

# Recuperação de povoamento de *Eucalyptus urophylla* com aplicações de nitrogênio, potássio e calcário dolomítico

## Recovery of a *Eucalyptus urophylla* plantation with nitrogen, potassium and dolomitic lime applications

Sérgio Valiengo Valeri  
Manoel Evaristo Ferreira  
Maria I. E. G. Martins  
David Ariovaldo Banzatto  
Silvio Fernandes Alvarenga  
Lenine Corradini  
Celina Ferraz do Valle

---

**RESUMO:** Um plantio de *Eucalyptus urophylla* foi realizado em 1984 em um Neossolo Quartzarênico quartzosas, no município de Altinópolis, SP. Nos primeiros 4,33 anos, o povoamento apresentou um incremento médio do volume cilíndrico de 13,97 m<sup>3</sup>/ha/ano e sintomas de deficiência de potássio, cálcio e magnésio. Procurando recuperar o povoamento, foi instalado experimento, aplicando-se duas doses de nitrogênio (0 e 10 g/árvore de N), de potássio (0 e 20 g/árvore de K<sub>2</sub>O) e de calcário dolomítico (0 e 500 g/árvore), combinadas num fatorial 2 x 2 x 2, no delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Foram feitas avaliações de crescimento das árvores aos 4,33; 5,67; 6,75 e aos 7,58 anos após o plantio. O corte raso do povoamento foi realizado aos 7,58 anos. No início e no final do experimento, foram avaliadas a fertilidade do solo e as concentrações de N, K, Ca e Mg nas folhas. No final do experimento, foram avaliados os efeitos dos tratamentos na produção de matéria seca, no teor e acúmulo de nutrientes dos componentes das árvores e da manta florestal. A adubação potássica aumentou a quantidade de potássio na madeira, na casca, nas folhas, nos frutos e na manta florestal, tendo sido o aumento maior nas folhas e na casca. A calagem aumentou a quantidade de magnésio na madeira, na casca, nas folhas e na manta florestal, com maior incremento na manta florestal. Não houve efeito isolado da adubação nitrogenada. Com a aplicação do potássio, houve recuperação da taxa de crescimento das árvores, elevando o incremento médio anual (IMA) do volume cilíndrico de 13,85 m<sup>3</sup>/ha/ano para 16,82 m<sup>3</sup>/ha/ano. A adubação potássica, na ausência da nitrogenada e de calcário, proporcionou uma produção de madeira de 31,19 t ha<sup>-1</sup>, contra a produção de 22,16 t ha<sup>-1</sup> sem o seu uso, resultando em um ganho de US\$ 86,79 por ha.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Eucalyptus urophylla*, Recuperação, Produtividade, Fertilização, Nutrientes, Ganho econômico

**ABSTRACT:** A plantation of *Eucalyptus urophylla*, established in 1984 on a Quartzpsamment Soil, at Altinópolis, São Paulo State, presented in 1989 an medium increment of the cylindrical volume of the trees of 13.97 m<sup>3</sup>/ha/year and also showed deficiency symptoms of potassium, calcium and magnesium. At 4.33 years after planting were applied two doses of nitrogen (0 and 10 g/tree of N), potassium (0 and 20 g/tree of K<sub>2</sub>O) and of dolomitic lime (0 and 500 g/tree), combined in a randomized block design arranged in a factorial way (2 x 2 x 2), with four replications, in order to study the recuperation of the tree growth rate. Evaluations of the trees growth were performed at 4.33, 5.67, 6.75 and at 7.58 years when cutting the plantation was done. The soil fertility and leaf concentrations of N, K, Ca and Mg were analyzed before and after the application of the treatments. The accumulation and distribution of biomass and of these nutrients in the tree components and in the litter, and the economic studies referring to the volumes of wood were also evaluated 7.58 years after planting. Potassium fertilization increased the mass of potassium in stemwood, stembark, foliage, fruits and litter, but the increase was greater in foliage and in the stembark. Liming increased the mass of magnesium in stemwood, stembark, foliage and litter, but the increase was greater in the litter. There was no isolated effect of nitrogen fertilization. The growth rate of trees was recovered with the potassium application, which increased the mean annual increment (MAI) of cylindrical volume from 13.85 m<sup>3</sup>/ha/year without fertilizer to 16.82 m<sup>3</sup>/ha/year. At 7.58 years after planting, there was observed an effect of the N x K x dolomitic lime interaction in the wood production. In the absence of nitrogen and dolomitic lime, the application of potassium increased the real volume of 43% and there was a gain of US\$ 86.79/ha.

**KEYWORDS:** *Eucalyptus urophylla*, Recovery, Productivity, Fertilization, Nutrients, Economic gains

## INTRODUÇÃO

A importância do *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake aumentou depois de comprovada a sua resistência ao *Cryphonectria cubensis*, fungo causador do cancro do eucalipto nas regiões com alta umidade relativa (Ferreira et al., 1978). A espécie adaptou-se bem às condições de clima quente, úmido e sujeito a déficit hídrico dos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Mato Grosso e Goiás (Sansigolo et al., 1983). Hoje em dia, a maioria dos reflorestamentos usam clones resultantes do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*.

O reflorestamento com eucalipto normalmente é realizado em solos de baixa fertilidade e tem ocupado extensas áreas anteriormente cobertas pela vegetação de cerrado, a exemplo dos Neossolos Quartzarênicos (Stape e Zani Filho, 1990). Uma das características dos solos sob vegetação de cerrado é a acidez associada ao elevado teor de alumínio. Neves et al. (1982) testaram o efeito de cinco níveis de Al (de zero a 81 mg L<sup>-1</sup>), em solução nutritiva com pH 4,5, no crescimento e absorção de nutrientes em quatro

espécies de *Eucalyptus*. Os resultados mostram que *E. urophylla* foi a espécie mais tolerante ao efeito de toxicidade do Al.

Neves et al. (1982) ressaltam que as árvores de eucalipto podem apresentar sintomas de deficiência de cálcio, principalmente nos períodos de seca, quando o transporte desse elemento no solo é restringido pela falta de água e o processo de transpiração da planta é reduzido.

De acordo com Barros et al. (1990), de modo geral, depois do nitrogênio, o cálcio é o nutriente mais absorvido pela maioria das espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. O magnésio é absorvido em menor proporção, mas esse nutriente pode interferir na absorção de cálcio e potássio, portanto, deve-se levar em consideração a relação Ca:Mg:K no solo para proporcionar crescimento satisfatório das plantas, especialmente o *Eucalyptus*.

É notório o fato de que as árvores de eucalipto requerem pequenas quantidades de nitrogênio adicionadas através de adubação nos primeiros anos de vida e de que seus efeitos

são significativos nos primeiros meses, desaparecendo após alguns anos (Mello et al., 1970; Valeri et al., 1983). A baixa exigência da espécie pode ser decorrente da mineralização da matéria orgânica em razão das práticas de preparo do solo (Barros et al., 1990). Por outro lado, com o desenvolvimento das árvores, as raízes exploram um maior volume de solo, inclusive nas camadas mais profundas e a planta pode absorver maior quantidade de nitrogênio do solo, como mostra o estudo de Melo et al. (1995). Estes últimos autores, estudando diferentes povoamentos de *E. saligna*, no Rio Grande do Sul, verificaram que o nitrogênio do solo foi o nutriente que mais teve efeito sobre a produção de matéria seca das folhas, galhos e casca.

Os estudos de Gonçalves e Diniz (1981), Ward et al. (1985), Knight (1988), Stape e Zani Filho (1990) e Wells e Miller (1994) mostraram a viabilidade de recuperação do crescimento das árvores com deficiência nutricional, pela adubação, após o período de fechamento do dossel.

Sendo assim, após detectar baixo desenvolvimento e sintomas de deficiência nutricional em povoamento de *E. urophylla* de 4,33 anos de idade, em Neossolos Quartzarênico, foi desenvolvido o presente trabalho com o objetivo de estudar a viabilidade econômica da adubação com nitrogênio e com potássio e da calagem na produção de madeira, bem como analisar os respectivos efeitos nas quantidades de biomassa e de nutrientes nos componentes das árvores e da manta florestal.

## MATERIAL E MÉTODOS

### **Descrição da área de estudo e coleta de amostras**

O experimento foi instalado em área localizada na Fazenda Fradinhos, pertencente à Votorantim Celulose e Papel – VCP, no município de Altinópolis, SP, na latitude de 21° 02'S, longitude de 47° 23' W.Gr. e altitude de 920 m. Seguindo os critérios de Camargo et al. (1987), o solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw. É um tipo de clima tropical chuvoso de savana, com temperatura superior a 18° C em todos os meses. A precipitação média anual foi de 1.495 mm durante o período de 1987 a 1995.

Na implantação do povoamento, foram usadas mudas de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, obtidas a partir de sementes procedentes da Fazenda Fradinhos, origem Flores, Indonésia. As mudas foram plantadas no espaçamento 3 x 2 m, em 27 de setembro de 1984. Vinte e um dias antes do plantio, haviam sido aplicados, no sulco de plantio, 55 g/planta, equivalente a 91

kg ha<sup>-1</sup> de adubo NPK de fórmula 08-30-10. Após quatro meses, foi realizada adubação de cobertura com 102 kg ha<sup>-1</sup> da mesma fórmula.

Em janeiro de 1989, com 4,33 anos após o plantio, deu-se o início do experimento para estudo de recuperação. Imediatamente antes da aplicação dos tratamentos, em todas as 32 parcelas experimentais de 482 m<sup>2</sup> cada uma, foram feitas avaliações de altura, diâmetro à altura do peito (DAP), volume cilíndrico de todas as árvores, bem como do estado nutricional das árvores e da fertilidade do solo.

O estado nutricional das árvores foi avaliado, coletando-se amostras de folhas de cinco árvores em cada uma das 32 parcelas experimentais, sendo que duas delas apresentaram valores de DAP próximos da média da parcela. Cinco folhas recém maduras foram coletadas de cada um dos quatro pontos opostos do terço superior de cada árvore, com base em Haag et al. (1976), para formar uma amostra de 100 folhas, por parcela. As análises químicas das

amostras de folhas foram realizadas no Laboratório Central da FCAV / UNESP, segundo a metodologia descrita por Sarruge e Haag (1974).

Para análise da fertilidade do solo, foram coletadas 32 amostras compostas de 10 amostras simples cada uma, coletadas em caminhamento feito em zig-zag em cada parcela experimental na profundidade de 0-20 cm. As amostras foram analisadas quimicamente no Laboratório de Fertilidade do Solo da FCAV / UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, seguindo metodologia descrita por Van Raij et al. (1987). Os resultados obtidos que caracterizaram a área experimental antes da instalação do experimento são apresentados na Tabela 1.

Na Tabela 1 verifica-se que o povoamento havia apresentado um incremento médio do volume cilíndrico das árvores de 13,97 m<sup>3</sup>/ha/ano. Com base em Schönau e Herbert (1983) e Pereira (1990), os teores de potássio, cálcio e magnésio nas folhas eram baixos. De acordo com o citado em Novais et al. (1986), Novais et al. (1990), Van Raij et al. (1995) e Van Raij et al. (1997), o solo apresentava teores baixos de matéria orgânica, muito baixo de potássio e baixo de cálcio e magnésio para a cultura do eucalipto. Não havia diferenças entre as parcelas em nenhuma das características químicas avaliadas, a não ser quanto a efeito de blocos para fósforo, matéria orgânica e H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>.

Sendo assim, e pelo fato de terem sido observados sintomas aparentes de deficiência de nitrogênio nas folhas, foram escolhidos, como variáveis para estudo de recuperação do povoamento, a calagem, o nitrogênio, o potássio.

### **Instalação do experimento**

Foram usados dois níveis de nitrogênio (N<sub>0</sub> e N<sub>1</sub>), dois níveis de potássio (K<sub>0</sub> e K<sub>1</sub>) e dois níveis de calcário dolomítico (CD<sub>0</sub> e CD<sub>1</sub>). O nível 0 corresponde à não aplicação do elemento químico ou corretivo. O nível 1 corresponde à apli-

cação de 10 g/árvore de N, a 20 g/árvore de K<sub>2</sub>O e a 500 g/árvore de calcário dolomítico. O nitrogênio foi fornecido na forma de uréia com 450 g kg<sup>-1</sup> de N e o potássio na de cloreto de potássio com 600 g kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. O calcário dolomítico apresentava 274,4 g kg<sup>-1</sup> de CaO e 141,1 g kg<sup>-1</sup> de MgO, com um poder relativo de neutralização total (PRNT) de 58%. Os níveis de nitrogênio, potássio e calcário dolomítico foram combinados num fatorial 2 x 2 x 2. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com 4 repetições, totalizando 32 parcelas.

Todos os tratamentos receberam uma adubação básica de 10 g/árvore de uma mistura comercial de micronutrientes (FTE BR 10), apresentando 70 g kg<sup>-1</sup> de Fe, 160 g kg<sup>-1</sup> de Mn, 12 g kg<sup>-1</sup> de Cu, 85 g kg<sup>-1</sup> de Zn, 90 g kg<sup>-1</sup> de B, 2 g kg<sup>-1</sup> de Mo e 2 g kg<sup>-1</sup> de Co. Cada parcela ocupou uma área de 482 m<sup>2</sup> (27 x 18 m), com 81 árvores. A área útil da parcela experimental foi de 150 m<sup>2</sup>, correspondente às 25 árvores centrais.

Os fertilizantes e o corretivo foram incorporados na camada de 0 a 15 cm do solo com o auxílio de enxada, na projeção da copa das árvores, em janeiro de 1989, quando o povoamento, conforme já citado, apresentava 4,33 anos de idade.

### **Avaliações**

O experimento foi encerrado aos 7,58 anos, quando se avaliaram os efeitos dos tratamentos na fertilidade do solo. Para isso, foi usada a mesma metodologia de amostragem e análise de solo empregada na caracterização da área de estudo.

Para avaliar os efeitos dos tratamentos na recuperação da taxa de crescimento das árvores, foram usados dados de volume cilíndrico/ha das árvores, em janeiro de 1989, antes da instalação do experimento, em maio de 1990, em junho de 1991 e nos meses de abril e maio de 1992.

**Tabela 1.** Médias de DAP, altura, volume cilíndrico, concentrações de N, P, K, Ca e Mg nas folhas de *E. urophylla* e características químicas do solo a 0-20 cm de profundidade, antes da aplicação dos tratamentos, do povoamento com 4,33 anos.

(Average tree DBH, height, cylindrical volume, and foliar concentrations of N, P, K, Ca and Mg of *E. urophylla* and chemical characteristics in soil (0 - 20 cm depth), prior to the application of treatments, of the plantation at 4.33 years).

Variáveis		Crescimento						
Árvores	DAP (cm)	Altura (m)	Volume cilíndrico (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )					
Média	6,42	8,88	60,35					
C.V. (%)	9,64	11,04	28,88					
Folhas		Concentrações (g kg <sup>-1</sup> )						
	N	P	K	Ca	Mg			
Média	20	0,62	5,39	4,74	1,74			
C.V. (%)	10,17	21,24	19,26	25,59	21,29			
Solo		Características químicas						
	P- resina	M.O.	PH	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	V
	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	Ca Cl <sub>2</sub>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%	
Média	8,2	17,38	3,83	0,26	1,0	1,0	41,7	4,88
C.V. (%)	49,22	11,30	1,55	47,89	0	0	14,51	12,05

C.V. = coeficiente de variação; M.O. = matéria orgânica; V = saturação de bases.

O corte das árvores ocorreu nos meses de abril e maio de 1992, quando as árvores tinham 7,58 anos de idade. Nesta época, foram determinados o volume real de madeira e o volume de madeira empilhada. Também foi coletado material para determinação de matéria seca e das concentrações e quantidades de nutrientes dos componentes das árvores e da manta florestal.

A taxa de crescimento das árvores foi avaliada, usando-se os dados de incremento corrente anual (ICA) e o incremento médio anual (IMA) do volume cilíndrico. O IMA foi calculado, dividindo-se o volume cilíndrico total por hectare pela idade do povoamento. O volume cilíndrico foi calculado, usando-se os dados de DAP (diâmetro do caule a 1,30 m do nível do solo) e altura de todas as árvores da parcela.

Determinou-se o volume real de madeira, com casca e sem casca, pelo método da cubagem rigorosa, empregando-se a fórmula de Smalian e utilizando-se 13 árvores da parcela útil. Para realizar a cubagem rigorosa, o caule das árvores foi seccionado na base e de dois em

dois metros até o diâmetro mínimo, com casca, de 4 cm.

Foram determinadas equações de regressão, tendo o volume real de madeira sem casca como variável dependente e o volume cilíndrico da árvore como variável independente. Foi obtida uma equação de regressão para cada bloco (80 árvores observadas), utilizando-se os dados de 10 árvores por parcela, envolvendo toda amplitude de variação de DAP e altura. Com base na equação de regressão obtida, estimaram-se o volume real de madeira das demais árvores da parcela útil e o valor correspondente por hectare.

Foi estimado o volume de madeira empilhada por hectare, usando os toretes de madeira, com casca, de 2 m de comprimento de cada parcela útil (150 m<sup>2</sup>).

Para estimar a matéria seca dos componentes das árvores, foram amostradas três árvores por parcela, incluindo uma árvore de diâmetro médio, uma de diâmetro menor e outra de diâmetro maior que o diâmetro médio. Foi coletado

um disco de madeira com casca de cada seção para determinar a densidade básica da madeira e da casca, de acordo com Ferreira (1970). Os resultados obtidos foram usados para estimar a massa de madeira e de casca de cada árvore.

Com relação aos componentes da copa viva, foram pesados todas as folhas, ramos e frutos separadamente. Em seguida foi coletada uma amostra de aproximadamente 150 g de cada componente para estimar a matéria seca em estufa a 70°C. Com relação aos ramos, foram selecionados um ramo grosso, um médio e um fino, todos eles vivos e apresentando folhas vivas. Foram retiradas quatro unidades de aproximadamente 10 cm de comprimento de cada ramo para formar uma amostra.

A matéria seca dos componentes das árvores foi estimada em função do volume cilíndrico por equações de regressão linear, usando-se os dados das mesmas 80 árvores amostradas para estimar o volume real de madeira.

A manta florestal foi amostrada com auxílio de um gabarito de aço de 40 x 40 cm e um facão, coletando-se 10 amostras ao acaso, por parcela. A quantidade de matéria seca a 70°C, expressa em t ha<sup>-1</sup>, foi estimada a partir de uma amostra de aproximadamente 200 g.

Os métodos de coleta, armazenamento, secagem, digestão e análises químicas de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio dos materiais vegetais foram os preconizados por Sarruge e Haag (1974). Para análises químicas, as folhas foram amostradas da mesma maneira que a descrita anteriormente na caracterização da área de estudo (Haag et al., 1976). As folhas foram lavadas em água corrente e em seguida em água deionizada. Os demais materiais não

sofreram o processo de lavagem. As quantificações dos teores de nutrientes nos componentes das árvores e da manta florestal foram realizadas no Laboratório Central da FCAV / UNESP.

Para avaliar a viabilidade econômica do uso da adubação e calagem, foi usado o método do orçamento parcial que possibilita mensurar variações de custos e receitas, de acordo com Shang (1990). Para o cálculo das variações de custos e receitas, foram considerados os valores de 12 de abril de 1996, que foram os seguintes: a) uréia a US\$ 350,39/t; b) cloreto de potássio a US\$ 262,63/t; c) calcário dolomítico a US\$ 15,00/t; d) mistura de micronutrientes a US\$ 414,90/t; e) distribuição manual do fertilizante ou corretivo na projeção da copa, com um rendimento de 0,7 diária/ha; f) incorporação manual do fertilizante ou corretivo, com um rendimento de 1,31 diária/ha; g) diária a US\$ 23,23 e h) madeira em pé, no campo, a US\$ 6,00/st. Considerou-se ainda a moeda real igual a US\$ 0,99 e juros de capital de 12% ao ano. O custo do volume real de madeira sem casca foi estimado com base na relação existente entre o volume de madeira empilhada e o volume real de madeira, médios do experimento.

### **Análise estatística**

Os efeitos dos tratamentos nas características obtidas foram estudados estatisticamente, usando-se a análise de variância. A comparação entre as médias obtidas foi realizada com a aplicação do teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Fertilidade do solo**

A avaliação realizada aos 3,25 anos após o início do experimento, quando o povoamento estava com 7,58 anos, mostrou que a aplicação

de 10 g/árvore de N, na forma de uréia, reduziu o teor de Ca trocável e a porcentagem de saturação de bases (V%) e a aplicação de 500 g/árvo-

re de calcário dolomítico (CD) elevou significativamente o teor de Mg trocável e o valor de V% do solo (Tabela 2). Houve efeito da interação K x CD no teor de Ca. Na ausência da aplicação de potássio, a calagem elevou o teor de Ca de 3,63 para 5,19 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

**Crescimento e volume**

Houve efeito da interação N x K x CD no volume cilíndrico das árvores de *E. urophylla* aos 5,67 e 6,75 anos de idade, bem como no volume de madeira empilhada e volume real de madeira sem casca (Tabela 3). Observou-se efeito da aplicação do potássio no volume cilíndrico aos 7,58 anos idade, independentemente da adubação nitrogenada e da aplicação do calcário dolomítico (Tabela 3).

As equações de regressão estimadoras do volume real de madeira sem casca, em função do volume cilíndrico da árvore, foram lineares para os blocos experimentais I, III e IV e para o bloco II, a equação de melhor ajuste foi a quadrática (Tabela 4).

A Tabela 5 apresenta os efeitos de nitrogênio e potássio nos três tipos de volume avaliados, com o desdobramento das interações. A

aplicação de nitrogênio, na ausência de potássio e na presença de calcário dolomítico, reduziu o volume cilíndrico em 42% aos 5,67 anos e em 41% aos 6,75 anos. A aplicação de potássio favoreceu o crescimento das árvores aos 7,58 anos, proporcionando um acréscimo de volume cilíndrico de 22% (Tabela 3).

O efeito da aplicação de potássio no crescimento das árvores é melhor compreendido pela comparação entre os valores de incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA) do volume cilíndrico das árvores que receberam e o das árvores que não receberam potássio (Figura 1).

Nota-se, na Figura 1, que nas três avaliações após o início do experimento, o IMA das árvores que não receberam potássio tendeu a diminuir e o IMA das árvores que receberam potássio tendeu a aumentar com a idade, principalmente na 2ª e 3ª avaliações, aos 6,75 e 7,58 anos. Em ambos os casos, o ICA diminuiu com a idade de 5,67 para 6,75 anos. A partir dos 6,75 anos, a calagem, a adubação nitrogenada e a adubação básica com micronutrientes favoreceram o aumento do ICA, tanto para as árvores que receberam adubação potássica como para as que não a receberam.

**Tabela 2.** Características químicas do solo a 0 - 20 cm de profundidade aos 7,58 anos de idade. Médias em função dos níveis de N, K e calcário dolomítico (CD).

(Chemical characteristics in soil (0 – 20 cm depth) at 7.58 years. Means in function of the levels of N, K and dolomitic lime).

Níveis	P - resina mg dm <sup>-3</sup>	M.O. g dm <sup>-3</sup>	pH Ca Cl <sub>2</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	V %
N <sub>0</sub>	8,55 a	18,81 a	3,99 a	0,58 a	5,03 a	1,31 a	43,9 a	13,05 a
N <sub>1</sub>	8,75 a	17,69 a	3,87 a	0,51 a	4,06 b	1,25 a	46,0 a	11,13 b
K <sub>0</sub>	8,63 a	18,50 a	3,89 a	0,56 a	4,41 a	1,31 a	44,1 a	11,87 a
K <sub>1</sub>	8,67 a	18,00 a	3,88 a	0,52 a	4,69 a	1,25 a	45,8 a	12,31 a
CD <sub>0</sub>	8,92 a	18,25 a	3,86 a	0,51 a	4,19 a	1,00 b	46,5 a	10,81 b
CD <sub>1</sub>	8,38 a	18,25 a	4,00 a	0,58 a	4,91 a	1,56 a	43,4 a	13,37 a
C.V. (%)	53,72	17,26	6,66	55,51	25,49	31,43	14,12	19,72

(a,b) = Médias acompanhadas de mesma letra entre os níveis de N, K e CD não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

**Tabela 3.** Resultados das análises de variância e médias de volume cilíndrico, volume de madeira empilhada e volume real de madeira sem casca de *E. urophylla* nas diferentes idades após o plantio, em função dos níveis de N, K e calcário dolomítico (CD).

(Analysis of variance results and means of tree cylindrical volume, stacked wood and overbark wood volume of *E. urophylla*, at different years after planting and in function of the levels of N, K and dolomitic lime).

Quadrados Médios						
Causas de Variação	G.L.	Volume Cilíndrico (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )			Madeira Empilhada	Volume Real
		5,67 anos	6,75 anos	7,58 anos	(st ha <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
N	1	549,96 <sup>ns</sup>	1081,01 <sup>ns</sup>	2631,06 <sup>ns</sup>	962,40 <sup>ns</sup>	305,14 <sup>ns</sup>
K	1	606,56 <sup>ns</sup>	1020,05 <sup>ns</sup>	4129,13*	483,37 <sup>ns</sup>	510,09 *
CD	1	120,13 <sup>ns</sup>	95,60 <sup>ns</sup>	711,10 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	87,24 <sup>ns</sup>
N x K	1	260,49 <sup>ns</sup>	387,32 <sup>ns</sup>	2,08 <sup>ns</sup>	66,79 <sup>ns</sup>	3,39 <sup>ns</sup>
N x CD	1	975,27 <sup>ns</sup>	485,55 <sup>ns</sup>	481,41 <sup>ns</sup>	1153,32 <sup>ns</sup>	78,99 <sup>ns</sup>
K x CD	1	153,13 <sup>ns</sup>	100,36 <sup>ns</sup>	309,46 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	12,79 <sup>ns</sup>
N x K x CD	1	2037,45 *	2774,94 *	1610,93 <sup>ns</sup>	2871,49 *	477,35 *
Blocos	3	1790,90 *	1546,45 <sup>ns</sup>	2327,71 *	1983,90 *	405,55 *
Resíduo	21	415,50	569,80	666,98	568,08	86,53
C.V. (%)		25,24	25,55	21,98	24,01	21,61
Médias						
K <sub>0</sub>		76,42 a	87,79 a	106,11 b	103,17 a	47,04 a
K <sub>1</sub>		85,12 a	99,03 a	128,83 a	95,39 a	39,05 b
Média Geral		80,77	93,44	117,47	99,28	43,05

(a,b) = Médias acompanhadas de mesma letra entre os níveis de K não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05); ns = Não significativo (P > 0,05) ; \* = Significativo (P < 0,05).

**Tabela 4.** Equações de regressão estimadoras do volume real de madeira sem casca ( $\hat{Y}$  em dm<sup>3</sup>) em função do volume cilíndrico (X em dm<sup>3</sup>) das árvores de *E. urophylla* aos 7,58 anos de idade. Equações resultantes de 80 observações por bloco experimental.

(Regression equations to estimate the overbark wood volume ( $\hat{Y}$  in dm<sup>3</sup>) in function of cylindrical volume (X in dm<sup>3</sup>) of *E. urophylla* trees at 7.58 years. Resulting equations of 80 observations of each experimental block).

Blocos	Equações	R <sup>2</sup>	F
I	$\hat{Y} = 1,285148 + 0,358252X$	0,97	595,11**
II	$\hat{Y} = 0,495657 + 0,3556803X - 0,000166715X^2$	0,96	10,19**
III	$\hat{Y} = -0,1780843 + 0,3839821X$	0,98	3642,88**
IV	$\hat{Y} = 0,1761323 + 0,3633246X$	0,92	837,58**

\*\* = Significativo (P < 0,01).



**Tabela 5.** Médias de volume cilíndrico, volume de madeira empilhada e volume real de madeira sem casca de *E. urophylla* nas diferentes idades, com o desdobramento dos graus de liberdade da interação N x K x calcário dolomítico (CD).

(Means of tree cylindrical volume, stacked wood and overbark wood volume of *E. urophylla*, at different years with partition the degree of freedom of the N x K x dolomitic lime interaction).

Volume cilíndrico aos 5,67 anos (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )				
Níveis	K <sub>0</sub> CD <sub>0</sub>	K <sub>0</sub> CD <sub>1</sub>	K <sub>1</sub> CD <sub>0</sub>	K <sub>1</sub> CD <sub>1</sub>
N <sub>0</sub>	69,67 a	97,17 a	93,00 a	79,83 a
N <sub>1</sub>	82,67 a	56,17 b	85,50 a	82,17 a

Volume cilíndrico aos 6,75 anos (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )				
Níveis	K <sub>0</sub> CD <sub>0</sub>	K <sub>0</sub> CD <sub>1</sub>	K <sub>1</sub> CD <sub>0</sub>	K <sub>1</sub> CD <sub>1</sub>
N <sub>0</sub>	83,83 a	110,33 a	110,33 a	92,50 a
N <sub>1</sub>	91,65 a	65,33 b	94,83 a	98,67 a

Madeira empilhada aos 7,58 anos (st ha <sup>-1</sup> )				
Níveis	K <sub>0</sub> CD <sub>0</sub>	K <sub>0</sub> CD <sub>1</sub>	K <sub>1</sub> CD <sub>0</sub>	K <sub>1</sub> CD <sub>1</sub>
N <sub>0</sub>	86,52 a	118,03 a	110,79 a	103,62 a
N <sub>1</sub>	103,71 a	73,22 b	95,78 a	102,48 a

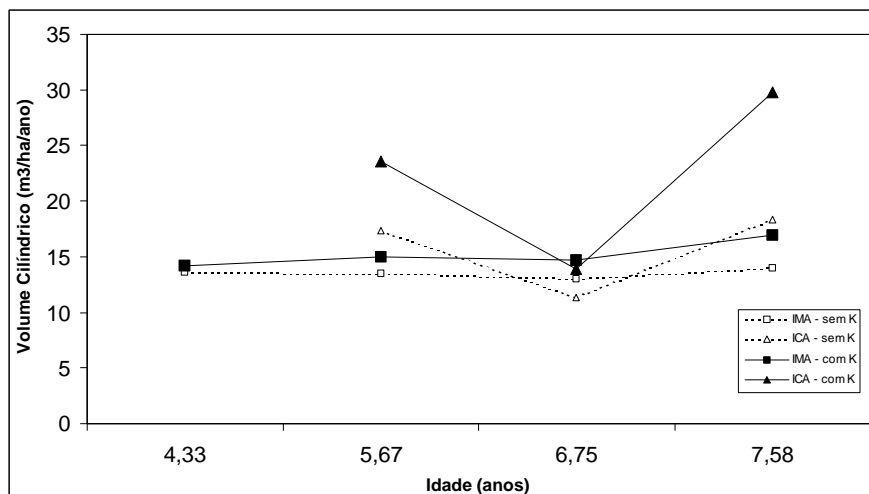
Volume real de madeira aos 7,58 anos (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )				
Níveis	N <sub>0</sub> CD <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> CD <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> CD <sub>0</sub>	N <sub>1</sub> CD <sub>1</sub>
K <sub>0</sub>	38,05 b	46,88 a	42,09 a	29,19 b
K <sub>1</sub>	54,38 a	45,23 a	44,27 a	44,28 a

(a, b) = Na mesma coluna, médias acompanhadas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

As árvores que receberam potássio apresentaram um ICA de 62,7% maior do que o das árvores que não o receberam, com base nos dados de volume cilíndrico de 6,75 e 7,58 anos (Figura 1).

A adubação potássica, auxiliada ou não pela calagem, promoveu a retomada de crescimento das árvores, semelhante ao efeito de um desbaste. As semelhanças que existem entre os efeitos da adubação e do desbaste na retomada do crescimento das árvores são bem esclarecidas no estudo de Messina (1992). Este autor demonstra que tanto a adubação nitrogenada como o desbaste, realizados em um povoamento de *E. regans* com sete anos de idade, aumentaram o crescimento das árvores. Entretanto, as melhores respostas foram obtidas quando a adubação foi combinada com o desbaste.

O volume de madeira empilhada foi menor nas parcelas que receberam nitrogênio do que não o receberam, na ausência de potássio e na presença de calcário (Tabela 5).



**Figura 1.** Incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA) do volume cilíndrico das árvores de *E. urophylla* sem (sem K) e com a aplicação de potássio (com K), durante o período de 4,33 a 7,58 anos de idade.

(Mean annual increment (MAI) and current annual increment (CAI) of tree cylindrical volume of *E. urophylla* without (sem K) and with application of potassium (com K), during the period of 4.33 to 7.58 years).

A aplicação de potássio, na ausência de nitrogênio e de calcário, aumentou o volume real de madeira em 43% (Tabela 5). Na presença de nitrogênio e de calcário, o aumento com a adubação potássica foi de 52%.

### Acúmulo e distribuição de biomassa

As equações estimadoras de matéria seca dos componentes das árvores em função do volume cilíndrico estão apresentadas na Tabela 6. Os valores de matéria seca de madeira e de casca foram estimados por equações de regressão lineares com precisão aceitável ( $R^2 > 0,70$ ). Entretanto, para os demais componentes, a precisão foi inferior, principalmente para ramos e frutos. Apenas 37% da variação de matéria seca de ramos foi explicada pela equação de regressão, a matéria seca das folhas foi estimada com uma precisão um pouco maior ( $R^2 = 0,56$ ) e a matéria seca de frutos com uma precisão muito baixa ( $R^2 = 0,30$ ), apesar do seu aumento ter sido linear com o incremento do volume cilíndrico.

Observa-se, na Tabela 7, que houve efeito da interação N x P x CD na matéria seca de todos os componentes das árvores estudados,

mas nenhum tratamento alterou a matéria seca da manta florestal. Com relação ao desdobramento dos graus de liberdade da interação N x K x CD para cada um dos componentes das árvores, verificou-se que o potássio elevou a matéria seca de todos eles quando aplicado na ausência ou na presença de nitrogênio e calcário dolomítico juntos (Tabela 8). Quando foi aplicado nitrogênio ou calcário dolomítico, não houve efeito de potássio, provavelmente por ter ocorrido um desbalanço nutricional nestas duas situações.

Verifica-se, na Tabela 8, que a aplicação de potássio, na ausência de nitrogênio e de calcário, aumentou a produção de madeira em 41% e, quando associada com 10 g/planta de N e 500 g/planta de calcário dolomítico o ganho foi de 42%. Os ganhos de matéria seca de casca e de ramos, com a aplicação de potássio, variaram de 30 a 32%. O ganho de matéria seca de folhas, com a aplicação de potássio na ausência de nitrogênio e de calcário foi de 46% e, quando na presença dos mesmos, de 50%. A aplicação de potássio, na ausência de nitrogênio e de calcário, aumentou a produção de frutos em 43% e, na presença dos mesmos, o aumento foi de 44%.

**Tabela 6.** Equações estimadoras da massa seca dos componentes das árvores de *E. urophylla* ( $\hat{Y}$ ) em função do volume cilíndrico ( $X$  em  $m^3$ ) aos 7,58 anos de idade.

(Regression equations to estimate the dry mass of *E. urophylla* trees components ( $\hat{Y}$ ) in function of cylindrical volume ( $X$  in  $m^3$ ) of trees at 7.58 years).

Componentes	Equações	R <sup>2</sup>	F
Madeira <sup>1</sup>	$\hat{Y} = 2,0881 + 184,1125 X$	0,86	479,78**
Casca <sup>1</sup>	$\hat{Y} = 0,9543 + 17,9791 X$	0,74	217,09**
Ramos <sup>2</sup>	$\hat{Y} = 1158,3107 + 26857,8226 X$	0,37	46,20**
Folhas <sup>2</sup>	$\hat{Y} = -24,9665 + 16818,1334 X$	0,56	99,75**
Frutos <sup>2</sup>	$\hat{Y} = 62,8295 + 8929,9736 X$	0,30	33,62**

1 e 2 = Valores de Y estimados em kg/árvore e g/árvore, respectivamente;  
 \*\* = Significativo ( $P < 0,01$ ).

**Tabela 7.** Resultados das análises de variância e médias de matéria seca dos componentes das árvores e da manta florestal do povoamento de *E. urophylla* aos 7,58 anos de idade.

(Analysis of variance results and means of dry matter of tree components and of forest floor of *E. urophylla* plantation at 7.58 years).

Quadrados Médios							
Causas de Variação	G.L.	Madeira	Casca	Ramos	Folhas	Frutos	Manta Florestal
N	1	81,03 <sup>ns</sup>	0,8682 <sup>ns</sup>	1,9003 <sup>ns</sup>	0,6524 <sup>ns</sup>	0,1882 <sup>ns</sup>	0,0835 <sup>ns</sup>
K	1	165,77 *	1,8102 *	3,8948 *	1,3232 *	0,3842 *	5,0490 <sup>ns</sup>
CD	1	15,81 <sup>ns</sup>	0,0702 <sup>ns</sup>	0,1978 <sup>ns</sup>	0,1592 <sup>ns</sup>	0,0399 <sup>ns</sup>	0,6953 <sup>ns</sup>
N x K	1	1,95 <sup>ns</sup>	0,1096 <sup>ns</sup>	0,1848 <sup>ns</sup>	0,0508 <sup>ns</sup>	0,0033 <sup>ns</sup>	0,4425 <sup>ns</sup>
N x CD	1	11,48 <sup>ns</sup>	0,1476 <sup>ns</sup>	0,3011 <sup>ns</sup>	0,0866 <sup>ns</sup>	0,0261 <sup>ns</sup>	2,7878 <sup>ns</sup>
K x CD	1	10,82 <sup>ns</sup>	0,3032 <sup>ns</sup>	0,5424 <sup>ns</sup>	0,0549 <sup>ns</sup>	0,0217 <sup>ns</sup>	3,4211 <sup>ns</sup>
N x K x CD	1	115,54 *	1,5484 *	3,1840 *	0,8564 *	0,2617 *	1,4285 <sup>ns</sup>
Blocos	3	68,63 <sup>ns</sup>	0,5889 <sup>ns</sup>	1,3461 <sup>ns</sup>	0,5976 <sup>ns</sup>	0,1636 <sup>ns</sup>	3,8936 <sup>ns</sup>
Resíduo	21	24,03	0,2784	0,5898	0,1920	0,0557	2,0013
C.V. (%)		19,63	14,68	15,49	22,47	20,48	12,89
<b>t ha<sup>-1</sup></b>							
Médias		24,980	3,593	4,957	1,950	1,152	10,973

ns = Não significativo ( $P > 0,05$ ); \* = Significativo ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 8.** Médias de matéria seca de madeira, casca, ramos, folhas e frutos de *E. urophylla* aos 7,58 anos de idade, com o desdobramento dos graus de liberdade da interação N x K x calcário dolomítico (CD).

(Means of dry matter of wood, bark, branches, leafs and fruits of *E. urophylla* at 7.58 years, with partition the degree of freedom of the N x K x dolomitic lime interaction).

Produção de matéria seca (t ha <sup>-1</sup> )					
Componentes	Níveis	N <sub>0</sub> CD <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> CD <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> CD <sub>0</sub>	N <sub>1</sub> CD <sub>1</sub>
Madeira	K <sub>0</sub>	22,16 b	26,92 a	23,49 a	18,25 b
	K <sub>1</sub>	31,19 a	26,01 a	25,89 a	25,93 a
Casca	K <sub>0</sub>	3,240 b	3,917 a	3,370 a	2,895 b
	K <sub>1</sub>	4,234 a	3,641 a	3,717 a	3,733 a
Ramos	K <sub>0</sub>	4,464 b	5,392 a	4,650 a	3,928 b
	K <sub>1</sub>	5,901 a	5,047 a	5,129 a	5,148 a
Folhas	K <sub>0</sub>	1,716 b	2,089 a	1,836 a	1,347 b
	K <sub>1</sub>	2,507 a	2,060 a	2,024 a	2,023 a
Frutos	K <sub>0</sub>	1,020 b	1,240 a	1,084 a	0,828 b
	K <sub>1</sub>	1,452 a	1,205 a	1,195 a	1,196 a

(a, b) = Para cada componente das árvores e na mesma coluna, médias acompanhadas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Nas condições do experimento, a produção total de matéria seca dos componentes das árvores foi de 36,63 t ha<sup>-1</sup>, com uma distribuição média de 52,5% na madeira, 7,5% na casca, 10,4% nos ramos, 4,1% nas folhas, 2,4% nos frutos e 23,1% na manta florestal. Mesmo com o aumento da produção de biomassa resultante da aplicação de potássio, a produção não foi promissora quando comparada à de outros estudos. Poggiani et al. (1979), realizando um inventário em um povoamento de *E. grandis* com quatro anos de idade, plantado em um sítio de baixa fertilidade no Estado de São Paulo, estimaram um total de 56,91 t ha<sup>-1</sup> de biomassa na parte aérea das árvores, distribuídos da seguinte maneira: 61% na madeira, 12,3% na casca, 17,7% nos galhos e 14% nas folhas. Pereira (1990) observou que a produção total de matéria seca dos componentes das árvores de *E. urophylla*, em Latossolo Vermelho, de baixa fertilidade, foi de 57,45 t ha<sup>-1</sup>, no espaçamento de 3,0 x 1,0 m, aos quatro anos após o plantio. Neste caso, apenas a produção de madeira foi de 38,13 t ha<sup>-1</sup>, superior ao total produzido no presente experimento. Entretanto, deve-se levar em consideração que este espaçamento suporta o dobro de árvores do que o espaçamento do presente estudo.

### **Concentração e quantidade de nutrientes**

#### **Nitrogênio**

A concentração média de N nas folhas foi maior nas parcelas que não receberam nitrogênio do que nas que o receberam (Tabela 9). Esta diferença é reflexo das condições existentes antes da aplicação dos tratamentos. Nesta época, aos 4,33 anos, o teor médio das parcelas referentes aos tratamentos sem nitrogênio (20,94 g kg<sup>-1</sup>) também foi maior que o das parcelas referentes aos tratamentos com nitrogênio (19,13 g kg<sup>-1</sup>), com um valor de F de 4,77\* (P < 0,05) e confirmado pelo teste de Tukey (P < 0,05). A

aplicação de potássio, favorecendo o desenvolvimento das árvores, provavelmente pelo efeito de diluição, levou a uma diminuição do teor de N na madeira e nos ramos (Tabela 9).

A concentração de nitrogênio nos frutos diminuiu com a aplicação de potássio, na ausência de nitrogênio e calcário dolomítico (de 7,63 para 6,37 g kg<sup>-1</sup>) ou quando ambos foram aplicados juntos (de 7,91 para 6,60 g kg<sup>-1</sup>). Porém, a aplicação de potássio, na presença de nitrogênio e na ausência de calagem, favoreceu o aumento da concentração de nitrogênio nos frutos de 5,87 para 7,03 g kg<sup>-1</sup>.

A quantidade de N acumulada nas folhas também foi maior nas parcelas que não receberam nitrogênio do que nas que o receberam (Tabela 9). A aplicação de potássio, na ausência de nitrogênio e de calcário, propiciou um aumento da quantidade de N na casca de 57,45%.

#### **Potássio**

Nas condições do presente experimento, a adubação potássica aumentou a concentração de potássio na casca, nas folhas e na manta florestal (Tabela 10), sendo um dos nutrientes mais limitantes para o crescimento das árvores. A baixa concentração de potássio na manta florestal explica a grande mobilidade deste elemento no interior da planta, que se desloca dos órgãos mais velhos para os mais jovens.

Mesmo com o aumento da concentração de potássio nas folhas, obtido com a adubação potássica, provavelmente ainda deve ter sido insuficiente para o desenvolvimento ótimo da espécie, com base em Schönau e Herbert (1983) e Pereira (1990). Os dois primeiros autores consideraram que o teor de potássio nas folhas de *E. grandis* deve estar em torno de 7,0 g kg<sup>-1</sup> ou ligeiramente inferior, mas nas condições de baixa precipitação ele deve ser de no mínimo 8,0 g kg<sup>-1</sup>. Pereira (1990) observou que o teor de potássio nas folhas de *E. urophylla* diminuiu de 15,0 para 10,6 g kg<sup>-1</sup>, com o aumento da idade de 24 para 48 meses. Considerou ainda que *E.*

*urophylla* é mais exigente em potássio do que *E. grandis*, pois o primeiro apresentou maiores concentrações de potássio do que o segundo.

A adubação potássica aumentou a quantidade de K na madeira, na casca, nas folhas e nos frutos, menos nos ramos, que apresentou um coeficiente de variação relativamente alto. Proporcionalmente, os maiores aumentos ocorreram nas folhas e na casca. Apesar do altíssimo coeficiente de variação das quantidades de K na manta florestal, a média aumentou em 15,72% com a adubação potássica (Tabela 10).

## Cálcio

A concentração de cálcio nas folhas, que era de 4,5 g kg<sup>-1</sup> no início do experimento, aumentou para 7,0 g kg<sup>-1</sup> aos 7,58 anos de idade (Tabela 11), resultando em uma melhora no estado nutricional das árvores em relação ao nutriente, com base nos dados de Schönau e Herbert (1983) e Pereira (1990). A aplicação de nitrogênio diminuiu a concentração de Ca nos ramos, a aplicação de potássio aumentou a concentração de Ca nos frutos e a calagem aumentou a

**Tabela 9.** Concentrações e quantidades médias de N dos componentes das árvores e da manta florestal do povoamento de *E. urophylla* aos 7,58 anos de idade, em função dos tratamentos e com o desdobramento dos graus de liberdade da interação N x K x calcário dolomítico (CD).

(Means of concentration and accumulation of N of the tree components and of the forest floor of *E. urophylla* plantation at 7.58 years, in function of the treatments and with partition the degree of freedom of the N x K x dolomitic lime interaction).

Níveis	Madeira	Casca	Ramos	Folhas	Frutos	Manta Florestal
<b>Concentrações de N (g kg<sup>-1</sup>)</b>						
N <sub>0</sub>	1,426 a	3,01 a	2,40 a	14,03 a	6,60 a	6,84 a
N <sub>1</sub>	1,591 a	3,29 a	2,32 a	12,23 b	6,85 a	7,59 a
K <sub>0</sub>	1,668 a	3,14 a	2,73 a	13,28 a	7,00 a	7,48 a
K <sub>1</sub>	1,350 b	3,16 a	1,99 b	12,98 a	6,46 a	6,95 a
CD <sub>0</sub>	1,523 a	3,21 a	2,61 a	13,43 a	6,72 a	7,41 a
CD <sub>1</sub>	1,495 a	3,09 a	2,11 a	12,83 a	6,73 a	7,03 a
C.V. (%)	20,62	13,56	36,60	14,15	11,57	16,30
<b>Quantidades de N (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
N <sub>0</sub>	37,15 a	11,55 a	12,30 a	29,79 a	8,06 a	77,62 a
N <sub>1</sub>	36,30 a	11,22 a	10,47 a	22,15 b	7,30 a	81,35 a
K <sub>0</sub>	37,21 a	10,63 a	12,14 a	23,70 a	7,23 a	81,73 a
K <sub>1</sub>	36,24 a	12,14 a	10,63 a	28,24 a	8,13 a	77,25 a
CD <sub>0</sub>	37,71 a	11,70 a	12,82 a	27,40 a	7,91 a	82,04 a
CD <sub>1</sub>	35,73 a	11,07 a	9,95 a	24,55 a	7,45 a	76,93 a
C.V. (%)	24,12	20,64	35,32	27,05	17,64	23,14
<b>Quantidades de N na casca (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
Níveis	N <sub>0</sub> CD <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> CD <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> CD <sub>0</sub>	N <sub>1</sub> CD <sub>1</sub>		
K <sub>0</sub>	8,79 b	12,41 a	12,08 a	9,23 a		
K <sub>1</sub>	13,84 a	11,16 a	12,07 a	11,49 a		

(a,b) = Médias acompanhadas de mesma letra entre os níveis de N, K e CD não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

concentração de Ca na manta florestal. Não houve efeito da calagem na concentração de cálcio nas folhas (Tabela 11). Valeri et al. (1993) também verificaram que a aplicação de calcário dolomítico, apresentando 185 g kg<sup>-1</sup> de CaO e 157 g kg<sup>-1</sup> de MgO, não alterou a concentração de cálcio nas folhas de *E. grandis*.

A aplicação de nitrogênio diminuiu o acúmulo de Ca nos ramos, a aplicação de potássio elevou o acúmulo de Ca na casca e nos frutos e a calagem elevou o acúmulo de Ca na manta florestal.

## Magnésio

Considerando as médias do experimento, a maior concentração de magnésio ocorreu nos frutos, e em seguida, em ordem decrescente, nas folhas, na manta florestal, nos ramos, na casca e na madeira (Tabela 12). Pereira (1990) constatou valores bem mais altos nas árvores de *E. urophylla*, aos quatro anos de idade e no espaçamento de 3,0 x 1,0 m e a maior concentração de magnésio ocorreu nas folhas (4,20 g kg<sup>-1</sup>) e, em seguida, na casca (2,32 g kg<sup>-1</sup>), nos ramos (1,18 g kg<sup>-1</sup>) e por último, na madeira (0,18 g kg<sup>-1</sup>).

**Tabela 10.** Concentrações e quantidades médias de K dos componentes das árvores e da manta florestal do povoamento de *E. urophylla* aos 7,58 anos de idade, em função dos tratamentos e com o desdobramento dos graus de liberdade da interação N x K x calcário dolomítico (CD).

(Means of concentration and accumulation of K of the tree components and of the forest floor of *E. urophylla* plantation at 7.58 years, in function of treatments and with partition the degree of freedom of the N x K x dolomitic lime interaction).

Níveis	Madeira	Casca	Ramos	Folhas	Frutos	Manta Florestal
<b>Concentrações de K (g kg<sup>-1</sup>)</b>						
N <sub>0</sub>	0,3583 a	2,51 a	3,02 a	6,11 a	9,50 a	1,38 a
N <sub>1</sub>	0,3808 a	2,78 a	2,66 a	5,68 a	9,67 a	1,44 a
K <sub>0</sub>	0,3581 a	2,33 b	2,78 a	5,33 b	9,35 a	1,33 b
K <sub>1</sub>	0,3809 a	2,95 a	2,90 a	6,47 a	9,83 a	1,50 a
CD <sub>0</sub>	0,3538 a	2,62 a	3,10 a	6,26 a	9,57 a	1,48 a
CD <sub>1</sub>	0,3852 a	2,67 a	2,58 a	5,54 a	9,61 a	1,34 a
C.V. (%)	13,45	28,23	35,38	16,58	14,73	16,35
<b>Quantidades de K (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
N <sub>0</sub>	9,36 a	9,36 a	15,82 a	13,20 a	11,59 a	15,67 a
N <sub>1</sub>	8,90 a	9,71 a	12,63 a	10,42 a	10,31 a	15,35 a
K <sub>0</sub>	7,98 b	7,77 b	12,64 a	9,56 b	9,58 b	14,38 b
K <sub>1</sub>	10,29 a	11,30 a	15,81 a	14,07 a	12,31 a	16,64 a
CD <sub>0</sub>	9,05 a	9,61 a	15,87 a	12,84 a	11,40 a	16,24 a
CD <sub>1</sub>	9,21 a	9,47 a	12,58 a	10,79 a	10,49 a	14,78 a
C.V. (%)	24,97	31,94	42,62	35,78	21,63	91,45
<b>Quantidades de K nos frutos (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
Níveis	N <sub>0</sub> CD <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> CD <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> CD <sub>0</sub>	N <sub>1</sub> CD <sub>1</sub>		
K <sub>0</sub>	9,75 b	10,98 a	9,94 a	7,67 b		
K <sub>1</sub>	14,64 a	10,98 a	11,29 a	12,35 a		

(a,b) = Médias acompanhadas de mesma letra entre os níveis de N, K e CD não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

**Tabela 11.** Concentrações e quantidades médias de Ca dos componentes das árvores e da manta florestal do povoamento de *E. urophylla* aos 7,58 anos de idade, em função dos níveis de N, K e calcário dolomítico (CD).

(Means of concentration and accumulation of Ca of the tree components and of the forest floor of *E. urophylla* plantation at 7.58 years, in function of the levels of N, K and dolomitic lime).

Níveis	Madeira	Casca	Ramos	Folhas	Frutos	Manta Florestal
<b>Concentrações de Ca (g kg<sup>-1</sup>)</b>						
N <sub>0</sub>	0,2071 a	4,41 a	3,92 a	7,16 a	7,62 a	11,81 a
N <sub>1</sub>	0,2309 a	4,65 a	3,18 b	6,76 a	7,80 a	11,98 a
K <sub>0</sub>	0,2076 a	4,29 a	3,79 a	7,16 a	7,14 b	11,63 a
K <sub>1</sub>	0,2304 a	4,77 a	3,32 a	6,76 a	8,29 a	12,17 a
CD <sub>0</sub>	0,2241 a	4,75 a	3,59 a	6,89 a	7,71 a	11,31 b
CD <sub>1</sub>	0,2140 a	4,31 a	3,53 a	7,03 a	7,71 a	12,49 a
C.V. (%)	34,45	29,97	22,81	11,76	16,44	8,68
<b>Quantidades de Ca (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
N <sub>0</sub>	5,60 a	16,37 a	19,93 a	14,92 a	9,30 a	132 a
N <sub>1</sub>	5,72 a	16,03 a	14,58 b	12,17 a	8,61 a	128 a
K <sub>0</sub>	4,91 a	14,22 b	17,31 a	12,56 a	7,42 b	126 a
K <sub>1</sub>	6,32 a	18,17 a	17,37 a	14,53 a	10,49 a	134 a
CD <sub>0</sub>	6,04 a	17,15 a	17,58 a	13,83 a	9,28 a	124 b
CD <sub>1</sub>	5,28 a	15,25 a	17,11 a	13,27 a	8,63 a	136 a
C.V. (%)	41,21	26,78	24,86	27,89	29,87	12,65

(a,b) = Médias acompanhadas de mesma letra entre os níveis de N, K e CD não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

A adubação nitrogenada diminuiu a concentração de Mg nas folhas (Tabela 12). A aplicação de potássio, na ausência de nitrogênio, diminuiu a concentração de Mg na madeira de 0,076 para 0,068 g kg<sup>-1</sup>.

A aplicação de calcário dolomítico aumentou a concentração de Mg em todos os componentes das árvores e na manta florestal (Tabela 12). Da mesma maneira como foi verificado no presente trabalho, Schönau e Herbert (1983) observaram que a aplicação de calcário dolomítico favoreceu um aumento no teor de magnésio foliar em quatro povoamentos experimentais de *E. grandis*. Os resultados obtidos por esses autores indicaram que o magnésio é mais rapidamente absorvido pelas árvores do que o cálcio.

A aplicação de nitrogênio diminuiu a quantidade de Mg nas folhas e a de potássio aumentou a quantidade de Mg nos frutos. A aplicação de calcário dolomítico aumentou a quantidade de Mg na madeira, na casca, nas folhas e na manta florestal, com maior incremento na manta florestal (Tabela 12).

### Ganhos econômicos

Com base nos valores médios do experimento, a relação existente entre o volume de madeira empilhada e o volume real de madeira sem casca foi de 2,306 (Tabela 3). Desta forma, o custo de produção da madeira em pé pela Votorantim Celulose e Papel – VCP, Estado de São Paulo, de US\$ 6,00/st correspondeu ao custo de US\$ 13,84/m<sup>3</sup>.

**Tabela 12.** Concentrações e quantidades médias de Mg dos componentes das árvores e da manta florestal do povoamento de *E. urophylla* aos 7,58 de idade, em função dos níveis de N, K e calcário dolomítico (CD).

(Means of concentration and accumulation of Mg of the tree components and of the forest floor of *E. urophylla* plantation at 7.58 years, in function of the levels of N, K and dolomitic lime).

Níveis	Madeira	Casca	Ramos	Folhas	Frutos	Manta Florestal
<b>Concentrações de Mg (g kg<sup>-1</sup>)</b>						
N <sub>0</sub>	0,0721 a	0,81 a	0,987 a	2,67 a	2,83 a	1,94 a
N <sub>1</sub>	0,0747 a	0,91 a	0,917 a	2,43 b	2,85 a	1,86 a
K <sub>0</sub>	0,0738 a	0,85 a	0,954 a	2,63 a	2,72 a	1,85 a
K <sub>1</sub>	0,0729 a	0,88 a	0,950 a	2,47 a	2,96 a	1,96 a
CD <sub>0</sub>	0,0652 b	0,76 b	0,837 b	2,06 b	2,52 b	1,45 b
CD <sub>1</sub>	0,0816 a	0,97 a	1,067 a	3,04 a	3,16 a	2,36 a
C.V. (%)	10,82	30,81	24,50	12,51	11,75	14,88
<b>Quantidades de Mg (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
N <sub>0</sub>	1,88 a	3,03 a	5,05 a	5,57 a	3,48 a	21,77 a
N <sub>1</sub>	1,80 a	3,12 a	4,34 a	4,31 b	3,06 a	19,86 a
K <sub>0</sub>	1,71 a	2,80 a	4,32 a	4,61 a	2,80 b	20,03 a
K <sub>1</sub>	1,97 a	3,34 a	5,07 a	5,27 a	3,73 a	21,60 a
CD <sub>0</sub>	1,68 b	2,72 b	4,28 a	4,17 b	3,04 a	15,86 b
CD <sub>1</sub>	2,00 a	3,42 a	5,11 a	5,71 a	3,50 a	25,77 a
C.V. (%)	22,73	29,36	31,97	28,81	25,52	18,52

(a,b) = Médias acompanhadas de mesma letra entre os níveis de N, K e CD não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05).

A partir das variações dos custos e receitas de produção, constatou-se que a aplicação e incorporação de 33,33 g/planta de cloreto de potássio, na projeção da copa das árvores aos 4,33 anos de idade, em janeiro de 1989, promoveu um ganho volumétrico de madeira de 16,33 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (43% em relação à sua não aplicação), uma receita adicional de US\$ 226,01, um custo adicional de US\$ 139,22, gerando um ganho de US\$ 86,79 por hectare. Para a mesma dose de cloreto de potássio associada com 22,22 g/planta de uréia e 500 g/planta de calcário dolomítico, os resultados também foram promissores, com um ganho volumétrico de 15,09 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (52% em relação à sua não aplicação), uma receita adicional de US\$ 208,85, um custo adicional de

US\$ 199,96, gerando um ganho de US\$ 8,89. Este ganho de capital foi bem menor do que o anterior devido aos custos da uréia e do calcário.

Considerando um preço real de mercado equivalente a US\$ 12,00/m<sup>3</sup> de madeira em pé, semelhante ao utilizado no presente estudo, Calderón (1992) constatou que as plantações de *E. globulus* no espaçamento de 3 x 3 m, com o uso de herbicida (Round-up) e aplicação de adubos (uréia, superfosfato e bórax), foram melhores do que as feitas no espaçamento de 2 x 2 m e que foram apenas adubadas, por produzirem um maior volume de madeira, apresentarem um menor custo e promover uma rentabilidade superior a 12%.



## CONCLUSÕES

Houve recuperação da taxa de crescimento das árvores após a aplicação de potássio no povoamento de *Eucalyptus urophylla* com 4,33 anos de idade.

A aplicação de potássio, tanto na ausência como na presença de nitrogênio e calcário dolomítico, elevou a produção de matéria seca de todos os componentes da parte aérea das árvores e foi muito importante para a produção de madeira e de frutos quando o povoamento atingiu 7,58 anos.

A aplicação de cloreto de potássio aumentou a quantidade de potássio na madeira, na casca, nas folhas e nos frutos das árvores, bem como na manta florestal, tendo sido o aumento maior nas folhas e na casca.

A calagem aumentou a quantidade de magnésio na madeira, na casca, nas folhas e

na manta florestal, com maior incremento na manta florestal.

Houve efeito da interação N x K x CD na produção de madeira. Na ausência de nitrogênio e de calcário dolomítico, a adubação potássica proporcionou um aumento, tanto no volume real como no peso de madeira, da ordem de 42,9% e um ganho de US\$ 86,79 por ha. A aplicação de potássio, juntamente com nitrogênio e calcário dolomítico, também promoveu um aumento volumétrico de 51,7% e um aumento em peso de madeira de 57,1%, porém o ganho econômico foi de apenas US\$ 8,89 por ha.

Nas condições do presente experimento, recomenda-se apenas a adubação potássica no povoamento com 4,33 anos de idade para recuperar a taxa de crescimento das árvores e aumentar a produção de madeira.

## AUTORES E AGRADECIMENTOS

SÉRGIO VALIENGO VALERI é Professor Adjunto do Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), 14884 – 900, Jaboticabal, SP. E-mail: valeri@fcav.unesp.br.

MANOEL EVARISTO FERREIRA é Professor Titular do Departamento de Solos e Adubos da (FCAV/UNESP), 14884 – 900, Jaboticabal, SP. E-mail: evaristo@fcav.unesp.br

MARIA INEZ ESPAGNOLI G. MARTINS é Professora Doutora do Departamento de Economia Rural da (FCAV/UNESP), 14884 – 900, Jaboticabal, SP. E-mail: minezesp@fcav.unesp.br

DAVID ARIOVALDO BANZATTO é Professor Adjunto, Voluntário do Departamento de Ciências Exatas da (FCAV/UNESP), 14884 – 900, Jaboticabal, SP. E-mail: banzatto@asbyte.com.br

SÍLVIO FERNANDES ALVARENGA é Engenheiro Florestal, assistente da Votorantim Celu-

lose e Papel – VCP - Caixa Postal 6 - 14210-000 – Luiz Antônio, SP. E-mail: siferal@keynet.com.br

LENINE CORRADINI é Engenheiro Agrônomo, assistente da Votorantim Celulose e Papel – VCP - Caixa Postal 6 - 14210-000 – Luiz Antônio, SP. E-mail: e.corradini@uol.com.br

CELINA FERRAZ DO VALLE é Engenheira Florestal do Departamento de Planejamento e Pesquisa da Votorantim Celulose e Papel – VCP - Caixa Postal 6 - 14210-000 – Luiz Antônio, SP. E-mail: celinaf@vcp.com.br

Os autores agradecem à Votorantim Celulose e Papel – VCP, pelos recursos financeiros liberados através da Fundação de Estudos e Pesquisa em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia – FUNEP e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, N.F. et al. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.
- CALDERÓN, S. Respuesta del *Eucalyptus globulus* ssp. a la preparación del sitio, control de malezas y enmiendas nutricionales. **Ciencia e investigación forestal**, v.6, n.1, p.5-21, 1992.
- CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, n.1, p.11-33, 1987.
- FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, n.1, p.83-96, 1970.
- FERREIRA, F.; ALFENAS, A.C.; FREITAS, A.L. Determinação da resistência de 16 procedências de *Eucalyptus* ao cancro causado por *Diaporthe cubensis* Bruner, no Vale do Rio Doce, MG. **Revista árvore**, v.2, n.2, p.119-129, 1978.
- GONÇALVES, J.C.; DINIZ, A.S. Parcelamento de adubação fundamental e sua influência no desenvolvimento de povoamentos de *Eucalyptus saligna* (Mairinque). **Boletim informativo IPEF**, v.9, n.28, p.17-19, 1981.
- HAAG, H.P. et al. Análise foliar em cinco espécies de eucaliptos. **IPEF**, n.13, p.99-116, 1976.
- KNIGHT, P.J. Seasonal fluctuations in foliar nutrient concentrations in a young nitrogen-deficient stand of *Eucalyptus fastigata* with and without applied nitrogen. **New Zealand journal of forestry science**, v.18, n.1, p.15-32, 1988.
- MELLO, H.A. et al. Resultados da aplicação de fertilizantes minerais na produção de madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. em solos de cerrado do Estado de São Paulo. **IPEF**, n.1, p.7-26, 1970.
- MELO, V.F. et al. Utilização de técnicas multivariadas no estudo das relações entre atributos químicos do solo e a produtividade do eucalipto no Rio Grande do Sul. **IPEF**, n.48/49, p.38-49, 1995.
- MESSINA, M.G. Response of *Eucalyptus regnans* F. Muell. to thinning and urea fertilization in New Zealand. **Forestry ecology management**, v.51, p.269-283, 1992.
- NEVES, J.C.L. et al. Efeito do alumínio em solução nutritiva no crescimento e absorção de nutrientes por *Eucalyptus* spp. **Revista árvore**, v.6, p.1-16, 1982.
- NOVAIS, R.F. et al. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp: níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista árvore**, v.10, n.1, p.105-111, 1986.
- NOVAIS, R.F. et al. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.25-98.
- PEREIRA, A.R. **Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, em região de cerrado**. Viçosa, 1990. 167p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
- POGGIANI, F. et al. Aspectos ecológicos das mini-rotações e do aproveitamento dos resíduos florestais. **Circular técnica IPEF**, n.74, p.1-7, 1979.
- SANSIGOLO, G.A.; SILVA, W.D.; PEREIRA, R.S.; ALVES, S.T. Nutrição mineral de *Eucalyptus*. In: HAAG, H.P., coord. **Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucária* e *Gmelina* no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. p.1-68.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56p.
- SCHÖNAU, A.P.G.; HERBERT, M.A. Relationship between growth rate, fertilising and foliar nutrient concentrations for *Eucalyptus grandis*: preliminary investigations. **Fertilizer research**, v.4, p.369-380, 1983.
- SHANG, Y.C. **Aquaculture economic analysis: an introduction**. Hawaii: University of Hawaii, 1990. 211p.
- STAPE, J.L.; ZANI FILHO, J. Aumento da produtividade do *E. grandis* em areias quartzosas através da fertilização de manutenção. **Silvicultura**, v.42, n.3, p.386-390, 1990.
- VALERI, S.V. et al. Composição química foliar e crescimento volumétrico de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden cultivado em areia quartzosa, em resposta à aplicação de fósforo e calcário dolomítico. **IPEF**, Piracicaba, n.46, p.63-75, 1993.
- VALERI, S.V. et al. Efeitos de adubação NPK e do calcário dolomítico no desenvolvimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Silvicultura**, n.28, p.531-536, 1983.
- VAN RAIJ, B. Conceitos fundamentais na interpretação da análise do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, Petrolina, 1994. **Fertilizantes: insumo básico para agricultura e combate à fome: anais**. Petrolina: EMBRAPA/ CPATSA/ SBCS, 1995. p.34-50.

- VAN RAIJ, B. et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.
- VAN RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. p.1-42. (Boletim técnico, 100).
- WARD, S.C et al. Responses to factorial combinations of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers by samplings of *Eucalyptus saligna* Sm., and the prediction of the responses by DRIS indices. **Australian forest research**, v.15, p.27-32, 1985.
- WELLS, E.D.; MILLER, H.G. Effects of refertilization on growth and nutrition of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.) planted on a minerotrophic peatland in Central Newfoundland, Canada. **Forestry**, v.67, n.2, p.149-164, 1994.

