Fertilização potássica na implantação de *Corymbia citriodora*
(Hook.) K.D. Hill & L.A.S. JohnsonPotassium fertilization in plantation of *Corymbia citriodora*
(Hook.) K.D. Hill & L.A.S. JohnsonGabriel Biagiotti¹, Sergio Valiengo Valeri²,
Mara Cristina Pessoa da Cruz³ e Rodrigo Tenório de Vasconcelos¹

Resumo

A fertilização potássica pode gerar incrementos no crescimento das árvores e maximizar a produtividade florestal. O objetivo desse trabalho foi verificar os efeitos da aplicação de doses de potássio no crescimento e na produção de biomassa de madeira de plantas de *Corymbia citriodora*. Foram aplicadas doses de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio em Argissolo Vermelho Amarelo textura arenosa. As doses de potássio foram parceladas, em quantidades iguais no plantio, aos 6 e 9 meses. As mudas foram plantadas no espaçamento de 3 x 2 m e o delineamento experimental foi de blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. Foram feitas avaliações de altura e de diâmetro do caule aos 6, 9, 12 e 24 meses após plantio. Também aos 12 meses, foi determinada a densidade básica da madeira, estimado o volume de madeira e a produção de biomassa de madeira por hectare. Até aos 12 meses de idade, o crescimento e a produção de biomassa de *C. citriodora* foram favorecidos com a fertilização potássica, sendo que a aplicação de 62 kg ha⁻¹ de K₂O promoveu maior crescimento em diâmetro e a de 85 kg ha⁻¹ de K₂O promoveu maior produção de biomassa de madeira. Aos 24 meses de idade, não houve resposta à adubação potássica, sugerindo maior exigência do nutriente na fase inicial de crescimento.

Palavras-chave: eucalipto, nutrição florestal, argissolo.

Abstract

Potassium fertilization can generate increases in tree growth and maximize forest productivity. The aim of this study was to verify the effects of application of potassium doses on the growth and wood biomass production of *Corymbia citriodora*. Doses of 0, 30, 60, 90, 120 and 150 kg ha⁻¹ K₂O were applied in Ultisol, sandy texture. The potassium doses were split in equal amounts at planting, at 6 and 9 months. Seedlings were planted at 3 x 2 m spacing and the experimental design was a randomized block design with six treatments and four replications. Evaluations were made in height and stem diameter at 06, 09, 12 and 24 months after planting. Also, at 12 months, the basic density of wood, the wood volume per hectare, and wood biomass production per hectare were determined. Until age 12 months, growth and biomass production of *C. citriodora* increased by potassium fertilization; the application of 62 kg ha⁻¹ de K₂O promoted greatest growth in diameter and 85 kg ha⁻¹ de K₂O promoted greatest production of wood biomass. At 24 months there was no response to potassium fertilization, suggesting greater demand of the nutrient at the early stages of growth.

Keywords: *Eucalyptus*, forestry nutrition, Ultisol

INTRODUÇÃO

Plantas de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson são excelentes produtoras de madeira para construção civil, dormentes, postes, mourões de cerca e carvão vegetal. Sua madeira apresenta boa resistência física, elevada densidade básica, alta durabilidade e elevado grau de rendimento na serraria (IPT, 2014). Da mesma forma, as folhas desta espécie são comercializadas para

¹Doutor em Agronomia. UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, Km5 – 14.884-900 – Jaboticabal, SP, Brasil. E-mail: gbiagiotti@yahoo.com.br; rodrigotvasconcelos@hotmail.com

²Professor Titular do Departamento de Produção Vegetal. UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, Km5 – 14.884-900 – Jaboticabal, SP, Brasil. E-mail: valeri@fcav.unesp.br

³Professor Assistente do Departamento de Solos e Adubos. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, Km5 – 14.884-900 – Jaboticabal, SP, Brasil. E-mail: mcpacruz@fcav.unesp.br

a produção óleos essenciais, cujo principal constituinte é o citronelal (>75%) com propriedades fungicidas, bactericidas, nematocidas, fitotóxicas, com eficiência no controle de plantas daninhas, o que justifica o seu uso econômico (BATI SH et al., 2006).

Segundo Vieira (2004), a área plantada de *C. citriodora* no Brasil ocupava aproximadamente 85.000 ha, sendo que no estado de São Paulo 10.000 ha (KRONKA, 2002) e no Mato Grosso cerca de 12.500 ha (SHIMIZU, 2007).

A produtividade das plantações de eucalipto são influenciadas por fatores edáfo-climáticos, genéticos, nutricionais e demais práticas silviculturais que vem sendo estudados por pesquisadores para potencializar a produtividade com sustentabilidade (SILVA et al., 2013). As condições do sítio e a disponibilidade de água são os principais fatores limitantes de crescimento das árvores (STAPE et al., 2006). O potencial de produtividade tem sido máxima em povoamentos uniformes e na estação do ano em que ocorre maior intensidade luminosa e precipitação, pois favorecem a fotossíntese e acúmulo de biomassa (STAPE et al., 2010). Os solos usados para a cultura do eucalipto apresentam limitações físicas e baixa fertilidade e que necessitam aplicação de corretivos e fertilizantes para promoverem uma boa produtividade (MELO et al., 2016). A recomendação de genótipos eficientes no uso de nutrientes para sítios mais pobres em fertilidade do solo poderá otimizar a produtividade (ROSIM et al., 2016). Entretanto, há evidências de que as árvores de eucalipto são menos propensas a deficiência hídrica em solos inférteis do que sob alta disponibilidade de nutrientes, com base nos efeitos da exclusão de chuva nas características morfológicas e fisiológicas das árvores nos tratamentos sem adição de potássio (CHRISTINA et al., 2015). Devido ao uso de solos de baixa fertilidade natural e sujeitos ao déficit hídrico pelo setor florestal, o potássio é o nutriente que mais tem limitado a produtividade de eucalipto no Brasil (SGARBI, 2002). Nos solos onde as quantidades disponíveis de potássio são insuficientes, a demanda de consumo das árvores de eucalipto pode chegar a 300 kg ha⁻¹ de K₂O aos 6,5 anos (SANTANA et al., 2008).

O potássio não faz parte de compostos estruturais da planta, mas participa de diversos processos como, no interior da célula exerce função caotrópica para preservar cargas negativas de ácidos nucleicos e proteínas, manter o pH em níveis adequados no citosol, é ativador de enzimas específicas, cofator de reações enzimáticas, por ser o principal cátion no vacúolo, mantém o turgor, expansão celular e o controle estomático (MAATHUIS, 2009; MARSCHNER, 2012). Pesquisas indicam que plantas com status nutricional adequado apresentam maior tolerância ao baixo conteúdo de água no meio (CAKMAK, 2005; MARSCHNER, 2012). O potássio, quando se encontra em concentrações adequadas nos tecidos vegetais, pode conferir maior poder de aclimação às plantas cultivadas em meio com reduzido suprimento hídrico (CAKMAK, 2005).

Sob estresse hídrico, há redução da fixação de CO₂ decorrente do fechamento estomático (JIANG; ZHANG, 2002) que ocasiona a formação de espécies reativas de oxigênio (ROS - Reactive Oxygen Species) nocivas às células. Nessas condições, as plantas necessitam de maiores quantidades de potássio para conter as reações oxidativas (BOWLER et al., 1992; CAKMAK; ENGELS, 1999; ELSTNER; OSWALD, 1994; FOYER et al., 1994). Essa necessidade deve estar relacionada com as funções que o potássio desempenham nos cloroplastos, como fixação de CO₂ fotossintético, (MARSCHNER, 2012; MENGEL; KIRKBY, 2001).

Resultados que corroboram essas relações entre umidade do solo e potássio são exemplificados por TEIXEIRA et al. (1995), que verificaram que sob maior suprimento de potássio houve aumento da eficiência de utilização de água e maior conteúdo relativo de água nas folhas em *C. citriodora* e *E. camaldulensis*.

Aplicação de lodo de esgoto (10 Mg ha⁻¹, base seca) incluindo potássio (80 kg ha⁻¹ de K) e boro (3 kg ha⁻¹ de B) em plantios de *C. citriodora* aumentou a produção de biomassa foliar, óleo essencial e madeira, além de propiciar melhor balanço nutricional do que apenas a fertilização exclusivamente mineral (SILVA et al., 2012).

São escassos os trabalhos de fertilização associados aos demais fatores que influenciam o potencial de produtividade de *C. citriodora*. O objetivo desse trabalho foi verificar os efeitos da aplicação de doses de potássio no crescimento e na produção de biomassa de madeira de plantas de *C. citriodora* durante o período de implantação.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi conduzido um experimento de campo entre os anos de 2012 a 2014 na Fazenda São Gabriel município de Monte Alto – SP, nas coordenadas 21°17'30" S e 48°28'50" W. O clima da região é classificado como Cwa pelo sistema internacional de Köppen, apresentando temperatura média anual máxima de 28 °C e mínima de 15 °C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1440 mm e a umidade relativa média do ar é de 75% (CEPAGRI, 2014). A Figura 1 mostra as médias mensais de temperatura e precipitação obtidas na estação climatológica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, que dista 20 km do local do experimento, durante o período de condução do experimento.

Figura 1. Médias mensais de temperatura e precipitação obtidas na estação climatológica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, que dista 20 km do local do experimento, durante o período de maio de 2012 a maio de 2014.

Figure 1. Monthly temperature and rainfall means obtained at the meteorological station of the São Paulo State University, College of Agriculture, Campus of Jaboticabal, 20 km away from the experimental site during the period from May 2012 to May 2014.

O solo da região é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo textura arenosa e relevo suave ondulado (OLIVEIRA et al. 1999). Na área do experimento foram feitas amostragens de solo coletando-se 21 sub-amostras ao acaso na profundidade de 0-20 cm. As amostras foram levadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo da FCAV/UNESP. O resultado da análise granulométrica segundo metodologias de Camargo et al. (2009) evidenciaram 105, 44 e 851 g kg⁻¹ de argila, silte e areia respectivamente. O resultado da análise de fertilidade segundo método descrito por Raij et al. (2001) foram: P resina, 2 mg dm⁻³; B, 0,03 g dm⁻³; MO, 12 g dm⁻³; pH CaCl₂, 4,3; K⁺, 1,4 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺, 7 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺, 4 mmol_c dm⁻³; H+Al, 26 mmol_c dm⁻³; CTC a pH 7, 38 mmol_c dm⁻³; e saturação por bases (V), 31,9%.

Com os resultados verificou-se a necessidade de calagem. O calcário com PNRT 90% foi aplicado a lanço em área total e incorporado ao solo com grade aradora para elevar o índice de saturação por bases a 50% de acordo com a classe de interpretação e como segue as recomendações de calagem e fertilização para cultura de eucalipto (GONÇALVES et al., 1996).

Os tratamentos foram constituídos de seis doses de K_2O aplicados por meio do fertilizante cloreto de potássio (0, 30, 60, 90, 120, 150 kg ha⁻¹ de K_2O) e o delineamento experimental foi em blocos casualizado, com quatro repetições. Todos os tratamentos receberam uma fertilização básica de 40 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , com o uso de superfosfato simples, 40 kg ha⁻¹ de N, com uréia e 1 kg ha⁻¹ de B, com uso do ácido bórico, com base em Gonçalves et al. (1996) e compatível com adubação recomendada na literatura para solos de baixa fertilidade (SILVA et al., 2013).

Após sete dias da incorporação do calcário com grade, foi aberto um sulco contínuo de 30 cm de profundidade, determinando as linhas de plantio, no espaçamento de 3 m entre linhas, com o uso de sulcador tracionado por trator. A quantidade de fertilizante por planta foi distribuída manualmente no sulco e incorporada ao solo com o uso de enxada, num raio de 50 cm do local da muda. As aplicações de nitrogênio e das doses de potássio foram parceladas, distribuindo-se 1/3 da dose por planta antes do plantio. Mudanças de *C. citriodora* foram plantadas em maio de 2012 no espaçamento de 3 m x 2 m. Foram feitas fertilizações de cobertura aos 6 e 9 meses após o plantio com os restantes das doses de nitrogênio e potássio localizadas em duas “covetas” laterais distantes aproximadamente 15 cm da muda. O boro foi aplicado aos 6 meses após o plantio, de forma superficial a 15 cm do caule da muda.

A área experimental ocupou 5.184 m², sendo cada parcela formada por seis plantas em seis linhas de plantio, com uma superfície de 216 m². A área útil das parcelas para obtenção dos dados equivale apenas às 16 plantas centrais, descontando-se a bordadura simples, totalizando uma área de 96 m².

Foram feitas avaliações de altura das plantas e de diâmetro do caule, a 1,3 m do solo (DAP), aos 6, 9, 12 e 24 meses de idade. Avaliou-se o volume cilíndrico das árvores por hectare com base nos valores de DAP e altura total das árvores da parcela, medido aos 12 meses. Também aos 12 meses, foi cortada uma árvore de diâmetro médio por parcela para determinar o volume do caule com casca e sem casca. Estimou-se o volume de madeira em m³ por hectare com base no volume real calculado pela cubagem rigorosa, seguindo fórmula de Smalian, até o diâmetro mínimo de 5 cm. Determinou-se, também aos 12 meses, a densidade básica da madeira com base no método da balança hidrostática descrito por Ferreira (1970), em que foi retirado um disco de espessura média de 2,5 cm do caule na altura do DAP (1,3 m do solo). A partir dos dados de volume do caule e densidade básica da madeira, determinou-se a biomassa de madeira por hectare.

Foram feitas as análises de variâncias dos dados obtidos pelo teste F e os efeitos das doses de K nas características das plantas foram estudados com uso de equações de regressão polinomial de até segundo grau, quando os parâmetros da equação eram estatisticamente significativos (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito das doses de potássio no crescimento e na produção de biomassa das plantas de *C. citriodora* (Tabela 1). Apesar do solo do experimento ter apresentado teor de 1,4 mmol_c dm⁻³ de K⁺, considerado razoável (GONÇALVES et al., 1996), verificou-se aumento de diâmetro (DAP) e altura das plantas em função da fertilização. Os efeitos das doses de potássio nas variáveis avaliadas foram explicados por equações de regressão polinomial de segundo grau (Figura 2).

Aos seis meses, o máximo crescimento em diâmetro (28,9 mm) e altura (2,33 m) das plantas foi estimado com as doses respectivas de 52,9 e 48,5 kg ha⁻¹ de K_2O . Aos nove meses, o máximo crescimento em diâmetro (38,3 mm) e altura (4,11 m) foi estimado com as doses respectivas de 57,4 e 40,7 kg ha⁻¹ de K_2O . Aos 12 meses, não houve efeito dos tratamentos na altura e a média do experimento foi de 6,4 ± 0,1 m. Para diâmetro aos 12 meses, houve efeito quadrático dos tratamentos e o máximo crescimento (5,98 cm) foi estimado com a dose de 62 kg ha⁻¹ de K_2O (Figura 2). Aos 24 meses, não houve efeito dos tratamentos ($p > 0,05$) nas variáveis estudadas. As médias obtidas foram de 9,86 ± 0,40 m de altura (CV = 8,02%); 8,85 ± 0,26 cm de DAP (CV = 5,87%); onde CV = coeficiente de variação.

Tabela 1. Resumo da análise de variância dos dados de diâmetro (DAP), altura, volume de madeira com casca e sem casca, e biomassa da madeira de *Corymbia citriodora* aos 6, 9 e 12 meses de idade em função das doses de potássio, Monte Alto – SP, 2013.

Table 1. Variance analysis of diameter (DBH), height, volume of wood with bark and without bark, and wood biomass of *Corymbia citriodora* at 6, 9 and 12 months of age related to potassium dosages, Monte Alto - SP, 2013.

	Avaliações (meses) - Teste F								
	6 ⁽¹⁾		9		12				
	DAP	Altura	DAP	Altura	DAP	Altura	Vc/c	Vs/c	Biomassa Madeira
Doses	18,91*	10,01*	14,24*	5,29**	5,14**	0,92 ^{ns}	2,29 ^{ns}	2,06 ^{ns}	3,82*
Blocos	11,98*	6,86*	10,41*	21,57**	2,68 ^{ns}	1,06 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,89 ^{ns}
CV %	2,22	2,72	2,25	2,64	2,73	3,28	26,25	22,48	23,94

(1) = 2/3 da dose do tratamento aplicadas até o momento da avaliação

^{ns} = não significativo (P > 0,05)

(*, **) = significativos respectivamente (P < 0,05) e (P > 0,01)

No presente trabalho, as maiores respostas à fertilização com potássio ocorreram no primeiro ano de desenvolvimento das árvores, como também observou Silva et al. (2013) em plantios de eucalipto em solo com variação de 1,3 a 1,5 mmol_c kg⁻¹ de K⁺. Esses autores sugerem que o número de aplicações de N e K podem ser reduzidas após o plantio para o estabelecimento de plantações comerciais sem afetar negativamente a produtividade e perdas por drenagem mais profundas e sugerem que uma única aplicação de N e K pode ser feita aos 3 meses após o plantio em solos arenosos.

As respostas à fertilização potássica variam em função das qualidades do sítio, principalmente com relação ao tipo de solo e condições climáticas, e idade das árvores (MELO et al., 2016). Esses autores verificaram que, dependendo do sítio, não houve resposta de crescimento com a adubação potássica, mas em solos de baixa fertilidade do bioma Cerrado, houve ganho de produtividade em clones de eucalipto com taxas ótimas de crescimento obtidas com a aplicação de 184 kg ha⁻¹ na região de Mogi Guaçu - SP e de 104 kg ha⁻¹ em Luiz Antônio - SP. Em Neossolos Quartzarênicos, os ganhos de produtividade diminuíram de 12 aos 24 meses de idade das plantas no município de Luís Antônio, de maneira semelhante como ocorreu no presente trabalho, e aumentaram no período de 18 a 48 meses de idade em Ribas do Rio Pardo - MS, decaindo de maneira acentuada a partir dos 54 meses de idade.

Há uma possibilidade da presença das raízes nas camadas mais profundas do solo, com o aumento idade, favorecer a mineralização do potássio não-trocável no solo, uma vez que Chiba et al. (2008), apesar de não terem trabalhado com a cultura do eucalipto, verificaram que a quantidade de potássio exportada em bananeiras da variedade Nanicao (*Musa* AAA subgrupo Cavendish) foi maior do que a variação dos teores trocáveis em Latossolo Vermelho eutroférico típico, indicando que formas não-trocáveis estariam sendo aproveitadas pelas plantas.

A aplicação de 140 kg ha⁻¹ de K₂O em *Eucalyptus grandis* sob Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média (200 g kg⁻¹ de argila) promoveu incremento em diâmetro de 41,4 mm em comparação as plantas que não receberam potássio (SETTE JUNIOR et al., 2010). Em *E. saligna*, a aplicação de 140 kg ha⁻¹ de K₂O em Latossolos de textura arenosa, proporcionou incremento de 3,7 m na altura das plantas aos 36 meses em comparação as plantas que não receberam a fertilização (LACLAU et al., 2009).

Não houve efeito das doses de K na densidade básica da madeira avaliada aos 12 meses de idade, os valores variaram de 0,42 a 0,52 g cm⁻³. Esse resultado também foi verificado em outras espécies florestais. Plantas de *E. grandis* sob Latossolo de textura arenosa que foram adubadas com 140 kg ha⁻¹ de K₂O não apresentaram diferenças na densidade aparente da madeira aos 6,5 anos, em comparação as plantas sem fertilização potássica (SETTE JUNIOR et al., 2014). Entretanto, na mesma espécie, plantas que foram adubadas com NPK apresentaram menor densidade aparente da madeira aos 21 anos de idade (LIMA; GARCIA, 2010). A literatura mostra que as respostas das características da madeira em razão da fertilização diferem entre as espécies.

Ainda aos 12 meses, a análise de variância não revelou efeitos dos tratamentos nos volumes de madeira com e sem casca e sim para biomassa de madeira (Tabela 1). Com o estudo da análise de regressão, observou-se um aumento significativo nas variáveis volumétricas em função das doses de potássio, e os efeitos das doses foram ajustadas em equações de segundo grau. O maior volume de madeira com casca (30,3 m³ ha⁻¹) foi estimado com a dose de 82,6 kg ha⁻¹ de K₂O, e sem casca (25,2 m³ ha⁻¹) com a dose de 84,7 kg ha⁻¹ de K₂O, e a maior produção de biomassa de madeira (11,9 Mg ha⁻¹) foi estimada com aplicação de 85,1 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 2).

Figura 2. Diâmetro = DAP (A, C e E), altura (B e D), volume de madeira com casca (F) e sem casca (G), e biomassa da madeira (H) de *Corymbia citriodora* aos 6, 9 e 12 meses de idade em função das doses de potássio, Monte Alto – SP, 2013.

Figure 2. Diameter = DBH (A, C e E), height (B e D), volume of wood with bark (F) and without bark (G), and wood biomass of *Corymbia citriodora* at 6, 9 and 12 months of age related to potassium dosages, Monte Alto - SP, 2013.

Na literatura, verifica-se que a fertilização potássica promove ganhos na produção volumétrica de povoamentos florestais (FARIA et al., 2002; VALERI et al., 2001). Em *E. saligna*, foi verificado aumento na produção de biomassa do caule de 66%, 59%, 58% aos 1, 2 e 3 anos de idade após fertilização com 140 kg ha⁻¹ de K₂O (LACLAU et al., 2009).

Com base nos resultados preliminares do presente trabalho e nas considerações de Silva et al. (2013), futuros estudos de fertilização potássica, em combinação com outros nutrientes, precisam ser realizados na cultura comercial de *C. citriodora* para determinar as necessidades de doses e número de aplicações, em função das propriedades do solo, clima, material genético e demais técnicas silviculturais.

CONCLUSÕES

Até aos 12 meses de idade, o crescimento e a produção de biomassa de *C. citriodora* foram favorecidos com a fertilização potássica. As respostas ao potássio ocorreram até 9 meses de idade para altura, sendo o valor máximo foi obtido com a dose de 40,7 kg ha⁻¹ de K₂O. Aos 12 meses de idade, a aplicação de 62 kg ha⁻¹ de K₂O promoveu maior crescimento em diâmetro e a de 85 kg ha⁻¹ de K₂O promoveu maior produção de biomassa de madeira. Aos 24 meses de idade não houve resposta à adubação potássica, sugerindo maior exigência do nutriente na fase inicial de crescimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **AgroEstat**: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos, versão 1.1.0.626. Jaboticabal: FCAV, Departamento de Ciências Exatas, 2011.

BATI SH, D. R.; SINGH, H. P.; SETIA, N.; KAUR, S.; KOHLI, R. K. Chemical composition and phytotoxicity of volatile essential oil from intact and fallen leaves of *Eucalyptus citriodora*. **Zeitschrift für Naturforschung, Section C, Biosciences**, Tübingen, v. 61, n. 7/8, p. 465-471, 2006.

BOWLER, C.; MONTAGU, M.; INZE, D. Superoxide dismutases and stress tolerance. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 43, p. 83-116, 1992.

CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 168, n. 4, p. 521-530, 2005.

CAKMAK, I.; ENGELS, C. Role of mineral nutrients in photosynthesis and yield formation. In: RENGEL, Z. (Ed.). **Mineral Nutrition of Crops: mechanisms and implications**. New York: The Haworth Press, 1999. p. 141-168.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106)

CEPAGRI - CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas**. 2015. Disponível em: < http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_353.html >. Acesso em: 20 fev. 2015.

CHIBA, M. K.; NATALE, W.; CRUZ, M. C. P.; TEIXEIRA, L. A. J.; CENTURION, J. F.; Potássio nas frações texturais de um Latossolo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n. 4, p. 581-587, 2008.

CHRISTINA, M.; LE MAIRE, G.; BATTIE-LACLAU, P. P.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J. P.; JOURDAN, C.; GONÇALVES, J. L. M.; LACLAU, J. P. Measured and modeled interactive effects of potassium deficiency and water deficit on gross primary productivity and light-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. **Global Chang Biology**, Illinois, v. 21, p. 2022-2039, 2015.

ELSTNER, E. F.; OSWALD, W. Mechanisms of oxygen activation during plant stress. In: CRAWFORD, R. M. M.; HENDRY, G. A. F.; GOODMAN, B. A. (Ed.). **Oxygen and environmental stress in plants**. Edinburgh: The Royal Society of Edinburgh, 1994. p. 31-154.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LIMA, J. C.; TEIXEIRA, J. L.. Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta a adubação potássica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p.577-584, 2002

FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, Piracicaba, n. 1, p. 83-96, 1970.

FOYER, C. H.; LELANDAIS, M.; KUNERT, K. J. Photooxidative stress in plants. **Physiologia Plantarum**, Oxford, v. 92, n. 4, p. 696-717, 1994.

GONÇALVES, J. L. M.; RAIJ, B. GONÇALVES, J. C. Florestais. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; GUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Boletim 100: recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas:)1996. p. 245-259,

IPT – INSTITUTOS DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Informações sobre madeiras**. 2014. Disponível em: < http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/12.htm >. Acesso em 10 nov. 2014.

JIANG, M. Y.; ZHANG, J. H. Involvement of plasma-membrane NADPH oxidase in abscisic acid- and water stress-induced antioxidant defense in leaves of maize seedlings. **Planta**, New York, v. 215, n. 6, p. 1022-1030, 2002.

KRONKA, F. J. N. **Inventário florestal das áreas de reflorestamentos no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Florestal, 2002. 148 p.

LACLAU, J. P.; ALMEIDA, J. C. R.; GONÇALVES, J. L. M.; SAINT-ANDRÉ, L.; VENTURA, M.; RANGER, J.; MOREIRA, R. M.; NOUVELLON, Y. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in *Eucalyptus* plantations. **Tree Physiology**, Dordrecht, v. 29, n. 1, p. 111-124, 2009.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Variação da densidade aparente e resistência à compressão paralela às fibras em função da intensidade de desbaste, adubação e posição radial em *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 551-559, 2010.

MAATHUIS, F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 12, n. 3, p. 250-258, 2009.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. San Diego: Academic Press, 2012. 651 p.

MELO, E. A. S. C.; GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T.; HAKAMADA, R. E.; BAZANI, J. H., W. A. V. A.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; BORGES, J. S.; MALHEIROS, R.; LEMOS, C. C. Z.; FERREIRA, E. V. O.; FERRAZ, A. V. Responses of Clonal Eucalypt Plantations to N, P and K Fertilizer Application in Different Edaphoclimatic Conditions. **Forests**, Basel, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2016.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5 ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil**. Brasília: Embrapa, 1999.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

ROSIM, C. C.; HSING, T. Y.; PAULA R. C.; Nutrient use efficiency in interspecific hybrids of eucalypt. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.47, n. 3, p. 540-547, 2016.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; COMENFORD, N. B. . Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 32, p. 2723-2733, 2008.

SETTE JÚNIOR, C. R.; DEUS JUNIOR, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M.; PADUA, F. A.; CALIL, F. N.; LACLAU, J. P. Alterações na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação mineral. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 251-258, 2014.

SETTE JÚNIOR, C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. Ex. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 979-990, 2010.

SGARBI, F. **Produtividade do *Eucalyptus* sp. em função do estado nutricional e da fertilidade do solo em diferentes regiões do Estado de São Paulo**. 2002. 102 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SHIMIZU, J. Y.; KLEIN, H.; OLIVEIRA, J. R. V. **Diagnóstico das plantações florestais em Mato Grosso**. Cuiabá: Central de texto. 2007. 62 p.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; JACOB, W. S.; TAKAHASHI, E. N.; A twin-plot approach to determine nutrient limitation and potential productivity in Eucalyptus plantations at landscape scales in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 223, n. 1-3, p. 358-362, 2006.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; FERRAZ, A. V.; SIXEL, R. M. M.; BRITO, J. O. Balanço nutricional, produção de óleo essencial e madeira de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson com aplicação de lodo de esgoto e fertilizante mineral. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 04, p. 821-831, 2012.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 67-78, 2013.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M. A.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C.; AZEVEDO, M. R. 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.

TEIXEIRA, P. C.; LEAL, P. G. L.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Nutrición potásica y relaciones hídricas en plantas de *Eucalyptus* spp. **Bosque**, Valdivia, v. 16, n. 1, p. 61-68, 1995.

VALERI, S. V.; FERREIRA, M. E.; MARTINS, M. I. E. G.; BANZATTO, D. A.; ALVARENGA, S. F.; CORRADINI, L.; DO VALLE, C. F. Recuperação de povoamento de *Eucalyptus urophylla* com aplicações de nitrogênio, potássio e calcário dolomítico. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 60, p. 53-71, 2001.

VIEIRA, I. G. **Estudo de caracteres silviculturais e de produção de óleo essencial de progênies de *Corymbia citriodora* (Hook) K.D.Hill & L.A.S. Johnson procedente de Anhembi SP - Brasil, Ex. Atherton QLD - Austrália**. 2004. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Recebido em 11/02/2016

Aceito para publicação em 23/09/2016