

**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**

Sérgio Valiengo Valeri*
Ivor Bergemann de Aguiar*
Lenine Corradini**

ABSTRACT - This study examined the effects of tree rates of phosphorus (0, 200 and 400 kg per ha of P_2O_5 in a triple superphosphate form) and three rates of dolomitic lime (0, 2 and 4 t per ha) on the soil fertility, on the nutrient concentrations in foliage and on the growth of ***Eucalyptus grandis*** Hill ex Maiden trees planted on a Quartzpsamment soil. The soil was sampled at 7.4 years after planting, the foliage was collected at 2.5 and 7.5 years and the evaluations of height and diameter growth of trees were between 2 and 7 years of age. According to the results it was concluded that: a) lime application linearity increased pH, exchangeable Ca concentration and the percent base saturation of soil ; b) the application of triple superphosphate linearity increased the foliar concentrations of P, K and Ca; c) lime application increased foliar Mg concentration and decreased the foliar concentrations of K and Mn; d) there was effect of P and lime interaction on the tree cylindrical volume until 4 years of age, when the maximum value was estimated in 246, 17 m^3/ha with the application of 2,66 t/ha of lime plus 400 kg/ha of P_2O_5 ; e) it was not observed the effects of P application on the trees growth with more than 4 years of age. At 7 years after planting the trees presented the maximum cylindrical volume (275,22 m^3/ha) with the application of 2,91 t/ha of dolomitic lime.

RESUMO - Este estudo examinou os efeitos de três doses de fósforo (0, 200 e 400 kg/ha de P_2O_5 , na forma de superfosfato triplo) e três doses de calcário dolomítico (0, 2 e 4 t/ha) na fertilidade do solo, na concentração de nutrientes das folhas e crescimento volumétrico das árvores de ***Eucalyptus grandis*** Hill ex Maiden plantadas em Areia Quartzosa. O solo foi amostrado aos 7,4 anos após o plantio das árvores; as folhas foram coletadas aos 2,5 e 7,5 anos e as avaliações do crescimento em altura e diâmetro das árvores foram realizadas entre 2 e 7 anos de idade. Com base nos resultados obtidos concluiu-se que: a) a aplicação de calcário dolomítico elevou linearmente o pH, o teor de Ca trocável e a porcentagem de saturação de base do solo; b) a aplicação de superfosfato triplo aumentou linearmente os teores de P, K e Ca das folhas; c) a calagem aumentou o teor de Mg e diminuiu os teores de K e Mn das folhas; d) houve efeito da interação entre P e calcário no volume cilíndrico das árvores até 4 anos de idade, quando se estimou um valor máximo de 246, 17 m^3/ha com a aplicação de 2,66 t/ha de calcário, na presença de 400 kg/ha de P_2O_5 ; e) o crescimento das árvores com mais de 4 anos não foi afetado pela aplicação de P. As árvores com 7 anos

* UNESP/FCAV – Caixa Postal 145 – 14870-000 – Jaboticabal, SP

** CELPAV FLORESTAL S.A. – Caixa Postal 06 – 14210-000 – Luiz Antonio, SP

apresentaram um volume cilíndrico máximo de 275,22 m³/ha, com a aplicação de 2,91 t/ha de calcário dolomítico.

INTRODUÇÃO

Os solos sob vegetação de cerrado ocupam uma área de aproximadamente 180 milhões de hectares, dos quais cerca de 27,8% podem ser utilizados para a produção agrícola, desde que manejados adequadamente (LOPES, 1984). Os solos sob vegetação de cerrado passaram a ter grande importância para o setor florestal nos últimos quinze anos, sendo reflorestados com espécies de rápido crescimento, possibilitando um melhor aproveitamento das terras menos férteis e de baixa rentabilidade financeira para a agricultura (SANSIGOLO et alii, 1983).

As Areias Quartzosas representam cerca de 20% dos solos sob vegetação de cerrado, equivalente a 36 milhões de hectares, apresentando baixos teores de bases trocáveis e fósforo e elevada acidez. Estes solos estão entre os mais pobres do País e são os de maior risco para a agricultura não irrigada (LOPES, 1984).

Mesmo quando utilizados com essências florestais de baixa exigência nutricional, como **Eucalyptus** spp e **Pinus** spp, os solos pobres sob vegetação de cerrado devem ser preparados e adubados adequadamente.

O **Eucalyptus grandis** está entre as espécies mais plantadas no Estado de São Paulo (GOLFARI et alii, 1978; SCHONAU, 1984). A espécie apresenta um crescimento uniforme e responde bem à adubação em solos do tipo Areia Quartzosa (VALERI et alii, 1985b).

MALAVOLTA et alii (1974) recomendam a adubação de calcário dolomítico em solo com pH abaixo de 5,5, com incorporação antes do plantio do eucalipto. Além da calagem, os autores recomendam por hectare, dependendo da fertilidade do solo, de 30 a 60 kg de N, 75 a 150 kg de P₂O₅ e 15 a 30 kg de K₂O, por ocasião do plantio.

Plantas de **E. grandis** cultivadas em solo do tipo Areia Quartzosa apresentaram maior crescimento em altura e diâmetro aos 6 meses de idade com a aplicação de 20 g de N, 60 g de P₂O₅ e 20 g de K₂O por planta e de 2 t/ha de calcário dolomítico (VALERI et alii, 1983). A calagem afetou o crescimento em altura das plantas apenas até aos 6 meses e em diâmetro, até aos 18 meses de idade.

Em solos sob vegetação de cerrado, BARROS et alii (1986) sugerem a aplicação de 50 g de gesso agrícola na cova de plantio de eucalipto, além da adubação NPK. Para solos arenosos, que apresentam menos que 8 ppm de fósforo, os autores recomendam a aplicação de 750 kg/ha de P₂O₅ misturados com 250 kg/ha de gesso.

NOVAIS et alii (1986) apresentam os níveis críticos de P, K, Ca e Mg para a implantação e manutenção do crescimento de povoamentos de **Eucalyptus** spp.

Estudaram-se os efeitos da aplicação de fósforo e calcário dolomítico na fertilidade do solo, na composição química foliar e no crescimento volumétrico de **Eucalyptus grandis** Hill ex Maiden plantado em Areia Quartzosa.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do meio físico

O experimento localizou-se na Fazenda Cara Preta, pertencente à CELPAV FLORESTAL S.A., situada a 21°35' de Latitude Sul e 47°35' de Longitude Oeste, com altitude variando de 600 a 700 m, no Município de Santa Rita do Passa Quatro, SP.

O clima da região é do tipo CWa, segundo o sistema de Köppen, com predominância de chuvas no verão e inverno relativamente seco (BRASIL, 1969).

O solo foi classificado como Areia Quartzosa distrófica com horizonte A moderado. O horizonte A₁₁ (0-15 cm de profundidade) apresentou 97% de areia, 1,75% de silte e 1,25% de argila. A composição química média do solo, a profundidade de 0-20 cm, antes da aplicação do calcário, foi de 0,85% de matéria orgânica, pH (H₂O) = 4,26; P (Extrator ácido sulfúrico 0,05 N) = 31 ppm; K⁺ = 20 ppm; Ca⁺⁺ = 0,50; Mg⁺⁺ = 0,16; H⁺ = 2,67 e Al⁺⁺⁺ = 0,79, todos em e.mg/100 ml de solo, originando uma porcentagem de saturação de bases (V%) de 17,03%.

Instalação do experimento

Foram aplicadas as doses de 0, 2 e 4 t/ha de calcário dolomítico (CD), correspondentes aos níveis CD₀, CD₁ e CD₂, respectivamente. O calcário foi distribuído a lanço e incorporado ao solo até cerca de 15 cm de profundidade, através de uma gradagem, no dia 15/11/1980. Este calcário apresentou 18,5% de CaO; 15,7% de MgO e um poder relativo de neutralização total (PRNT) igual a 45,61%.

O fósforo foi aplicado no dia 08/12/1980, na forma de superfosfato triplo com 42% de P₂O₅ e 17% de CaO, tendo sido empregadas as doses de 0, 200 e 400 kg/ha de P₂O₅, correspondendo aos níveis P₀, P₁ e P₂, respectivamente.

Foi feita uma adubação básica de N e micronutrientes em todas as parcelas, tendo sido as características dos adubos, as doses e formas de aplicação descritas por VALERI et alii (1985b).

Os níveis de fósforo e calcário dolomítico foram combinados num fatorial 3 x 3, originando 9 tratamentos. Adotou-se o delineamento estatístico em blocos ao acaso com 3 repetições.

Cada parcela ocupou uma área de 364,5 m², contendo 81 plantas (9 x 9) no espaçamento de plantio de 3 x 1,5 m. A área útil da parcela utilizada para as avaliações foi de 112,5 m², envolvendo as 25 árvores centrais.

O plantio foi realizado no dia 09/12/1980, utilizando-se mudas de **Eucalyptus grandis** Hill ex Maiden, obtidas de sementes procedentes de Aguaí, SP e de origem Coff's Harbour, Austrália.

Composição química final do solo

Em maio de 1988, foi coletada uma amostra composta do solo de cada parcela, de 0 a 15 cm de profundidade, a fim de abranger apenas o horizonte A₁₁.

As amostras foram analisadas quimicamente no Laboratório de Fertilidade do Solo da FCAV; os elementos P, K, Ca e Mg foram analisados segundo metodologia descrita por VAN RAIJ & QUAGGIO (1983).

Composição química foliar

Foi realizada uma coleta de folhas em agosto de 1983 e outra em julho de 1988, quando as árvores apresentavam cerca de 2 anos e meio e 7 anos e meio de idade, respectivamente. Coletaram-se 5 folhas recém-maduras de cada um dos quatro pontos cardeais do terço superior da copa das árvores, com base na metodologia adotada por HAAG et alii (1976).

Utilizaram-se, por parcela, cinco árvores centrais na primeira coleta e nove árvores centrais e recém-abatidas na segunda coleta. As folhas de cada parcela compuseram uma amostra composta. As amostras foram secas em estufa a 80°C e depois moídas para determinar os teores de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn e Cu.

Crescimento volumétrico das árvores

Foram feitas avaliações de altura e diâmetro do caule das árvores com 2, 3, 4, 5 e 7 anos de idade. A altura foi obtida com o uso de Hipsômetro de Blume Leiss e o diâmetro foi medido à altura do peito (DAP) com o uso de compasso florestal. Os dados de altura e DAP foram utilizados para estimar o volume cilíndrico das árvores por hectare.

Análises estatísticas

Foram estudados os efeitos da aplicação de fósforo e calcário dolomítico nos parâmetros avaliados, empregando-se a análise de regressão por polinômios ortogonais.

A análise de regressão foi realizada apenas quando houve efeito significativo do tratamento sobre o parâmetro, através da aplicação preliminar da análise de variância.

Com relação aos parâmetros dendrométricos, foram feitas análises estatísticas apenas do volume cilíndrico por hectare, uma vez que este parâmetro é reflexo da altura, DAP e número de árvores da parcela.

Quando houve efeito quadrático do fósforo ou calcário dolomítico sobre o volume cilíndrico por hectare, calculou-se a dose que proporcionou o máximo volume (máxima eficiência física).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição química final do solo

No QUADRO 1 são apresentados os valores médios de resultados das análises químicas do solo, aos 7 anos e 5 meses após o plantio de **E. grandis**, em função das doses de P e calcário dolomítico.

O teor de P aumentou de 8,33 ppm para aproximadamente 10,4 ppm com a aplicação de 200 ou 400 kg/ha de P₂O₅, embora esse aumento não tenha sido significativo.

QUADRO 1. Composição química do solo entre 0 e 15 cm de profundidade, aos 7 anos e 5 meses após o plantio de *E. grandis*. Valores médios em função das doses de P₂O₅ e calcário dolomítico (CD).

Doses de P ₂ O ₅ e CD	Matéria Orgânica (%)	pH em CaCl ₂	P	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	H ⁺ + Al ⁺⁺	Saturação de Bases V(%)	
			resina ppm	meq/100cm ₃					
P ₂ O ₅ (kg/há)	0	1,5	4,0	8,3	0,04	0,46	0,24	3,9	15,00
	200	1,4	3,9	10,3	0,03	0,26	0,12	3,6	10,33
	400	1,4	4,1	10,6	0,03	0,52	0,39	3,5	19,11
CD (t/ha)	0	1,3	3,8	11,9	0,03	0,12	0,10	3,9	6,33
	2	1,6	4,0	8,6	0,03	0,53	0,29	3,7	17,56
	4	1,5	4,2	8,8	0,03	0,58	0,37	3,4	20,56
F para P	0,65ns	1,31ns	1,34ns	0,42ns	1,47ns	1,92ns	1,00ns	1,46ns	
F para CD	2,73ns	5,83*	3,10ns	0,18ns	4,83*	2,02ns	1,39ns	4,26*	
F para P x CD	0,55ns	1,07ns	0,72ns	1,78ns	0,79ns	1,42ns	0,37ns	0,79	
CV (%)	18,96	6,68	32,19	50,56	88,66	122,17	15,92	77,47	

Ns - Não significativo (P > 0,05)

(*) - Significativo (P < 0,05).

Não se pode fazer uma comparação precisa entre o teor médio de p do solo antes da instalação do experimento (31 ppm, extrator ácido sulfúrico 0,05 N), e os teores médios obtidos ao final do experimento (de 8,33 a 11,9 ppm, extrator resina de troca iônica), pois a natureza destes extratores é diferente. Além da fixação de P que pode ocorrer no solo, não se sabe se a absorção de P pelas árvores foi responsável por um decréscimo do teor de P do solo e de quanto foi a diferença.

No entanto, o teor de P do solo antes da instalação do experimento (31 ppm) foi inferior ao nível crítico de implantação de eucalipto em solo arenoso, proposto por NOVAIS et alii (1986), que é de 80 ppm (Extrator Mehlich-1). Esta comparação pode ser feita de certa forma, pois o extrator Mehlich-1, constituído de 0,05 M HCl + 0,0125 M H₂SO₄, é semelhante ao ácido sulfúrico 0,05 N, utilizado para determinar o teor de P do solo antes da instalação do experimento. Restrição deve ser feita ao serem comparados os teores de P obtidos ao final do experimento (de 8,33 a 11,9 ppm, extrator resina) com os níveis críticos de P para a manutenção de crescimento de eucalipto em solo arenoso, (de 6,1 a 6,5 ppm, extrator Mehlich-1, proposto por NOVAIS et alii, 1986).

Novos estudos devem ser realizados para definir melhor os níveis críticos de P, utilizando-se a resina de troca iônica como extrator.

Constatou-se efeito significativo do calcário dolomítico nos valores de pH, teor de Ca e percentagem de saturação de bases (V%) do solo.

Os valores de pH, teor de Ca e V(%) aumentaram linearmente com a elevação das doses de calcário dolomítico, podendo ser estimados através das equações de regressão apresentadas no QUADRO 2. A equação de melhor ajuste foi obtida em relação ao pH, com uma probabilidade de 97% da variação do pH ser explicada pela equação (R² = 0,97).

A aplicação tanto de 2 como 4 t/ha de calcário aumentou mais do que 4 vezes o teor de Ca e cerca de 3 vezes a porcentagem de saturação de bases (V%) do solo (QUADRO 1).

O eucalipto absorve Ca do solo em grande quantidade (MALAVOLTA et alii, 1974). Sendo assim, a calagem deve ser efetuada não só para corrigir a acidez do solo ou elevar a porcentagem de saturação de bases, mas principalmente para fornecer Ca e Mg às árvores (BARROS et alii, 1982).

Na ausência de calagem, os teores de Ca e Mg do solo foram inferiores aos níveis críticos de manutenção do crescimento do eucalipto (de 0,30 a 0,8 meq/100 cm³ de Ca e de 0,07 a 0,19 meq/100 cm³ de Mg, segundo NOVAIS et alii, 1986).

A calagem, de certa forma, corrigiu a deficiência de Ca e Mg do solo para as árvores de **E. grandis**.

Com relação ao K, o teor médio do elemento no solo, ao final do experimento, foi de aproximadamente 12 ppm (0,03 meq/100 cm³), ou seja, inferior ao nível crítico de manutenção do crescimento das árvores de eucalipto proposto por NOVAIS et alii (1986), que é de 30 ppm para se ter pelo menos uma produção de 10 m³/ha/ano de madeira.

QUADRO 2. Valores de F, equações e coeficientes de determinação (R²) das análises de regressão para valores de pH, teores de Ca⁺⁺ e porcentagem de saturação de bases (V%) do solo, influenciados pela aplicação de calcário dolomítico (valores de X em t/ha).

Parâmetro (Y)	Regressão	Valor de F	Equação	R ²
pH em	Linear	11,28**	Y = 3,7778 + 0,1056X	0,97
CaCl ₂	Quadrática	0,38ns	-	-
Ca ⁺⁺	Linear	7,95*	Y = 0,1833 + 0,1139X	0,82
meq/100 cm ³	Quadrática	1,72ns	-	-
Saturação de bases	Linear	7,67*	Y = 7,7037 + 3,5556X	0,90
V(%)	Quadrática	0,85ns	-	-

ns – Não significativo (P > 0,05)

(* e **) – Significativos, respectivamente (P < 0,05) e (P < 0,01)

De acordo com NOVAIS et alii (1986), ao contrário do que ocorre com P, os níveis críticos de K, Ca e Mg aumentam com a idade do povoamento de eucalipto. Isto deve à exaustão desses elementos do solo com o passar do tempo, ocasionada pela absorção pelas plantas e outras perdas como lixiviação.

Composição química foliar

Os teores médios de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn e Cu das folhas de **E. grandis**, aos 2 anos e meio e aos 7 anos e meio de idade, em função das doses de P e calcário dolomítico, estão contidos no QUADRO 3. Observa-se que houve efeito da aplicação de superfosfato triplo nos teores de P, K e Ca e da calagem nos teores de K, Mg e Mn das folhas. O estudo destes efeitos foi realizado através da análise de regressão e os resultados estão apresentados no QUADRO 4.

Os teores de P das folhas das árvores com 7 anos e meio aumentou linearmente com as doses de P₂O₅ aplicadas. O mesmo não foi observado quando as árvores eram mais jovens, provavelmente pelo fato do solo Ter apresentado originalmente uma quantidade razoável de P (31 ppm). Também houve uma tendência das árvores mais jovens apresentarem maior teor de P do que as mais velhas, com exceção das que receberam 400 kg/ha de P₂O₅ (QUADRO 3). BELLOTE (1979), trabalhando em solo com baixo teor de P (inferior a 4 ppm de P), observou que o teor médio de P das folhas do povoamento de **E. grandis** com um ano de idade (0,13% de P) foi significativamente superior ao das folhas do povoamento com 7 anos (0,09% de P), indicando que o teor de P das folhas diminui com a idade das árvores. Porém, o teor de P das folhas depende da aplicação do elemento do solo, bem como da concentração de P do solo disponível às plantas.

QUADRO 3. Teores médios de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn e Cu das folhas de E. grandis, aos 2 anos e meio (agosto/83) e aos 7 anos e meio de idade (julho/88), em função das doses de P₂O₅ e calcário dolomítico (CD).

Época	Doses de P ₂ O ₅ e CD	%						ppm	
		P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
Agosto de 1983	P ₂ O ₅ 0	0,144	0,57	0,67	0,28	336	161	23,8	6,89
	(kg/ha) 200	0,163	0,54	0,83	0,28	421	165	18,2	8,56
	400	0,156	0,43	0,89	0,29	413	159	18,4	7,56
	CD 0	0,158	0,56	0,74	0,18	575	142	22,0	8,00
	(t/ha) 2	0,144	0,54	0,85	0,31	366	180	18,0	7,22
	4	0,161	0,48	0,80	0,36	230	164	20,4	7,78
	F para P	3,40ns	0,44ns	4,49*	0,07ns	0,73ns	0,08ns	1,10ns	1,43ns
	F para CD	2,83ns	0,30ns	0,91ns	11,69**	10,08**	3,21ns	0,45ns	0,33ns
	F para P x CD	2,74ns	0,75ns	0,35ns	0,89ns	1,38ns	0,44ns	0,87ns	1,15ns
	CV (%)	10,30	42,96	20,25	29,47	42,09	19,67	44,72	27,50
Agosto de 1988	P ₂ O ₅ 0	0,131	0,45	0,51	0,36	313	170	16,8	8,33
	(kg/ha) 200	0,134	0,46	0,54	0,25	309	166	16,1	7,44
	400	0,158	0,58	0,66	0,28	338	182	18,0	8,89
	CD 0	0,142	0,59	0,60	0,16	468	178	18,4	9,11
	(t/ha) 2	0,143	0,46	0,58	0,30	295	169	16,4	7,78
	4	0,139	0,44	0,53	0,33	196	171	16,0	7,78
	F para P	4,16*	6,14*	4,62*	1,48ns	0,61ns	0,81ns	0,92ns	0,85ns
	F para CD	0,09ns	9,14**	0,96ns	40,91**	47,76**	0,27ns	1,70ns	0,94ns
	F para P x CD	0,91ns	1,43ns	1,80ns	0,83ns	2,77ns	1,82ns	1,35ns	2,64ns
	CV (%)	15,43	16,82	18,62	15,56	18,67	16,22	17,65	28,92

ns - Não significativo (P > 0,05)

(* e **) - Significativos, respectivamente (P < 0,05) e (P < 0,01)

QUADRO 4. Valores de F, equações e coeficientes de determinação (R²) das análises de regressão para os teores do P, K, Ca, Mg e Mn das folhas de *E. grandis*, influenciados pela aplicação de P₂O₅ e calcário dolomítico (CD).

Teores Y	Época	Tratamento X	Regressão	Valores de F	Equação	R ²
P (%)	87/88	P ₂ O ₅ (kg/ha)	Linear	6,60*	Y = 0,1275 + 0,6805.10 ⁻⁴ X	0,85
			Quadrática	1,20ns	-	-
K (%)	07/88	P ₂ O ₅ (kg/ha)	Linear	9,76**	Y = 0,4359 + 0,3081.10 ⁻³ X	0,80
			Quadrática	2,49ns	-	-
	CD (t/ha)	Linear	15,14**	Y = 0,5743 - 0,3836.10 ⁻¹ X	0,83	
		Quadrática	3,14ns	-	-	
Ca (%)	08/83	P ₂ O ₅ (kg/ha)	Linear	8,38*	Y = 0,6858 + 0,55.10 ⁻³ X	0,93
			Quadrática	0,60ns	-	-
	07/88	P ₂ O ₅ (kg/ha)	Linear	8,29*	Y = 0,4974 + 0,3608.10 ⁻³ X	0,90
			Quadrática	0,89ns	-	-
Mg (%)	08/83	CD (t/ha)	Linear	21,87**	Y = 0,1919 + 0,4611.10 ⁻¹ X	-
			Quadrática	1,53ns	-	-
	07/88	CD (t/ha)	Linear	70,12**	-	-
			Quadrática	9,71**	Y = 0,1628 + 0,9308.10 ⁻¹ X - 0,1309.10 ⁻¹ X ²	1,00
Mn (ppm)	08/83	CD (t/ha)	Linear	19,86**	Y = 596,56 - 86,22X	0,99
			Quadrática	0,30ns	-	-
	07/88	CD (t/ha)	Linear	93,23**	Y = 455,74 - 67,94X	0,98
			Quadrática	2,28ns	-	-

Ns – Não significativo (P > 0,50)

(* e **) – Significativos, respectivamente (P < 0,05) e (P < 0,01)

SCHONAU & HERBERT (1982) consideram que o teor de p das folhas de 0,17% seja adequado para o desenvolvimento das plantas de *E. grandis*, com idades variando de 6 a 36 meses. Em diversas condições da África do Sul, o teor ótimo de P está entre 0,15 e 0,16% para a espécie (SCHONAU, 1983). VALERI et alii (1985a) verificaram que as folhas das plantas de *E. grandis*, cultivadas em vasos durante 98 dias, apresentaram 0,118% de P em solo com 5,67 ppm de P e de 0,155% de P em solo com 19,88 ppm de P. Árvores de mesma espécie, com 7 anos de idade, cultivadas em solo com baixo teor de P (1,43 e 0,89 ppm nos horizontes Ap e B₁, respectivamente) apresentaram 0,12% de P nas folhas (HAAG et alii, 1976). Os resultados destes trabalhos indicam que o teor de P das folhas próximo a 0,12% seja insuficiente para a espécie; porém o nível crítico do elemento no solo deve ser melhor investigado. No presente trabalho, os teores médios de P, em função dos tratamentos, foram superiores a 0,13% (QUADRO 3).

Na idade de 2 anos e meio, houve uma tendência do teor de K das folhas diminuir com o aumento das doses de P₂O₅ (QUADRO 3); porém a variação não foi significativa estatisticamente. No entanto, aos 7 anos e meio o teor de K aumentou linearmente em função das doses crescentes de P₂O₅ (QUADRO 4). Em experimento onde o teor de K das folhas foi alto (0,90%) ou que tenha sido de 0,79% em árvores que receberam, em seguida,

adubo potássico, SCHONAU & HERBERT (1982) verificaram que a aplicação de P reduziu o teor de K das folhas de **E. grandis**.

O teor de K das folhas diminuiu com a calagem, pois quando a relação Ca/K na solução externa aumenta, há antagonismo e a absorção do K diminui (MALAVOLTA, 1976). VALERI et alii (1985a) também constataram que a aplicação de carbonato de cálcio reduziu o teor de K das folhas de plantas de **E. grandis** com 98 dias após o plantio, em condições de casa de vegetação e GONÇALVES et alii (1986) verificaram que a calagem reduziu a concentração de K na parte aérea de plantas de **E. grandis** com 117 dias de idade.

Os teores de K foliar obtidos no presente trabalho foram relativamente baixos, indicando uma carência desse elemento, quando comparados com os valores obtidos por HAAG et alii (1963), HAAG et alii (1976) e VALERI et alii (1985a) em folha de **E. grandis**. Segundo SCHONAU & HERBERT (1982), o teor adequado de K foliar para o **E. grandis** está em torno de 0,7%.

O superfosfato triplo, além de P, apresenta 17% de CaO, componente responsável pelo aumento linear de Ca das folhas, tanto das árvores com 2 anos e meio como das de 7 anos e meio de idade (QUADRO 4) BELLOTE (1979) observou uma baixa correlação entre teor de Ca das folhas e idade de povoamento de **E. grandis**. O menor teor de Ca (0,38%) foi observado no povoamento de 2 anos e o maior teor de Ca (0,72%) no povoamento de 7 anos. Os teores de Ca variaram de 0,46% a 1,27% em folhas de **E. grandis** de três experimentos, durante os 2 primeiros anos de idade (SCHONAU, 1981). Os teores de Ca em folhas de **E. grandis** variam bastante, em função da idade, tipo de solo, localização geográfica, entre outros fatores, de acordo com os valores descritos na literatura (HAAG et alii, 1976; NOVAIS et alii, 1990).

A calagem aumentou linearmente o teor de Ca do solo (QUADROS 1 e 2), porém não alterou significativamente o teor de Ca das folhas (QUADRO 3). Este elemento provavelmente acumulou-se em outro componente da árvore como a casca, pois PEREIRA et alii (1984), trabalhando com **E. saligna** e **E. citriodora**, observaram que a casca acumulou maior quantidade de Ca (kg/ha) do que a madeira, galho ou folha.

A aplicação de calcário dolomítico elevou o teor de Mg das folhas das árvores nos dois períodos de avaliação, o que era de se esperar, pois este corretivo apresentou 15,7% de MgO em sua composição. Aos 2 anos e meio, o efeito foi linear e aos 7 anos e meio de idade foi quadrático (QUADRO 4). O máximo teor de Mg das folhas das árvores com 7 anos e meio foi de 0,328%, obtido com a aplicação de 3,56 t/ha de calcário dolomítico. SCHÖNAU (1981) observou uma variação no teor de Mg nas folhas de **E. grandis** até 2 anos de idade entre 0,15 e 0,37%. Segundo SCHÖNAU (1983), o teor ótimo de Mg das folhas de **E. grandis** em várias regiões da África do Sul é de 0,3%, o que é corroborado com os resultados obtidos no presente trabalho.

Com relação aos teores de micronutrientes na matéria seca foliar, observa-se nos QUADROS 3 e 4 que a calagem diminuiu linearmente o teor de Mn das folhas nos dois períodos de avaliação, em consequência da elevação do pH do solo (QUADROS 1 e 2). De acordo com MALAVOLTA (1976), quando ocorre elevação de pH do solo, a disponibilidade de Mn decresce.

A título de comparação, BELLOTE (1979) observou em povoamentos de **E. grandis** com 2 e 7 anos, respectivamente, os seguintes teores de micronutrientes nas folhas: 336 ppm e 400 ppm de Mn; 183 ppm e 182 ppm de Fe; 15,5 ppm e 12,5 ppm de Zn e 7,8 ppm e 5,2 ppm de Cu.

Na África do Sul, foram encontradas as seguintes variações de teores de micronutrientes em povoamentos de *E. grandis*: 129 a 2864 ppm de Mn, 62 a 251 ppm de Fe, 14 a 31 ppm de Zn e 3 a 26 ppm de Cu, sendo que os teores ótimos para o desenvolvimento da espécie são: baixo para o Mn, inferior a 100 ppm para o Fe, inferior a 20 ppm para o Zn e inferior a 18 ppm para o Cu (SCHCNAU, 1983).

Crescimento volumétrico das árvores

Observou-se efeito da interação entre P e calcário dolomítico no volume cilíndrico das árvores com 2, 3 e 4 anos de idade. Houve efeito de calcário dolomítico na ausência de P e na presença de 400 kg/ha de P₂O₅, bem como efeito de P na ausência de calcário dolomítico. As árvores com 5 e 7 anos de idade sofreram influência apenas de calagem, com relação ao volume cilíndrico. Os efeitos de P e calcário sobre o volume cilíndrico das árvores foram todas quadráticas, com um coeficiente de determinação (R²) igual a um.

As equações de regressão obtidas, os valores de F e as doses de máxima eficiência física são apresentados no QUADRO 5.

QUADRO 5. Equações de regressão quadrática estimadoras do volume cilíndrico (Vc), em m³/ha, de *E. grandis*, em diferentes idades, em função das doses de P₂O₅ e calcário dolomítico (CD), com o desdobramento da interação P x CD significativa. Valores de F e doses de máxima eficiência física.

Idade	Tratamento	Equação de regressão quadrática	Valor de F	Máxima	Eficiência
2	CD d P ₀	$Vc = 21,53 + 35,1133X - 5,7983X^2$	14,82**	3,03t/ha	74,69
	CD d P ₂	$Vc = 55,21 + 20,3258X - 4,0088X^2$	7,08*	2,54t/ha	80,97
	P de CD ₀	$Vc = 21,53 + 0,3292X - 0,6126 \cdot 10^{-3}X^2$	16,54**	269kg/ha	65,76
3	CD d P ₀	$Vc = 75,91 + 68,2267X - 10,0833X^2$	5,73*	3,38t/ha	191,32
	CD d P ₂	$Vc = 122,17 + 58,465X - 11,5292X^2$	7,49*	2,54t/ha	196,29
	P de CD ₀	$Vc = 75,91 + 0,6924X - 0,1442 \cdot 10^{-2}X^2$	11,71**	240kg/ha	159,03
4	CD d P ₀	$Vc = 103,14 + 72,5017X - 10,5292X^2$	5,09*	3,44t/ha	227,95
	CD d P ₂	$Vc = 164,60 + 61,2600X - 11,5025X^2$	6,07*	2,66t/ha	246,17
	P de CD ₀	$Vc = 103,14 + 0,6907X - 0,1442 \cdot 10^{-2}X^2$	8,27*	257kg/ha	191,95
5	CD	$Vc = 173,43 + 48,7419X - 8,1054X^2$	7,49*	3,01t/ha	246,71
7	CD	$Vc = 209,70 + 45,1022X - 7,7625X^2$	4,95*	2,91t/ha	275,22

(P₀, P₁, P₂) = 0, 200 e 400 kg/ha de P₂O₅, respectivamente
 (CD₀, CD₁, CD₂) = 0, 2 e 4 t/ha de CD, respectivamente
 (* e **) = significativos, respectivamente (P < 0,05) e (P < 0,01).

O incremento do volume cilíndrico foi alto até as árvores terem atingido a idade de 4 anos. Nesta idade, o máximo volume cilíndrico das árvores foi de 227,95 m³/ha, obtido com a aplicação de 3,44 t/ha de calcário dolomítico, na ausência de P. Na presença de 400 kg/ha de P₂O₅, o máximo volume foi de 246,17 m³/ha com a aplicação de uma quantidade menor de calcário dolomítico (2,66 t/ha) do que a da situação anterior, provavelmente pela fonte de P ter sido o superfosfato triplo, que contém 17% de CaO, e elevou o teor de Ca das

folhas (QUADROS 3 e 4). Na ausência de calagem, o máximo volume foi de 191,95 m³/ha com a aplicação de 257 kg/ha de P₂O₅.

Constatou-se efeito da aplicação de P no volume cilíndrico das árvores até a idade de 4 anos, pois o teor do elemento no solo inicialmente estava abaixo do nível crítico de implantação. Com o desenvolvimento da árvore e principalmente do sistema radicular, o nível crítico de p diminui, o que provocou uma não resposta dos indivíduos com mais de 4 anos à aplicação de P, com base em NOVAIS et alii (1986).

Como o superfosfato triplo elevou o teor de Ca nas folhas (QUADRO 2), considerou-se que a quantidade do elemento no adubo contribuiu para suprir uma provável deficiência de Ca do solo para o crescimento das árvores. O superfosfato triplo não elevou significativamente o teor de Ca trocável do solo (QUADRO 1), mas segundo PRITCHETT (1979), este tipo de fertilizante, quando aplicado em solo ácido, dissolve-se lentamente e libera cálcio na solução do solo.

Após o período de 4 anos, a competição das árvores pelos nutrientes da Areia Quartzosa foi alta e o incremento do volume cilíndrico até a idade de 7 anos foi bastante reduzido. Aos 5 anos de idade, o máximo volume cilíndrico das árvores foi de 246,71 m³/ha, com a aplicação de 3,01 t/ha de calcário dolomítico e aos 7 anos de idade foi de 275,22 m³/ha, com a aplicação de 2,91 t/ha de calcário.

Nas condições do presente experimento, a aplicação de um fosfato solúvel por ocasião do plantio foi necessária para atender às exigências de P na fase inicial de crescimento das árvores. Cerca de 3 t/ha de calcário dolomítico, principalmente como fonte de Ca e Mg, foram necessárias para atender às exigências de crescimento das árvores durante os primeiros 7 anos de idade.

Até a idade de 4 anos, considerando a média geral do experimento, as árvores cresceram cerca de 90,63% em altura (13,06 m) e cerca de 91,40% em diâmetro (8,93 cm), em relação ao total atingido aos 7 anos de idade (Altura = 14,41 m e DAP = 9,77 cm). A quebra brusca do incremento do crescimento das árvores, a partir de 4 anos de idade, é reflexo da exaustão da fertilidade do solo em geral e do estado excessivo de competição entre as árvores. Os resultados obtidos neste experimento sugerem que, em solos pobres desta natureza, além da adubação de plantio, são necessárias adubações complementares ao longo do ciclo de cone das árvores, para se ter uma produção de madeira economicamente viável.

CONCLUSÕES

- a. A aplicação de calcário dolomítico elevou linearmente o pH, o teor de Ca trocável e a porcentagem de saturação de bases do solo;
- b. A aplicação de superfosfato triplo aumentou linearmente os teores de P, K e Ca das folhas de **E. grandis**;
- c. A calagem aumentou o teor de Mg e diminuiu os teores de K e Mn das folhas;
- d. Houve efeito da interação entre P e calcário dolomítico no volume cilíndrico das árvores até 4 anos de idade, quando se estimou um valor máximo de 246,17 m³/ha com a aplicação de 2,66 t/ha de calcário na presença de 400 kg/ha de P₂O₅;
- e. O crescimento das árvores com mais de 4 anos não foi afetado pela aplicação de P. As árvores com 7 anos apresentaram um volume cilíndrico máximo estimado em 275,22 m³/ha, com a aplicação de 2,91 t/ha de calcário dolomítico.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira, pelas atividades exemplares de administração do Laboratório de Fertilidade do Solo da FCAV-UNESP, onde foram feitas as análises químicas de solo, e a todas as pessoas que colaboraram para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, N.F. et alii. Interpretação de análises químicas de solo para o crescimento de **Eucalyptus spp.** **Revista árvore**, Viçosa, 6(1): 38-44, 1982.
- BARROS, N.F. et alii. Níveis críticos de fósforo no solo para eucalipto. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, 12(141): 15-9, 1986.
- BELLOTE, A.F.J. **Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) em função da idade.** Piracicaba, 1979. 129p. (Tese-Mestrado-ESALQ).
- BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Atlas climatológico do Brasil.** Rio de Janeiro, 1969. 100p.
- GOLFARI, L. et alii. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil.** Brasília, PRODEPEF 1978. 66p. (Série técnica, 11).
- GONÇALVES, J.L.M. et alii. Níveis críticos de fósforo no solo e na parte aérea de eucalipto na presença e ausência da calagem. **Revista árvore**, Viçosa, 10(1): 91-104, 1986.
- HAAG, H.P. et alii. Composição química de ***Eucalyptus alba* Reinw** e ***Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden.** **Fertilité**, Paris, 18: 9-14, 1963.
- HAAG, H.P. et alii. Análise foliar em cinco espécies de ***Eucalyptus*.** **IPEF**, Piracicaba, 13: 99-115, 1976.
- LOPES, A.S. **Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo.** 2.ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 162p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo.** São Paulo, Agronômica Ceres, 1976. 528p.
- MALAVOLTA, E. et alii. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas.** São Paulo, Pioneira, 1974. 752p.
- NOVAIS, R.F. et alii. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de ***Eucalyptus spp.*** níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista árvore**, Viçosa, 10(1): 105-11. 1986.

- NOVAIS, R.F. et alii. 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. et alii. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de **Eucalyptus citriodora** e **Eucalyptus saligna** cultivados na região de cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, Curitiba, 15(1/2): 8-16, 1984.
- PRITCHETT, W.L. **Properties and management of forest soils**. New York, John Wiley, 1979. 500p.
- SANSIGOLO, C.A. et alii. Nutrição mineral de Eucalyptus. In: HAAG, H.P. **Nutrição mineral de Eucalyptus, Pinus, Araucária e Gmelina no Brasil**. Campinas, Fundação Cargill, 1983. p.2-68.
- SCHONAU, A.P .G. Fertilization in South African Forestry. **South African forestry journal**, Pretoria (125): 1-19. 1983.
- SCHONAU, A.P.G. Seasonal changes in foliar nutrient content of **E. grandis**. **South African forestry journal**. Pretoria (119): 1-4, 1981.
- SCHONAU, A.P.G. Silvicultural considerations for height productivity of **E. grandis**. **Forest ecology and management**, Amsterdam, 9(4): 295-314, 1984.
- SCHONAU, A.P.G. & HERBERT, M.A. Relationship between growth rate and foliar concentration of nitrogen, phosphorus and potassium for **Eucalyptus grandis**. **South African forestry journal**, Pretoria (120): 19-23, 1982.
- VALERI, S.V. et alii. Efeito do fósforo e cálcio no desenvolvimento e na composição química foliar de **Eucalyptus grandis** Hill ex Maiden em casa de vegetação. **IPEF**, Piracicaba, 29: 47-54, 1985a.
- VALERI, S.V. et alii. Efeitos do fósforo e calcário dolomítico no desenvolvimento inicial de **Eucalyptus grandis** Hill ex Maiden plantado em um regossolo. **IPEF**, Piracicaba, 29: 55-60, 1985b.
- VALERI, S.V. et alii. Efeitos da adubação NPK e do calcário dolomítico no desenvolvimento de **Eucalyptus grandis** Hill ex Maiden. **Silvicultura**, São Paulo, 8(28): 531-6, 1983.
- VAN RAIJ, B. & QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. 31 p. (Boletim técnico, 81).