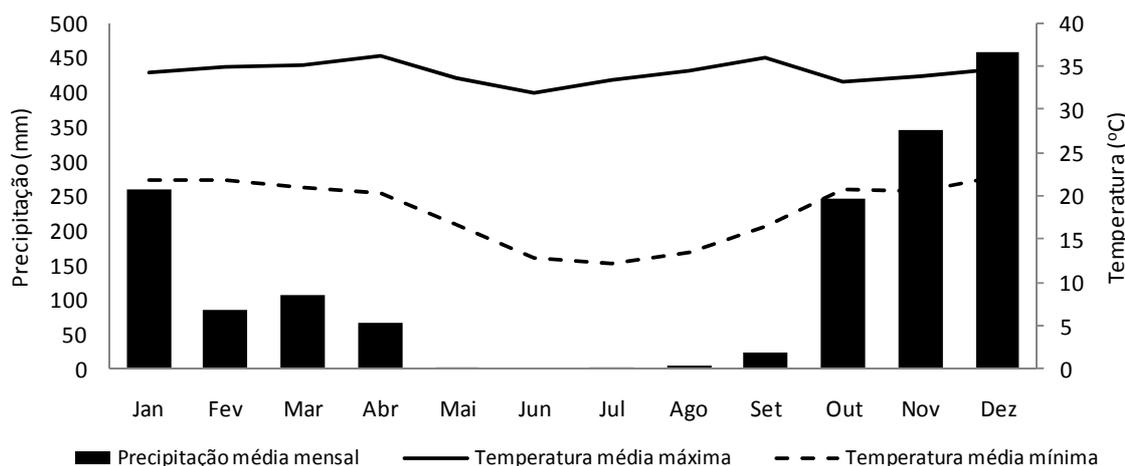


Figura 1 – Caracterização climática da área experimental, em Vazante – MG, no período de 2006 a 2010.

2.2. Instalação do experimento

O experimento foi estabelecido em espaçamento de 9 m², no arranjo 3,6 x 2,5 m, no início de outubro de 2006, e foi constituído por 16 clones originados de diferentes materiais genéticos e cinco doses de adubação (80 tratamentos). Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas, em que as parcelas foram constituídas pelos clones e

as subparcelas pelas doses de adubação, com seis repetições e 10 plantas por unidade experimental.

Os clones E1, E2, E4, E5, E6, 19, 157, GG100 são híbridos artificiais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*; os clones 02, 3487, I042 são materiais genéticos provenientes de *E. urophylla*; os clones 10, 36, 62 e 280 de *E. camaldulensis* e o clone 58 é um híbrido artificial de *E. camaldulensis* x *E. grandis*.

Antes da implantação do experimento, em 2006, foi realizada amostragem de solos para análise química, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm. Em abril de 2009, foram retiradas seis amostras de solo, compostas de cinco sub-amostras cada, extraídas nas entrelinhas de plantio, nas mesmas profundidades, para caracterização física (granulometria das partículas e textura) e química (macro e micronutrientes) do solo (EMBRAPA, 1997) (Quadro 1). A caracterização da resistência do solo à penetração foi obtida até a profundidade de 60 cm, utilizando um penetrômetro de impacto convencional, modelo Stolf (Stolf et al., 1983), nas entrelinhas do plantio, em seis pontos ao longo da área experimental (Figura 2).

O preparo do solo para o plantio dos clones de eucalipto constituiu-se de uma subsolagem a uma profundidade de 30-40 cm, justificado pela resistência à penetração observada e foram aplicados 4 t ha⁻¹ de calcário dolomítico zincal (85% de PRNT) em área total. Foi feita a aplicação de 360 g planta⁻¹ de fosfato natural de Gafsa no sulco, simultaneamente à subsolagem, para todos os tratamentos. A adubação de implantação foi realizada imediatamente após o plantio, utilizando as seguintes dosagens crescentes do fertilizante NPK 10-28-06: 0 (testemunha), 78, 100, 130, 156 e 234 g planta⁻¹, em covetas laterais. A dose de 78 g planta⁻¹ foi a recomendada para a área utilizando o programa NUTRICALC, um modelo de simulação que possibilita formular recomendações de adubação, muito utilizado pelas empresas florestais brasileiras para suprir as demandas de nutrientes pelos plantios de eucalipto (Barros et al., 2000). As doses de 100 e 130 g planta⁻¹ eram, naquela ocasião, utilizadas nos plantios comerciais da empresa e 156 e 234 g planta⁻¹ correspondem a 2 e 3 vezes o recomendado através do NUTRICALC. Em abril de 2007, foi realizada a adubação de

cobertura à base de 20 g planta⁻¹ de Borogram (10% B), em círculo, superficialmente, e 169 g planta⁻¹ de NPK 20-0-20, em covetas laterais.

Quadro 1 – Caracterização física e química do solo da área experimental, em Vazante, MG

Característica	Profundidade (cm)			
	0-20		20-40	
	2006	2009	2006	2009
Argila (%)		31		36
Silte (%)		6		7
Areia grossa (%)		36		33
Areia fina (%)		23		22
pH (H ₂ O)	5,2	4,9	5,0	4,8
P (mg dm ⁻³)		3,6		1,1
K (mg dm ⁻³)	65	33	19	37
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,7	0,5	0,1	0,4
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,5	0,3	0,1	0,2
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,9	1,3	1,2	1,7
H+Al (cmolc dm ⁻³)	4,9	3,28	3,5	3,80
SB (cmolc dm ⁻³)	1,2	0,80	0,2	2,51
CTC(t) (cmolc dm ⁻³)	2,1	2,12	1,4	2,35
CTC(T) (cmolc dm ⁻³)	6,3	4,08	3,7	4,44
V (%)	22	19	5	15
m (%)	39	64	86	72
MO (dag Kg ⁻¹)	4,1	0,9	1,6	1,1
P-rem (mg L ⁻¹)		26,7		22,2
Zn (mg dm ⁻³)		3,6		0,8
Fe (mg dm ⁻³)		58,6		54,1
Mn (mg dm ⁻³)		9,5		5,5
Cu (mg dm ⁻³)		0,9		0,9
B (mg dm ⁻³)		0,3		0,2
S (mg dm ⁻³)		4,7		8,2

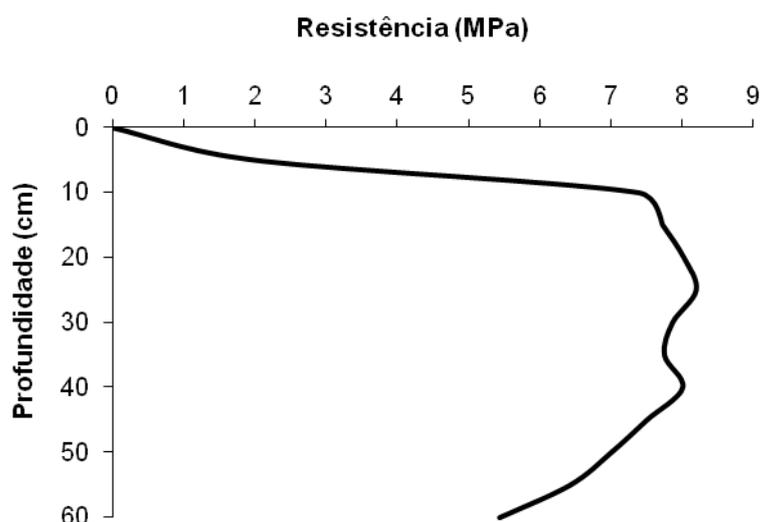


Figura 2 – Resistência do solo à penetração na área experimental, em Vazante, MG.

2.3. Coleta de dados de crescimento

Nas idades de 11, 19, 25, 31, 38 e 44 meses, foram mensurados o diâmetro a 1,30 m de altura (*dap*) e a altura total (*Ht*) de 10 árvores por unidade experimental.

Para a quantificação do volume por árvore e posterior ajuste de modelo volumétrico, foi utilizado um banco de dados da Votorantim Siderurgia (VS), de povoamentos comerciais de cada material genético, com idades similares à do povoamento estudado. O volume de madeira com casca foi, então, determinado para cada árvore deste banco de dados, pelo método de Smalian:

$$V = \left(\frac{g_i + g_{i+1}}{2} \right) L$$

em que:

V = volume de madeira com casca, em m^3 ;

g_i = área seccional da secção i ;

g_{i+1} = área seccional da secção $i+1$;

L = comprimento da secção.

Para a estimativa de equações volumétricas foi utilizado o modelo de Schumacher e Hall (Campos e Leite, 2009), em sua forma não linear:

$$V_{cc} = \beta_0 * dap^{\beta_1} * Ht^{\beta_2} + \varepsilon_i$$

Em que:

V_{cc} – Volume com casca, em m³

dap – Diâmetro a 1,30 m do solo, em cm

Ht – Altura total, em m

β_i – Parâmetros da equação

ε_i – Erro experimental

Para os clones GG100, I042, 19, 58, 62 e 02, que constavam no banco de dados de cubagem da empresa, foram estimadas equações específicas e, para os demais clones, foi estimada uma equação geral, a partir de todos os dados destes seis clones presentes naquele banco de dados.

2.4. Análise de dados

O crescimento volumétrico do povoamento foi avaliado por meio da análise de variância. Para cada tratamento, de cada clone, foi avaliado o volume por hectare (m³ ha⁻¹) em função da idade, a partir dos dados de cada idade de avaliação (11, 19, 25, 31, 38 e 44 meses), através da análise de regressão não linear, utilizando o modelo logístico: $V_{cc} = \beta_0 / (1 + \beta_1 * \exp(-\beta_2 I)) + \varepsilon_i$, em que V_{cc} = volume com casca (m³ ha⁻¹); I = idade do povoamento, em meses; β_i = parâmetros do modelo ε_i = erro aleatório, $\varepsilon \sim NID(0, \sigma^2)$. A equação estimada foi avaliada com base em critérios usuais: correlação entre valores observados e estimados e distribuição dos resíduos. Com o objetivo de avaliar a igualdade estatística entre as curvas de crescimento estimadas para cada tratamento de adubação, empregou-se um teste de identidade de modelos. Como um dos objetivos era definir a dosagem de fertilizante mais adequada para cada material genético, os dados de cada clone foram, então, submetidos à

análise de regressão, aos 44 meses de idade, data da última avaliação de crescimento do povoamento, relacionando a produção com a dose de fertilizante, empregando o modelo quadrático.

3. RESULTADOS

Equações para estimar o volume de madeira com casca foram ajustadas para os clones de eucalipto, com base no banco de dados de cubagem da Votorantim Siderurgia, conforme segue:

$$\text{GG100: } V_{cc} = 0,0000347095dap^{1,583373}Ht^{1,381895},$$

$$\text{I042: } V_{cc} = 0,0000677747dap^{1,665882}Ht^{1,0881426},$$

$$\text{19: } V_{cc} = 0,0000806560dap^{1,813596}Ht^{0,887406},$$

$$\text{58: } V_{cc} = 0,0000185002dap^{1,551779}Ht^{1,652543},$$

$$\text{62: } V_{cc} = 0,0000786025dap^{1,772312}Ht^{0,909757},$$

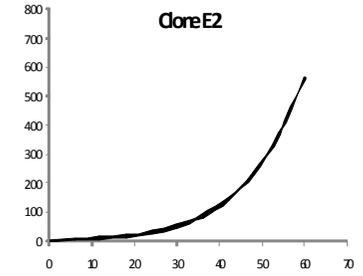
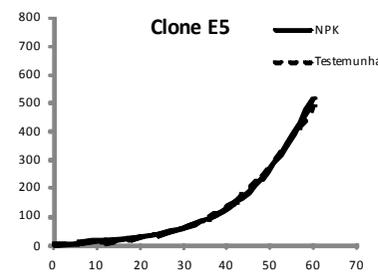
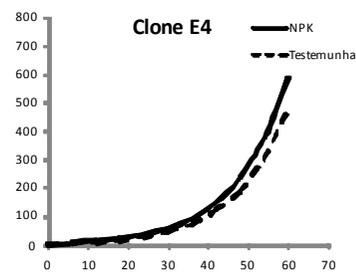
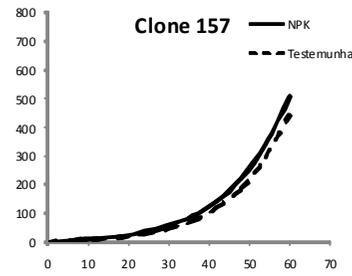
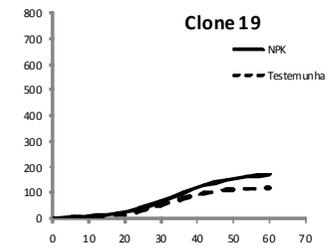
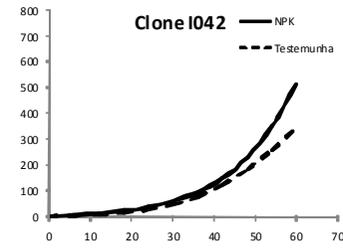
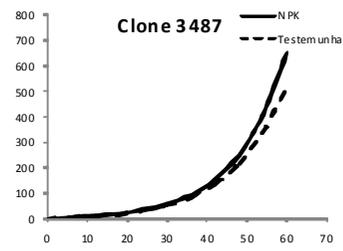
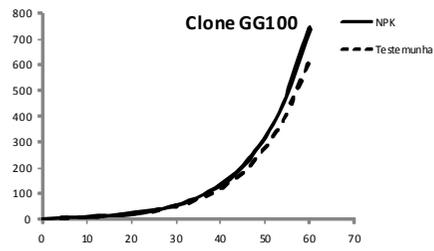
$$\text{02: } V_{cc} = 0,0000453973dap^{1,646645}Ht^{1,249505}$$

$$\text{Geral: } V_{cc} = 0,0000446713*dap^{1,611160*}Ht^{1,274887}.$$

A partir dos dados de volume observados em cada idade (11, 19, 25, 31, 38 e 44 meses), foram geradas curvas para descrever o crescimento em volume do povoamento em função da idade, com extrapolações até os 60 meses, para cada nível de adubação e cada clone (Figura 3). Através do teste de identidade de modelos (modelo logístico), a 95 % de probabilidade foi verificado que, para o clone 02, não houve diferença quando da aplicação de 78 ou 130 g planta⁻¹ de NPK; por isso, foi estimada uma única curva para estes tratamentos, assim como para as doses de 100 e 156 g planta⁻¹, que formaram outro grupo e para a testemunha foi estimada uma curva específica. Os clones 280 e E2 não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, sendo estimada uma única curva de crescimento para eles. Para os demais clones, não houve diferença em crescimento volumétrico ao longo da idade ($p > 0,05$), para os tratamentos que receberam quaisquer das dosagens de NPK na implantação, sendo ajustada uma única curva de crescimento para os mesmos e, todos estes diferiram da testemunha, onde houve a aplicação apenas de fosfato natural.

A grande maioria dos clones avaliados (10, 36, 58, 157, 3487, E1, E4, E05, E2, GG100 e I042), até a idade de 60 meses, não apresentou estagna-

Volume (m³ ha⁻¹)



Idade (meses)

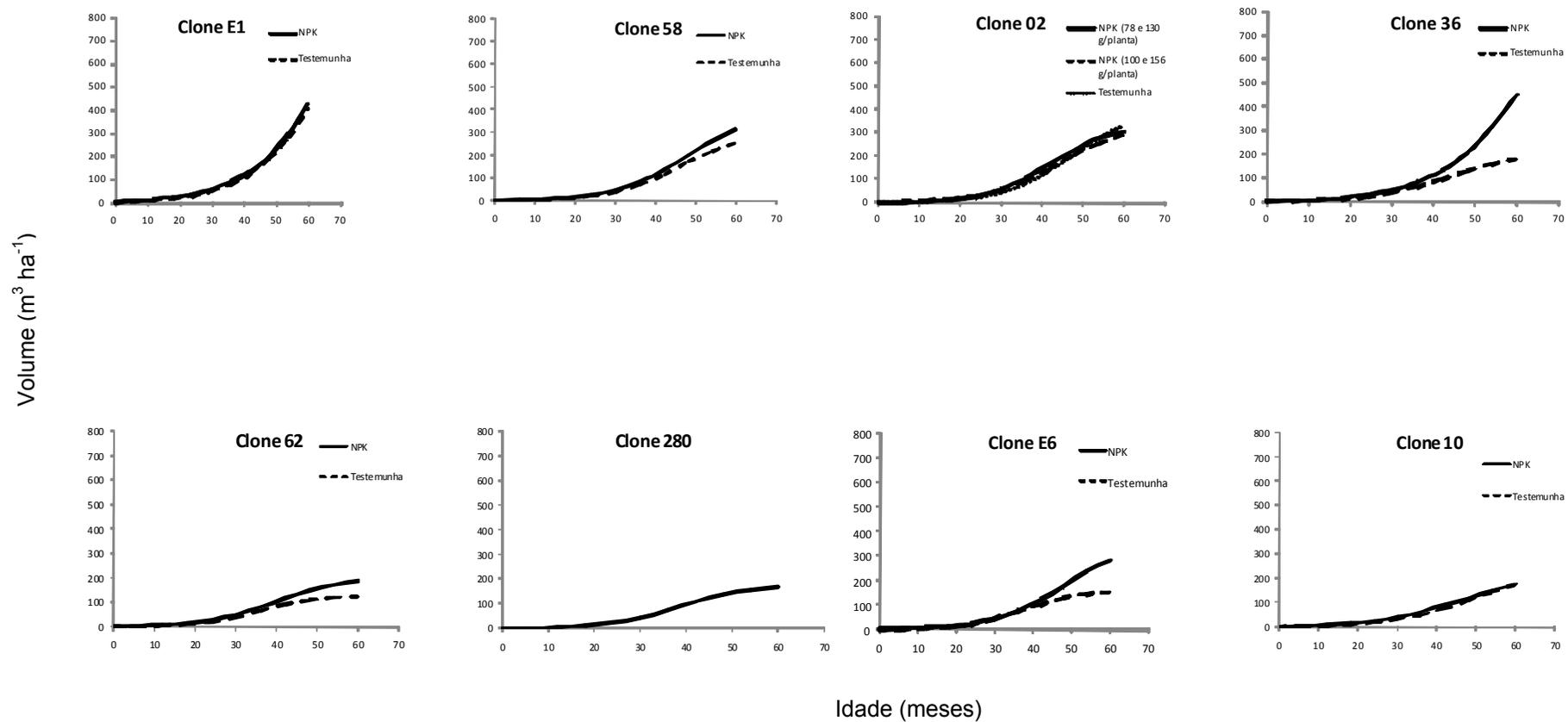


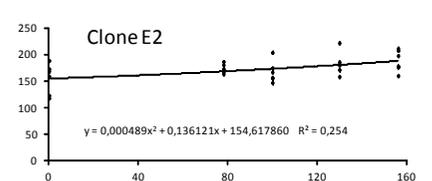
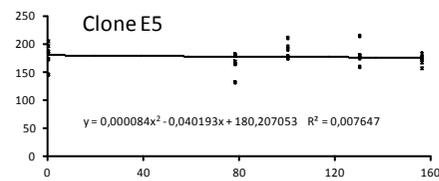
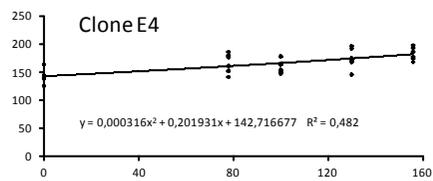
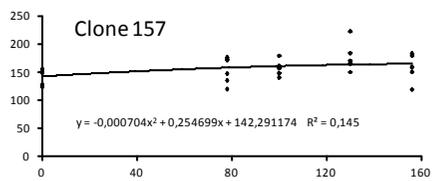
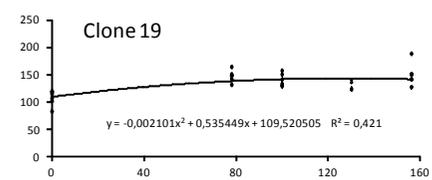
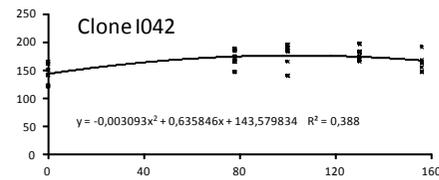
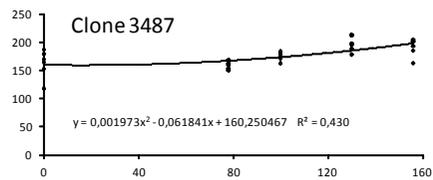
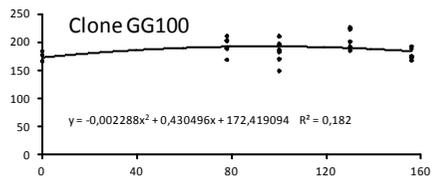
Figura 3 – Curvas de crescimento volumétrico de clones de eucalipto submetidos a diferentes doses de adubação, em Vazante, MG

ção de crescimento. Os outros cinco clones (19, 62, 280, E6 e 02), nesta idade, já apresentavam tendência de estagnação (Figura 3).

O modelo que melhor se ajustou para definir a dosagem ótima de fertilizante para máxima produtividade, de cada material genético, foi o polinomial de segundo grau. A partir da sua primeira derivada, foi possível determinar a dosagem para a produção máxima de madeira. A dosagem encontrada foi superior à recomendada pelo programa NUTRICALC (78 g planta⁻¹), para todos os clones, tendo variado de 82 g planta⁻¹ (91 Kg ha⁻¹) para o clone 02 a 184 g planta⁻¹ (204 Kg ha⁻¹) para o clone 280, o que corresponde a 1,05 e 2,36 vezes a recomendação do NUTRICALC, respectivamente (Figura 4, Quadro 2).

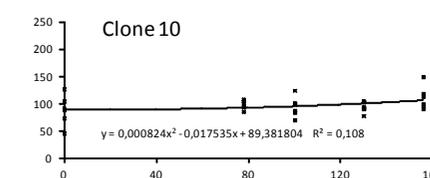
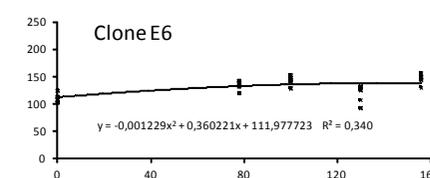
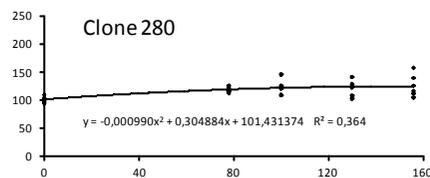
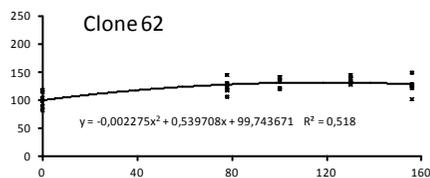
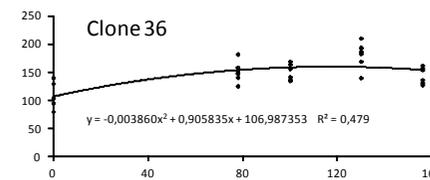
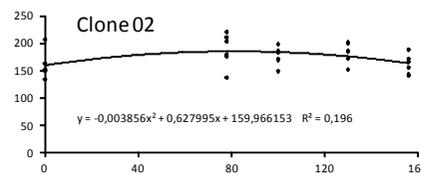
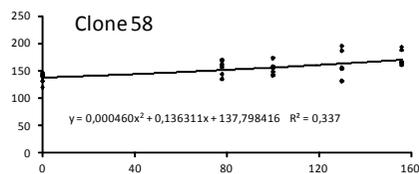
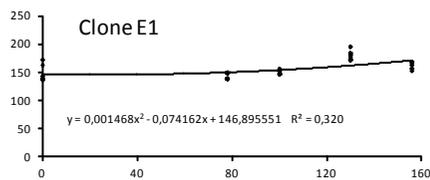
Em média, para as doses de adubação que promoveram maior produção ($p \leq 0,05$) aos 44 meses de idade, o clone que obteve maior produção foi o GG100 (192,34 m³ ha⁻¹), com aproximadamente 52 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Esse volume foi 85 % superior ao do clone 10, que apresentou a menor produção. O segundo clone mais produtivo (E5), nesta idade, apresentou volume ligeiramente inferior ao do GG100 (2,9 %). Oito clones apresentaram IMA superior a 45 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (GG100, 3487, 02, E2, I042, E5, E4 e 157) e cinco, inferior a 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (10, 280, 62, E6 e 19) (Quadro 3) Dentre os clones que apresentaram estagnação do crescimento até a idade de 60 meses (19, 62, 280, E6 e 02) (Figura 3), a maioria se encontra entre aqueles de menor produção, exceto o clone 02, que teve a terceira maior produção aos 44 meses de idade (Quadro 2).

Volume (m³ ha⁻¹)



Dose (g planta⁻¹)

Volume (m³ ha⁻¹)



Dose (g planta⁻¹)

Figura 4 – Produção de madeira em resposta à aplicação de doses crescentes de NPK 10-28-06 para clones de eucalipto, em Vazante, MG

Quadro 2 – Produção de madeira com casca em diferentes idades ($m^3 ha^{-1}$), produtividade média ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$) e dose de NPK 10-28-06 ($g planta^{-1}$) para máxima produção, aos 44 meses de idade, por clone, em Vazante, MG

Idade (meses)														
11		19		25		31		38		44		Dose		
Clone	Vcc	Clone	Vcc	Clone	Vcc	Clone	Vcc	Clone	Vcc	Clone	Vcc	IMA	$g planta^{-1}$	$Kg ha^{-1}$
E1	6,13	E1	28,17	E1	37,01	19	81,24	E5	99,18	GG100	192,34	52,46	110	122
E4	5,03	157	24,91	19	36,03	1042	79,90	02	97,96	E5	186,98	50,99	119	132
1042	4,71	3487	23,60	157	35,94	E5	77,08	3487	96,35	3487	185,93	50,71	141	157
3487	4,60	19	23,51	1042	35,69	GG100	76,08	GG100	96,28	02	175,68	47,91	82	91
157	4,48	E5	23,49	E5	35,30	3487	75,70	1042	95,08	E2	174,00	47,46	87	97
E5	4,04	E4	23,11	E4	34,97	157	74,23	E1	93,95	1042	173,97	47,45	113	126
GG100	3,74	1042	23,02	3487	34,97	E1	74,16	E2	93,92	E4	173,46	47,31	92	102
62	3,26	GG100	21,33	GG100	33,01	E2	73,76	157	93,47	157	169,03	46,10	125	139
02	3,02	E2	20,53	E2	31,89	E04	71,16	19	92,61	E1	161,01	43,91	133	148
19	2,95	36	17,59	02	28,24	58	65,80	E4	91,38	58	160,00	43,64	100	111
10	2,92	62	17,17	36	27,77	36	64,34	58	91,22	36	156,89	42,79	119	132
E2	2,84	10	16,89	62	26,84	02	63,10	62	84,86	19	141,90	38,70	120	133
E6	2,63	2	15,63	10	26,29	62	61,66	36	84,27	E6	139,89	38,15	116	129
36	2,47	58	14,47	58	23,54	E6	53,75	E6	83,19	62	130,70	35,64	120	133
280	2,17	E6	13,93	E6	23,42	280	53,48	280	79,97	280	120,11	32,76	184	204
58	1,84	280	12,41	280	20,70	10	52,14	10	62,27	10	103,99	28,36	109	121

4. DISCUSSÃO

A grande maioria dos clones avaliados, que receberam adubação em dosagens variadas, apresentou crescimento superior ao das plantas testemunha, certamente, em decorrência da limitação de nutrientes demandados para o crescimento das plantas deste tratamento. Resultados semelhantes também foram relatados por diversos autores (Stape, 2005; Faria et al., 2008; Oliveira Neto et al., 2010; Rodrigues et al., 2010), que observaram que a fertilização mineral proporcionou a obtenção de elevada produtividade de madeira em plantios de eucalipto, quando estabelecidos em sítios com limitação de nutrientes, semelhantemente à área em que foi desenvolvido o presente estudo.

No entanto, para os clones 280 (*E. camaldulensis*) e E2 (*E. urophylla* x *E. grandis*) não foi observada diferença ($p > 0,05$) entre as doses de adubação, mesmo em relação à testemunha (Figura 3). Resultados semelhantes foram, também, obtidos por Berger et al. (2002), que verificaram que o fator adubação não teve influência sobre o crescimento em diâmetro, altura e volume para *E. saligna*, até os 10 anos de idade. As respostas observadas para estes dois clones podem indicar que os mesmos apresentam, relativamente, baixa eficiência de uso da água, uma vez que os solos de cerrado, geralmente, experimentam acentuada deficiência hídrica em boa parte do ano. Em consequência, pode haver redução do fluxo de massa e da difusão de íons na solução do solo, além de redução da permeabilidade e da condutividade hidráulica das raízes (Sands e Mulligan, 1990; Barros e Comerford, 2002). Neste caso, a adição do adubo pode não ser efetiva em promover incrementos significativos em produção de madeira para esses dois clones.

O fato da maioria dos clones avaliados ainda não apresentarem tendência de estagnação em sua curva de crescimento evidencia a elevada capacidade produtiva dos mesmos, que ainda podem continuar demandando nutrientes para elevar ou manter a sua produção. Os clones que já apresentam tendência de estagnação na sua curva de crescimento até os 60 meses de idade (19, 62, 280, E6 e 02) (Figura 3), possivelmente, encontram-se próximos a idade ideal de corte para a produção de biomassa. O declínio

da taxa de crescimento, com o avanço da idade, pode ser explicado pela deficiência hídrica no solo, que reduziria substancialmente a aquisição de nutrientes. A demanda nutricional não seria um fator muito limitante em idades mais avançadas, devido a ciclagem de nutrientes (bioquímica e biogeoquímica), também, auxiliar na suplementação de nutrientes às plantas (Attiwill, 1979; Miller, 1995), além do que foi adicionado pelas adubações. O fato do clone 02 ter obtido uma das maiores produções aos 44 meses, mas apresentar estagnação precoce do crescimento (Figura 3, Quadro 2), indica que este clone pode ser recomendado para a obtenção de madeira para energia, em rotações mais curtas.

As dosagens ótimas do adubo estimadas para os clones (Quadro 2) foram sempre superiores às recomendadas pelo NUTRICALC. Este fato pode ser explicado, mais uma vez, pela severa deficiência hídrica do solo experimentada pelas plantas já que, na calibração do programa de recomendação de adubação, foram utilizados ambientes variados de disponibilidade hídrica. Nesta condição, mesmo com uma adubação na faixa considerada de luxo, não atende totalmente às necessidades das plantas. A generalização da recomendação através do NUTRICALC pode não considerar, na profundidade requerida, alguns fatores, como o déficit hídrico acentuado no solo, que pode ter induzido à subestimação da dosagem ideal. Este comportamento pode vir a acontecer para plantios florestais em locais com condição bastante adversa de deficiência hídrica no solo (Nogueira, 2005), como a do local do estudo. Morais et al. (1990) verificaram que o déficit hídrico é o fator mais limitante ao crescimento de várias espécies de eucalipto (*E. grandis*, *E. saligna*, *E. cloeziana*, *E. citriodora* e *E. brassiana*), em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais, com efeito mais acentuado na região de cerrado. O déficit hídrico, também, afeta os teores de nutrientes nas folhas do eucalipto. Assis et al. (2006) encontraram diferenças nos teores de nutrientes nas folhas em *E. urophylla*, a depender da época do ano. Houve redução acentuada nos teores de N, P e K, na estação seca, principalmente quando o déficit hídrico no solo foi acentuado. Estes autores observaram, também, acentuada queda de folhas no início da estação seca. De acordo com Reis e Barros (1990), a retranslocação interna dos nutrientes

da folha, antes da abscisão, é importante para a eficiência de utilização de nutrientes em florestas tropicais.

A variação expressiva nas dosagens ótimas para cada um dos clones (Quadro 2) evidencia que devem ser realizadas recomendações específicas de adubação para cada material genético, devido as exigências marcantes e diferenciadas entre eles, por nutrientes.

A aplicação de uma dose mais elevada do fertilizante (200 % maior que a recomendada pelo NUTRICALC) não foi a que promoveu maior produção em volume de madeira, das plantas. Esse resultado corrobora com a afirmação feita por Stape et al. (2010), de que a aplicação de fertilizantes acima de doses adequadas e requeridas pelas plantas pode não promover incrementos significativos em produção volumétrica, principalmente, se a adubação ocorrer em ambiente com deficiência hídrica acentuada no solo. Ainda, segundo estes mesmos autores, neste tipo de ambiente, a adição de água via irrigação é o que pôde garantir maiores produtividades, em torno de 30 % superior à adição isolada de fertilizante. O efeito quadrático observado para as doses crescentes de adubação indica que existe tendência de estagnação do crescimento com dosagens muito elevadas, fato observado por Oliveira Neto et al. (2010), também, na região de cerrado de Minas Gerais. Este comportamento ocorreu possivelmente pela concentração de fertilizante junto às mudas, causando fitotoxicidade e, ou salinização, uma vez que o mesmo foi aplicado em duas covetas muito próximas a muda. A aplicação de doses elevadas do fertilizante pode ter promovido um forte estresse osmótico às mudas.

A superioridade do clone GG100 (*E. urophylla* x *E. grandis*) para a produção de madeira (Quadro 2), também, foi comprovada por Souza (2011) em estudo realizado em área próxima ao sítio do presente estudo. Segundo este mesmo autor, a diferença entre o clone GG100 e o clone menos produtivo foi de 61 %, semelhante ao encontrado no presente estudo (54 %), o que evidencia a elevada capacidade produtiva deste material genético para o cerrado brasileiro. Faria et al. (2008) verificaram diferença de 100 % na produção de madeira entre os clones mais e menos produtivos, e de 10 % entre o primeiro, que também era um híbrido de *E. urophylla*, e o

segundo mais produtivo, também na região de cerrado, aos 57 meses de idade.

Os clones GG100, 3487, 02, E2, I042, E5, E4 e 157 apresentaram produção satisfatória, com IMA acima de $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, podendo ser selecionados para a região. Porém, o 3487, apesar de apresentar produção elevada, requer alta demanda de nutrientes para alcançá-la ($141 \text{ g planta}^{-1}$), o que não acontece com os clones 02, E2 e E4. O clone E4 apresenta a segunda menor produção entre estes clones mais produtivos, porém se mostra eficiente em utilização de nutrientes, quando comparado, por exemplo, com o clone 3487, que foi o segundo mais produtivo aos 44 meses. A diferença em IMA para estes dois clones é pequena, mas a demanda de nutrientes é de $141 \text{ g planta}^{-1}$ (157 Kg ha^{-1}) para o clone 3487 e 92 g planta^{-1} (102 Kg ha^{-1}) para o clone E4 (Quadro 2). Ou seja, além de avaliar a produção, deve-se levar em conta a eficiência na utilização dos recursos de crescimento.

5. CONCLUSÕES

A fertilização mineral aplicada aos clones de eucalipto promoveu incrementos em produção para a maioria dos clones avaliados.

A dosagem para obtenção de máxima produção varia de 82 a $184 \text{ g planta}^{-1}$ de NPK 10-28-06, evidenciando a necessidade de recomendação específica para cada clone.

Os clones GG100, 3487, 02, E2, I042, E5, E4 e 157 apresentaram produtividades médias superiores a $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, aos 44 meses de idade, e são potenciais para plantio na área de estudo.

Os clones 10, 280, 62, E6 e 19 apresentaram produção inferior a $39 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, não sendo recomendados para a região do estudo.

Além de avaliar a produção de cada material genético, deve-se avaliar a eficiência de utilização dos recursos de crescimento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, R.L.; FERREIRA, M.M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Estado nutricional de *Eucalyptus urophylla* s.t. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrados de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.36, n.3, p.151-157, 2006.

ATTIWILL, P.M. Nutrient cycling in *Eucalyptus obliqua* (L'Herit.). III. Growth, biomass and net primary production. **Australian Journal of Botany**, Canberra, v.27, p.439-458, 1979.

BARROS, N.F. et al. Análise do crescimento de *Eucalyptus saligna* em solo de cerrado sob diferentes níveis de N. P. e K, no Vale do Jequitinhonha, MG. **IPEF**, Piracicaba, n.26, p.13-17, 1984.

BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. 427p. p. 269-286. il.

BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H. et al., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2. p.487-592, 2002.

BERGER, R. et al. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.2, p.75-87, 2002.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 548p.

FARIA, G.E. et al. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no Vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.18, n.3, p.363-373, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GAVA, J.L. et al. Eficiência relativa de fertilizantes fosfatados no crescimento inicial de eucalipto cultivado em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.21, p.497-504, 1997.

GONÇALVES, J.L.M. et al. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests**, Grahamstown, v.70, p.105–118, 2008.

MELLO, H.A.; MASCARENHAS SOBRINHO, J.; SIMÕES, J.W. Resultados da aplicação de fertilizantes minerais na produção de madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. em solos de cerrado do Estado de S. Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n.1, p.7-26, 1970.

MILLER, H.G. The influence of stand development on nutrient demand, growth and allocation. **Plant and Soil**, Dordrecht v.168/169, p.225-232, 1995.

MORAIS, E.J. et al. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, n.3, p.353-362, 1990.

NOGUEIRA, C.A.S. **Estado nutricional e produtividade de plantios de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* submetidos a diferentes níveis de adubação no vale do Rio Jarí, Pará e Amapá.** 2005. 60f.:il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém.

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

OLIVEIRA NETO, S.N. et al. Crescimento e distribuição diamétrica de *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes espaçamentos e níveis de adubação na região de Cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, Curitiba, v.40, n.4, p.755-762, 2010.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; MORA, A.L.; MAESTRI, R. Interação de genótipos de *Pinus taeda* L. com locais no Sul-Sudeste do Brasil. **Cerne**, Lavras, v.7, n.1, p.90-100, 2001.

REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Ciclagem interna de nutrientes em plantios de eucalipto. In: **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.265-302.

ROCHA, R.B. et al. Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.15, n.3, p.255-266, 2005.

RODRIGUES, F.A.V. et al. Disponibilidade de cobre para mudas de eucalipto em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.34, p.1923-1932, 2010.

SANDS, R.; MULLIGAN, D.R. Water and nutrient dynamics and tree growth. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.30, p.91-111, 1990.

SILVA, G.G.C. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e**

nutrientes. 2006. 102p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SOUZA, F.C. **Crescimento e potencial energético de plantas intactas e de brotações de plantas jovens de clones de eucalipto.** 2011. 54p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

STAPE, J.L. Modelos ecofisiológicos têm aplicação ampliada. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v.4, p.108-109, 2005.

STAPE, J.L. et al. The Brazil *Eucalyptus* Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.259, p.1684-1694, 2010.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI-NETO, V.L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf. **STAB**, Piracicaba, v.1, n.3, p18-23, 1983.

XAVIER, A. Silvicultura clonal em *Eucalyptus*. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, 2003. p.46-53. (Edição Especial).

CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados deste estudo permitiram as seguintes conclusões:

O déficit hídrico no solo ocasiona sintomas de seca de ponteiro em todos os clones avaliados no presente estudo com intensidade diferenciada.

O índice de área foliar, aos 13 meses, é um parâmetro confiável para avaliação do crescimento potencial das plantas.

A adubação deve ser específica para cada material genético, para a obtenção de máxima produção.

O clone E1 é recomendado para a produção de madeira destinada à produção de energia em rotações curtas, para a região do estudo.

O clone GG100 é o mais produtivo dentre os clones avaliados e apresenta potencial de crescimento também para idades mais avançadas, sendo recomendado para a produção de madeira para usos que demandam elevada produção.

O clone 10 não é recomendado para a região do estudo, por apresentar sensibilidade à seca de ponteiro, além de produção muito reduzida.