

# Ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* submetidos à prática de desbastes progressivos

## Nutrient cycling in *Eucalyptus grandis* stands submitted to progressive thinning practices

Luciana Kolm  
Fábio Poggiani

---

**RESUMO:** O presente trabalho estudou o retorno de nutrientes ao solo através da produção de serapilheira em plantações de *Eucalyptus grandis* de 20 anos, bem como os estoques de nutrientes contidos na manta orgânica acumulada no sub-bosque e na camada superficial do solo (entre 0-20 cm) das parcelas experimentais. Estimou também a taxa de decomposição da serapilheira e a conseqüente disponibilização dos nutrientes para o sistema radicular dos eucaliptos em crescimento. Os povoamentos florestais estudados, que se localizam no município de Bofete, SP, foram submetidos pelo método CCT (Correlated Curve Tread), a diferentes intensidades de desbaste: T0 = 0%, T1 = 67% e T2 = 83%. O clima da região é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, e o solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, de baixa fertilidade. Os valores da produção anual de serapilheira nos tratamentos T0, T1 e T2 foram semelhantes com 10,2; 10,9 e 10,4 t/ha/ano, respectivamente. Porém, através de análises mensais, foi verificado que as concentrações e, conseqüentemente, as quantidades de nutrientes contidos na serapilheira produzida e transferida ao solo foram geralmente mais elevadas nos tratamentos submetidos aos desbastes. Também, a taxa de decomposição da serapilheira foi mais elevada nos tratamentos desbastados, reduzindo o acúmulo de resíduos orgânicos sobre o solo. Conseqüentemente, no tratamento sem desbastes (testemunha) foi constatada uma maior imobilização de nutrientes na serapilheira acumulada (especialmente K, Ca e Mg). Por outro lado, entre 0 e 20 cm de profundidade, os solos sob as parcelas desbastadas (especialmente do T1) apresentaram maiores estoques de nutrientes em relação ao T0 (exceto para o N), devido à mais rápida disponibilização de nutrientes provenientes da serapilheira decomposta. Os resultados deste estudo evidenciam que a aplicação do CCT, através de desbastes progressivos em povoamentos de eucaliptos, favorece a reciclagem e, portanto, o reaproveitamento de nutrientes no sítio, conservando-os mais eficientemente no sistema (solo+serapilheira) e contribuindo para a manutenção da produtividade florestal a longo prazo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ciclagem de nutrientes, Desbastes progressivos, *Eucalyptus grandis*, Rotação longa, Serapilheira, Fertilidade do solo, Taxa de decomposição

**ABSTRACT:** This study characterizes the effects of thinning on litter production, nutrients return by litter-fall, stocks of nutrients accumulated in the litter and in the top soil (0-20 cm), and litter decomposition within 20-year-old experimental stands of *Eucalyptus grandis*. The stands were submitted to the "CCT Management Method", including three progressive intensity of

thinning: T0 = 0%, T1 = 67% and T3 = 83%). The experimental area is located in Bofete, SP. The climate is Cwa, according to Köppen's classification, and the soil characterized as Haplustox. The annual litter-fall in the treatments T0, T1 e T2 were similar: 10.2, 10.9 and 10.4 t/ha/year, respectively. However, nutrients concentration in the litter-fall, and nutrients return to forests soil were generally greater in the thinned treatments. Also, litter decomposition was faster in the thinned treatments, and there was a smaller accumulation of litter on the forest floor. Therefore, the stocks of nutrients P, K, Ca and Mg in the top layer of the soil (0-20 cm) were higher in the thinned treatments, mainly at the 67% thinning (T1). This experiment suggest that Eucalypts plantations, when submitted to the "CCT Management Method" with progressive thinnings, may improve nutrient recycling in the site, conserving nutrient stocks in the system (soil + litter), and sustaining forest yield.

**KEYWORDS:** Litter-fall, Nutrient cycling, *Eucalyptus grandis*, Thinning, Long rotation, Litter decomposition, Forest floor

## INTRODUÇÃO

Após o fechamento das copas das árvores, grande parte da demanda de nutrientes é atendida através da ciclagem de nutrientes, o que acarreta uma menor dependência em relação aos nutrientes disponíveis no solo. Árvores bem supridas de nutrientes, nos seus primeiros anos de crescimento, armazenam maior quantidade de nutrientes na biomassa e, conseqüentemente, asseguram um maior estoque de nutrientes disponíveis ao longo do tempo, através do ciclo bioquímico. Isto tem importância ainda maior se se considerar que grande parte das regiões utilizadas para o plantio de eucaliptos têm solos de baixa fertilidade e alto teor de alumínio trocável. Assim, para manter o equilíbrio nutricional, há uma dependência muito grande da entrada de nutrientes através da adubação ou pela deposição atmosférica, e da sua conservação no sítio através dos ciclos bioquímicos e biogeoquímicos (Poggiani e Schumacher, 1997; Poggiani e Schumacher, 2000).

No Brasil, a produção de madeira de eucalipto tem sido feita em ciclos curtos, com o corte raso aos 6 ou 7 anos de idade. Usa-se o sistema de talhadia, com a condução da rebrota por uma ou duas rotações e posterior

reforma do povoamento. Porém, as plantações florestais de eucalipto, quando manejadas através de desbastes seletivos, podem produzir toras de madeira com maiores dimensões e destinadas à indústria moveleira. Através de ciclos longos, busca-se melhorar as características da madeira produzida, agregar-lhe maior valor econômico e diminuir o impacto da colheita florestal.

Espera-se que, por utilizar o corte raso mais espaçadamente, o uso de desbastes progressivos favoreça a reciclagem dos nutrientes nos povoamentos e a manutenção da fertilidade dos solos. Para verificar esta hipótese, avaliou-se o efeito de três intensidades de desbaste (T0 = 0%, T1 = 67% e T3 = 83%) pelo método CCT - "Correlated Curve Trend" (Hiley, 1959) em talhões de *Eucalyptus grandis*, com 20 anos de idade. Os aspectos avaliados foram: a produção (mensal e anual) da serapilheira pelos eucaliptos; a variação da concentração de nutrientes nos componentes da serapilheira e sua transferência ao solo; a taxa de decomposição de serapilheira no sub-bosque; os estoques de nutrientes contidos na serapilheira acumulada sobre o solo das parcelas experimentais, bem como na camada superficial do solo entre 0 e 20 cm de profundidade.

## METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido em uma área da Fazenda Santa Terezinha, pertencente à empresa Eucatex S.A., em Bofete, na região centro-sul de São Paulo (23° 04' de latitude Sul e 48° 13' de longitude Oeste e 500 m de altitude). O Clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1200 mm, sendo caracterizado por uma estação seca bem definida, que coincide com o inverno. A estação chuvosa é bastante pronunciada, sendo que de outubro a março ocorre 73,5% da precipitação anual. O solo de Bofete é constituído por Latossolo Vermelho - Amarelo distrófico, textura média.

O experimento foi instalado em povoamentos de *Eucalyptus grandis* plantados em 1978, no espaçamento de 3,0 x 1,5 m. Foram realizados desbastes sucessivos pelo método CCT - "Correlated Curve Trend" (Hiley, 1959), durante os primeiros 7 anos, a partir de uma população inicial de 2220 árvores/ha. As épocas e intensidades dos desbastes foram determinadas por parcelas experimentais de acompanhamento, nas quais se fez a previsão do início da competição entre as árvores, para assim antecipar o desbaste. As árvores remanescentes dos primeiros desbastes e também a testemunha foram desramadas até a

altura de 6 m. Observa-se atualmente que os povoamentos desbastados mantêm um ritmo de crescimento mais acelerado, devido à menor competição, enquanto que o tratamento testemunha está com o crescimento quase estagnado.

Os tratamentos avaliados no período experimental foram:

- ✓ T0 - Testemunha (sem desbastes);
- ✓ T1 - 67% de desbaste (com 2 desbastes, sendo o 1º aos 3 anos e o 2º aos 4 anos de idade);
- ✓ T2 - 83% de desbaste (com 4 desbastes, sendo o 1º aos 3 anos, o 2º aos 4 anos, o 3º aos 6 anos e o 4º aos 7 anos de idade).

Os estudos desenvolvidos nesta pesquisa foram realizados quando o povoamento estava com cerca de 20 anos de idade. Na Tabela 1, encontram-se algumas características dendrométricas dos tratamentos T0, T1 e T2. Cada tratamento era constituído por uma parcela experimental com 180m<sup>2</sup> de área útil de amostragem, circundada por 2 linhas de bordadura. Dentro de cada parcela foram realizadas as medições das características dendrométricas e as coletas de amostras de todos os parâmetros avaliados no experimento, sendo que cada amostra era considerada uma repetição.

**Tabela 1**

Taxa de mortalidade, densidade, diâmetro à altura do peito, área basal por árvore e por hectare, altura total média, volume por árvore e por hectare, nos três tratamentos constituídos por povoamentos de *Eucalyptus grandis*, com 20 anos de idade, submetidos a desbastes progressivos.

(Mortality rate, tree density, diameter at breast height, basal area for tree and for hectare, total height, stem volume for tree and for hectare, in the three treatments with *Eucalyptus grandis*, 20-year-old, submitted to different thinning intensity)

Tratamento	Desbaste	Mortas%	Nº de árvores/ha	DAP cm	Área Basal		Altura m	Volume	
					m <sup>2</sup> /árvore	m <sup>2</sup> /ha		m <sup>3</sup> / árv.	m <sup>3</sup> / ha
T 0	0 %	38,2	1511	19,2	0,02895	43,7	29,8	0,484	731,4
T 1	67 %	1,9	770	24,9	0,04870	37,5	38,7	0,963	741,6
T 2	83 %	2,4	380	30,1	0,07112	27,0	42,9	1,444	548,3

Para estimar a produção anual de serapilheira (L) foram distribuídos, em cada parcela, sete coletores de serapilheira. Os coletores eram constituídos por telas de náilon (tipo sombrite), fixadas horizontalmente em molduras de madeira de 0,5 x 0,5 m (0,25 m<sup>2</sup> de superfície) e suportadas por estacas a uma altura de 50 cm acima da superfície do solo. Os coletores foram distribuídos de forma casualizada, mas apenas na parte central das parcelas experimentais, para evitar o efeito de bordadura. A serapilheira depositada sobre os coletores foi coletada mensalmente, durante 12 meses (de outubro de 1998 a setembro de 1999) e seca em estufa a 50 - 60o C, até alcançar peso constante. Após a pesagem do material coletado em cada bandeja, estimou-se a deposição média mensal de serapilheira para os diferentes tratamentos, sendo os valores expressos em kg/ha.

As amostras de serapilheira coletadas nas bandejas de cada parcela experimental foram moídas separadamente em moinho tipo Willey e o pó resultante foi peneirado através de uma malha 20. Alíquotas destas amostras foram utilizadas para análise de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S). O N-total foi determinado pelo método Microkjeldahl. As determinações de K foram realizadas por fotometria de chama, o Ca e Mg foram realizados em espectrofotômetro de absorção atômica, e o Fósforo foi determinado por colorimetria conforme a metodologia de Sarruge e Haag (1974). Com as concentrações de cada um dos nutrientes analisados e os valores mensais de massa seca de serapilheira depositada por hectare, estimou-se a quantidade de nutrientes transferidos mensalmente ao solo pela deposição da serapilheira.

A coleta das amostras de serapilheira acumulada sobre o solo (X<sub>ss</sub>) foi realizada colocando sobre o piso florestal um molde vazado de madeira com 0,25 m<sup>2</sup> de área (0,5 x

0,5 m). Com o auxílio de uma espátula, foram retiradas, em pontos escolhidos ao acaso de cada parcela experimental, sete amostras de serapilheira contida na área delimitada pelo molde. Considerou-se como serapilheira todo o material vegetal depositado sobre o solo, composto por folhas, casca, frutos e ramos finos com menos de 1cm de diâmetro (serapilheira fina). Para abranger as variações sazonais da serapilheira acumulada, as coletas foram realizadas em duas épocas: inverno (julho/1998) e verão (fevereiro/1999), e posteriormente foi estimado o valor médio anual para cada tratamento. Estas amostras também foram utilizadas para a análise dos nutrientes, sendo que a metodologia de análise e o cálculo dos estoques de nutrientes contidos na serapilheira acumulada sobre o solo foi semelhante à descrita para se estimar a deposição de serapilheira.

A taxa de decomposição (K) foi calculada utilizando a relação entre os valores de produção anual de serapilheira (L) e de seu acúmulo sobre o solo (X<sub>ss</sub>), ou seja:  $K = L/X_{ss}$ . Segundo Shanks e Olson (1961), calcularam-se também, a partir do valor de K, o tempo médio estimado de renovação da serapilheira acumulada (1/K) e o tempo necessário para o desaparecimento de 50% e 95% da serapilheira acumulada, sendo respectivamente:  $t_{0,5} = 0,693/K$  e  $t_{0,05} = 3/K$ .

A amostragem de solo para estimar o conteúdo de nutrientes (mineralomassa) foi realizada através da coleta de sete amostras por tratamento, na profundidade de 0-20 cm. As coletas foram realizadas com uma sonda amostradora de solo, durante o mês de julho. As amostras de terra foram secas ao ar e passadas em peneira de 2,0 mm. A terra fina resultante foi submetida a análises químicas (N, P, K, Ca e Mg). Também foram tomadas outras 7 amostras por tratamento, usando anéis volu-

métricos para a análise física (densidade do solo pelo método de Kopecky, de acordo com EMBRAPA, 1997). O N-total foi determinado pelo método Semi-micro Kjeldahal; P foi extraído pelo método da resina e dosado por colorimetria; K, Ca e Mg pelo método espectrofotométrico. Conhecendo-se as concentrações dos nutrientes e a densidade do solo, foram estimados os estoques de nutrientes contidos no solo, entre 0-20 cm de profundidade (em kg/ha), dos três tratamentos estudados.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e à comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SAS-System for Windows release 6.11 (SAS, 1996).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como se verifica na Figura 1, a maior deposição de serapilheira ocorreu de novembro a março, o período mais quente e chuvoso do ano. Durante estes cinco meses, nos tratamentos T0, T1 e T2, ocorreu, respectivamente, a queda de 60%, 67% e 69% de toda a serapilheira produzida no ano de estudo. O período de menor deposição de serapilheira ocorreu na época fria e seca, de maio a julho, independente do tratamento.

A maior deposição de serapilheira, na época quente e úmida, também foi observada por Carpanezzi (1980), em plantações de *E. saligna* com 5 anos; Poggiani (1985), em plantios de *E. saligna* aos 7 e 10 anos de idade; Schumacher (1992), para *E. grandis* com 7 anos, situado no interior de SP e também por Turner e Lambert (1983), em plantios de *E. grandis* com 27 anos, na Austrália.

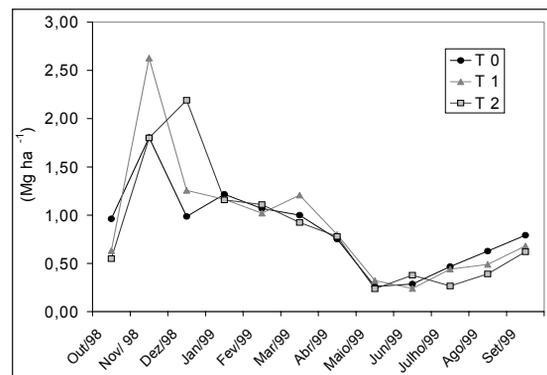
De acordo com Street e Öpik (1974), durante a fase de desenvolvimento, quando os diferentes órgãos entram em competição por nutrientes, o crescimento de um órgão pode

resultar na senescência e morte de um outro, em função da translocação de compostos orgânicos e nutrientes das folhas adultas para as folhas em fase de crescimento. Segundo Poggiani (1985) e Schumacher (1992) nas plantações de eucaliptos localizados no Estado de São Paulo, isto ocorreria justamente durante a primavera e o verão, quando geralmente se observa maior deposição de serapilheira e principalmente de folhas.

**Figura 1**

Produção mensal de serapilheira nas parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* submetidas a diferentes intensidades de desbastes nos tratamentos: T0 = 0%; T1 = 67% e T2 = 83%.

(Litter-fall in the stands of *Eucalyptus grandis* under different thinning intensity: T0 = 0%; T1 = 67% and T2 = 83%)



Nota-se neste experimento, apesar de algumas diferenças mensais, a deposição anual de serapilheira foi semelhante entre os tratamentos, sendo de 10,2; 10,9 e 10,4 t/ha/ano, respectivamente em T0; T1 e T2. Estes resultados aproximam-se dos encontrados na Austrália por Turner e Lambert (1983) referentes à serapilheira produzida por um talhão de *E. saligna* adulto (10,0 t/ha/ano) e outro de *E. grandis* aos 27 anos (9,6 t/ha/ano).

As concentrações dos nutrientes na serapilheira coletada mensalmente foram, em geral, semelhantes nos três tratamentos estudados (Tabela 2).

**Tabela 2**

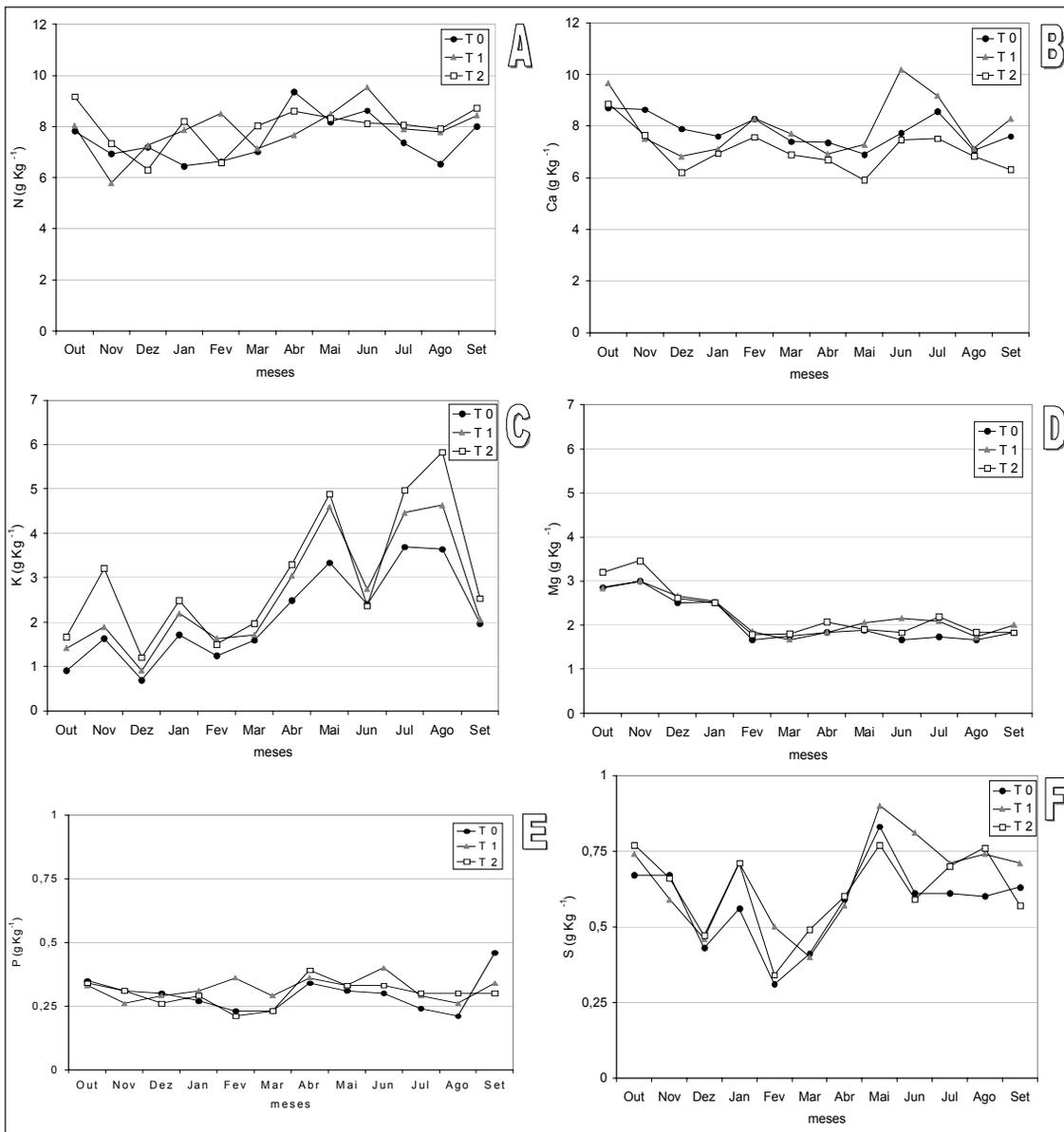
Concentração dos nutrientes (g.kg<sup>-1</sup>) na serapilheira produzida nos povoamentos de *Eucalyptus grandis* submetidos a diferentes intensidades de desbaste, no período de outubro de 1998 a setembro de 1999.

(Nutrient concentration (g Kg<sup>-1</sup>) in litterfall of *Eucalyptus grandis* stands under different thinning intensities, from October (1998) to September (1999))

Mês	Trat.	N	P	K	Ca	Mg	S
Out.	T 0	7,83 b	0,35 a	0,90 c	8,70 a	2,86 b	0,67 a
	T 1	8,03 ab	0,33 a	1,41 b	9,66 a	2,84 b	0,74 a
	T 2	9,17 a	0,34 a	1,67 a	8,86 a	3,20 a	0,77 a
Nov.	T 0	6,93 a	0,31 a	1,63 b	8,64 a	3,00 b	0,67 a
	T 1	5,80 a	0,26 a	1,89 b	7,51 a	3,00 b	0,59 a
	T 2	7,34 a	0,31 a	3,21 a	7,64 a	3,46 a	0,66 a
Dez	T 0	7,20 a	0,30 a	0,69 b	7,89 a	2,51 a	0,43 a
	T 1	7,26 a	0,29 a	0,90 ab	6,81 a	2,66 a	0,46 a
	T 2	6,31 a	0,26 a	1,20 a	6,20 a	2,61 a	0,47 a
Jan.	T 0	6,46 a	0,27 a	1,71 a	7,60 a	2,52 a	0,56 b
	T 1	7,86 a	0,31 a	2,19 a	7,11 a	2,54 a	0,71 a
	T 2	8,21 a	0,29 a	2,49 a	6,94 a	2,51 a	0,71 a
Fev.	T 0	6,64 b	0,23 b	1,24 b	8,27 a	1,67 a	0,31 a
	T 1	8,50 a	0,36 a	1,63 a	8,29 a	1,86 a	0,50 a
	T 2	6,59 b	0,21 b	1,50 a	7,57 a	1,79 a	0,34 a
Mar	T 0	7,01 a	0,23 a	1,59 b	7,40 a	1,76 a	0,41 a
	T 1	7,14 a	0,29 a	1,71 ab	7,70 a	1,67 a	0,40 a
	T 2	8,03 a	0,23 a	1,97 a	6,89 a	1,81 a	0,49 a
Abr.	T 0	9,36 a	0,34 a	2,49 b	7,36 a	1,84 a	0,59 a
	T 1	7,67 a	0,36 a	3,04 ab	6,91 a	1,84 a	0,57 a
	T 2	8,60 a	0,39 a	3,30 a	6,69 a	2,07 a	0,60 a
Maio	0 %	8,19 a	0,31 a	3,34 a	6,90 a	1,89 a	0,83 a
	T 1	8,49 a	0,33 a	4,59 a	7,27 a	2,06 a	0,90 a
	T 2	8,33 a	0,33 a	4,89 a	5,91 a	1,91 a	0,77 a
Jun.	T 0	8,63 a	0,30 a	2,40 a	7,73 b	1,67 b	0,61 a
	T 1	9,53 a	0,40 a	2,74 a	10,20 a	2,16 a	0,81 a
	T 2	8,13 a	0,33 a	2,36 a	7,46 b	1,83 ab	0,59 a
Jul.	T 0	7,36 a	0,24 a	3,69 b	8,56 ab	1,74 b	0,61 a
	T 1	7,91 a	0,29 a	4,46 a	9,17 a	2,09 a	0,71 a
	T 2	8,07 a	0,30 a	4,97 a	7,51 b	2,19 a	0,70 a
Ago.	T 0	6,54 b	0,21 b	3,64 c	7,06 a	1,67 a	0,60 a
	T 1	7,79 a	0,26 ab	4,63 b	7,14 a	1,73 a	0,74 a
	T 2	7,91 a	0,30 a	5,83 a	6,83 a	1,84 a	0,76 a
Set.	T 0	8,01 a	0,46 a	1,97 a	7,60 ab	1,83 a	0,63 a
	T 1	8,44 a	0,34 ab	2,06 a	8,27 a	2,01 a	0,71 a
	T 2	8,73 a	0,30 b	2,53 a	6,31 b	1,83 a	0,57 a

Nos meses em que foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, em geral, os povoamentos desbastados (T1 e T2)

apresentaram as maiores concentrações de nutrientes na serapilheira em relação à testemunha (T0).



Por ser um nutriente muito móvel nas plantas, o K foi o que apresentou a maior variação em sua concentração na serapilheira ao longo

do ano. Foram registradas diferenças estatísticas em 8 dos 12 meses estudados. As concentrações de K foram superiores no período seco

de inverno. Isto poderia ser explicado por ser esta uma época de crescimento lento dos eucaliptos, na qual haveria uma redução no processo de translocação interna deste elemento das folhas caducas para as mais novas. Por outro lado, no período quente e chuvoso, observa-se um crescimento mais acentuado, que acarretaria uma maior necessidade de K nas folhas fisiologicamente ativas. Este elemento, portanto, seria rapidamente translocado das folhas caducas, antes de sua derrubada, para as folhas novas.

A variação do K na serapilheira também demonstrou uma certa relação com a intensidade dos desbastes. Em geral, na serapilheira da testemunha (T0) foram observados as menores concentrações de K, e no T2, as maiores.

Na Tabela 3, encontram-se os valores anuais de deposição de serapilheira, com as respectivas quantidades de nutrientes e também alguns dados comparando os resultados desta pesquisa com outros trabalhos. Observa-se que a transferência anual de nutrientes ao solo ocorreu na ordem: Ca>N>Mg>K>S>P, em todos os tratamentos, e que os eucaliptos dos tratamentos com desbastes transferiram ao solo

maiores quantidades de N, P e S, em relação a testemunha.

Nota-se também que as transferências de K e Mg ao solo, via serapilheira, foram diretamente proporcionais à intensidade dos desbastes, sendo consideravelmente maiores no T2.

A quantidade média de serapilheira acumulada sobre o solo, considerando as diferentes épocas de coleta, nos tratamentos T0, T1 e T2 foi de 18,1; 13,4 e 14,8 ton/ha, respectivamente. Diversos fatores podem influenciar o acúmulo de serapilheira no sub-bosque. Fonseca et al. (1993), por exemplo, encontraram um menor acúmulo de serapilheira num povoamento de *E. citriodora*, quando comparado com *E. paniculata*. Estes autores atribuíram o resultado à menor densidade arbórea e à menor produção por unidade de área da primeira espécie. Observa-se neste trabalho que o T0, com maior densidade arbórea, também apresentou o maior acúmulo de serapilheira.

Na Tabela 4 encontram-se os teores dos nutrientes analisados na serapilheira acumulada referente às coletas de verão e inverno, bem como os teores médios anuais.

**Tabela 3**

Deposição anual de serapilheira (t.ha<sup>-1</sup>) e respectivos nutrientes (kg.ha<sup>-1</sup>) nos povoamentos experimentais de *Eucalyptus grandis*, de outubro de 1998 a setembro de 1999, e comparação dos resultados com outras plantações de eucaliptos. (Annual litter-fall (ton ha<sup>-1</sup>) with nutrients (kg.ha<sup>-1</sup>), from October (1998) to September (1999), in the experimental stands, and compared with other *Eucalyptus* plantations)

Tratamento	Serapilheira (t.ha <sup>-1</sup> )	Kg.ha <sup>-1</sup>						Ref.
		N	P	K	Ca	Mg	S	
T 0	10,22	73,37	2,94	18,02	78,93	22,24	5,89	1
T 1	10,87	78,08	3,24	23,84	82,52	25,94	7,10	1
T 2	10,39	76,22	3,23	27,36	77,63	27,54	6,43	1
	9,60	66,66	2,71	14,94	64,16	18,68	-	2
	3-11	22-63	2-4	4-20	18-160	1-5	-	3

1. Este trabalho com *Eucalyptus grandis* aos 20 anos, manejado pelo sistema CCT.

2. Turner e Lambert (1983) com *E. grandis*, aos 27 anos.

3. Negi et al. (1988) com *E. acmenoides*, *E. eugenoides*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, *E. propinqua* (74 a 75 anos de idade).

**Tabela 4**

Concentração de nutrientes na serapilheira acumulada sobre o solo dos povoamentos experimentais com diferentes intensidades de desbaste.

(Nutrients concentrations in the litter accumulated on the floor of forest stands with different thinning intensities)

Elementos	Tratamentos	Concentração dos macronutrientes (g. Kg <sup>-1</sup> )		
		Verão	Inverno	Média Anual
N	T 0	6,4 c	6,9 a	6,7 a
	T 1	8,0 a	7,1 a	7,6 a
	T 2	7,1 b	7,2 a	7,2 a
P	T 0	0,2 b	0,3 a	0,3 b
	T 1	0,4 a	0,4 a	0,4 a
	T 2	0,4 a	0,3 a	0,4 a
K	T 0	0,7 a	0,6 a	0,7 a
	T 1	0,7 a	0,6 a	0,7 a
	T 2	0,7 a	0,7 a	0,7 a
Ca	T 0	6,1 b	4,9 a	5,5 a
	T 1	7,4 a	5,3 a	6,4 a
	T 2	6,1 b	4,8 a	5,5 a
Mg	T 0	1,1 b	2,4 b	1,8 a
	T 1	1,5 a	2,9 a	2,2 a
	T 2	1,6 a	2,6 ab	2,1 a
S	T 0	0,5 a	0,5 a	0,5 a
	T 1	0,7 a	0,5 a	0,6 a
	T 2	0,6 a	0,4 a	0,5 a

(Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade)

Observou-se uma tendência de maiores concentrações nos tratamentos com desbaste, principalmente no T1. Entretanto, considerando-se os valores médios anuais, como houve diferença estatística entre os tratamentos apenas para o fósforo, foi evidenciada diferença estatística entre os tratamentos.

Na Tabela 5 são apresentados os estoques de nutrientes na serapilheira acumulada, correspondente aos períodos de verão e inverno, bem com os estoques médios.

Considerando-se os valores médios anuais, não houve diferença estatística entre os tratamentos, no estoque de P e Mg. Os estoques dos demais nutrientes avaliados foram superiores na testemunha (T0), devido à maior quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo e, provavelmente, também à decomposição

mais lenta, que favoreceu a imobilização de nutrientes.

Evidenciando este fato, são apresentados na Tabela 6, para os três tratamentos, os valores da taxa de decomposição (K), o tempo médio de renovação da serapilheira acumulada (1/K) e os tempos necessários para a decomposição de 50% e 95% da serapilheira.

De acordo com Pagano (1989), altos valores para a constante K sugerem um rápido reaproveitamento de nutrientes por parte da vegetação. De acordo com Vesterdal et al. (1995), os desbastes modificam o microclima florestal, reduzindo a transpiração do povoamento, aumentando a incidência da radiação solar dentro da floresta e temperatura do solo, o que favorece os microorganismos decompositores. Eles sugerem, também, que a

**Tabela 5**

Estoque de nutrientes na serapilheira acumulada sobre o solo dos três povoamentos experimentais.  
(Pools of nutrients in litter accumulated on the forest floor of the three experimental stands)

Nutrientes	Tratamentos	Mineralomassa na serapilheira acumulada (Kg. ha <sup>-1</sup> )		
		Verão	Inverno	Média Anual
N	T 0	134,34 a	108,02 a	121,49 a
	T 1	127,12 a	76,99 b	102,06 b
	T 2	117,87 a	96,39 ab	106,80 b
P	T 0	5,07 a	5,45 a	5,44 a
	T 1	5,85 a	3,95 a	5,37 a
	T 2	6,34 a	4,78 a	5,93 a
K	T 0	14,12 a	9,39 a	12,69 a
	T 1	11,59 a	6,93 a	9,40 b
	T 2	11,22 a	9,60 a	10,38 ab
Ca	T 0	125,93 a	76,03 a	99,73 a
	T 1	117,32 a	57,87 a	85,95 b
	T 2	101,08 a	64,23 a	81,58 b
Mg	T 0	23,34 a	36,95 a	32,64 a
	T 1	24,16 a	31,29 a	29,54 a
	T 2	25,58 a	33,68 a	31,15 a
S	T 0	10,48 a	8,44 a	9,07 a
	T 1	11,06 a	5,06 b	8,06 ab
	T 2	9,93 a	5,92 ab	7,42 b

(Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade)

redução na competição entre as árvores remanescentes aumentaria a disponibilidade de nutrientes por planta, possibilitando a regeneração das espécies do sub-bosque, dando origem a uma serapilheira mais diversificada, mais rica em nutrientes e mais facilmente decomponível.

Neste estudo, os povoamentos com desbaste e, principalmente o T1, apresentaram taxas mais elevadas de decomposição em relação ao T0, necessitando de um tempo menor para renovar a serapilheira acumulada no sub-bosque.

O tempo médio de renovação da serapilheira (1/K) para o T1 foi de 1,25 anos, muito semelhante ao encontrado por Turner e Lambert (1983) para um povoamento de eucaliptos da mesma espécie com 27 anos. Poggiani (1985) encontrou, para um

povoamento de *E. saligna* entre 7 anos e 10 anos de idade, um tempo de renovação do folheto correspondente a 1,78 anos e estimou os tempos necessários para a decomposição de 50% e 95% do folheto correspondente a 1,2 e 5,3 anos, respectivamente, muito semelhantes aos encontrados no T0.

**Tabela 6**

Taxas de decomposição (K), tempo médio de renovação da serapilheira (1/K) e tempos necessários para a decomposição de 50% (T 0,5) e 95% (T 0,05) da serapilheira.

(Decomposition rates (K), time to litter renew (1/K), and time necessary for decomposition 50% (T 0,5) and 95% (T 0,05) of the litter)

Tratamento	K (anos)	1/K (anos)	T 0,5 (anos)	T 0,05 (anos)
T0	0,56	1,77	1,24	5,36
T1	0,81	1,24	0,86	3,70
T2	0,70	1,43	0,99	4,29

Na Tabela 7 são apresentados, além da densidade do solo, os estoques dos nutrientes contidos na camada de solo de 0 a 20 cm de profundidade nas diversas áreas do experimento. Com exceção do N-total, os demais nutrientes representam o reservatório imediatamente disponível.

Observa-se que o solo das áreas de estudo é extremamente pobre, o que demonstra uma dependência muito grande da entrada de nutrientes para a manutenção de sua fertilidade através da adubação ou pela deposição atmosférica, bem como a importância dos processos de reciclagem biogeoquímica para a conservação dos nutrientes minerais no sítio. Segundo Gonçalves et al. (2000), em povoamentos adultos de *E. grandis*, após o fechamento das copas, grande parte da demanda anual de nutrientes é atendida através da ciclagem biogeoquímica de nutrientes.

Conforme a Tabela 7, os estoques de macronutrientes no solo seguem, de um modo geral, a seqüência  $Ca > N > Mg > K > P$  e apenas no tratamento testemunha o estoque de N-total é superior ao de Ca.

Deve ser assinalado que as coletas de solo para a análise foram realizadas no período de inverno, época esta de decomposição e mineralização mais lentas. Isto deve acarretar uma certa redução na velocidade de transferência dos nutrientes da serapilheira para a camada superficial do solo.

Um exemplo disso é que o N-total estocado entre 0 e 20 cm de profundidade é extremamente

baixo. Considerando-se que a taxa de mineralização do N-total é pequena, conclui-se que a disponibilidade de N deve ser muito baixa. Keeney (1980) cita que de 0,2 a 3,5% do N-total é disponibilizado anualmente em solos florestais, dependendo do clima e da atividade de microorganismos.

Comparativamente, Poggiani (1985) estimou um estoque de 1417 Kg/ha de N-total nos primeiros 20 cm de solo sob plantio de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em Agudos, SP. Entretanto, Vieira (1998), na Estação Experimental de Itatinga, SP, num Latossolo Vermelho-amarelo, também encontrou estoques muito baixos de N-total nos primeiros 60 cm de profundidade, sendo: 265 Kg/ha sob a vegetação natural de um fragmento de cerrado remanescente, rico em espécies leguminosas; 197,5 Kg/ha num povoamento jovem de *E. grandis* adubado na implantação, e apenas 24,5 Kg/ha num povoamento antigo de *E. saligna* nunca adubado e sucessivamente explorado por talhadia ao longo de quase 50 anos.

Ainda na Tabela 7, verifica-se que o Ca é o elemento que apresenta no solo os estoques mais elevados nos tratamentos com desbaste (T1 e T2). Os valores são semelhantes aos encontrados em plantações de eucaliptos por Fonseca et al. (1993), variando de 75 a 300 Kg/ha de Ca disponível na camada de 0 a 30 cm. Vieira (1998) estimou uma quantidade de 250,5 Kg/ha de Ca no mesmo plantio de *E. saligna* com 50 anos, citado anteriormente.

**Tabela 7**

Densidade e estoques de nutrientes do solo ( $Kg\ ha^{-1}$ ) na camada de 0-20 cm de profundidade (N-total, P disponível, K, Ca e Mg trocáveis).

(Nutrient soil contents ( $Kg\ ha^{-1}$ ) in 0-20 cm of the soil depth (N-total, P available, K, Ca and Mg exchange).

Tratamento	Densidade do solo g $cm^{-3}$	N total	P	K	Ca	Mg
T 0	1,3	150,0 a	14,1 a	19,6 b	118,9 b	40,1 b
T 1	1,5	142,0 ab	16,3 a	31,1 a	252,9 a	77,1 a
T 2	1,5	119,3 b	14,4 a	27,8 ab	210,0 a	51,4 b

(Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade)

Observa-se, portanto, que os nutrientes mais limitantes no solo são o P e o K. Todavia, as quantidades de P encontradas nos primeiros 20 cm de solo dos três tratamentos (Tabela 7) foram superiores às encontradas, na mesma classe de solo, por Poggiani (1985), em plantios de *Pinus* (0 a 20 cm) e por Fonseca et al. (1993) e Vieira (1998), em talhões de *Eucalyptus* (0 a 30 cm).

De acordo com Attiwill (1980), o eucalipto, quando manejado em rotações longas, torna-se mais eficiente na conservação dos nutrientes e, principalmente, do fósforo no sistema planta-solo. Isto ocorre em virtude de sua intensa capacidade de reciclagem bioquímica e biogeoquímica.

Nota-se, ainda na Tabela 7, que os estoques de nutrientes contidos nos primeiros 20 cm do solo dentro do T1 são superiores aos existentes no solo dos demais tratamentos, enquanto os menores valores são observados no T0.

Um aspecto importante da ciclagem de nutrientes em florestas refere-se à quantidade de nutrientes que podem ser retidos na serapilheira acumulada, principalmente em locais onde a decomposição é mais lenta. Poggiani (1985) assinala que quando o estoque de nutrientes do solo se apresenta em níveis muito baixos, mas permanece elevado na serapilheira, podem ocorrer carências nutricionais, acompanhadas por declínio da produtividade.

Na Tabela 8 é apresentada, de forma comparativa, a relação entre o conteúdo de nutrientes disponíveis no solo e os nutrientes estocados na serapilheira. Um valor baixo da relação solo/serapilheira significa uma maior retenção de nutrientes na serapilheira, ou seja, uma menor taxa de mineralização e conseqüente transferência.

Verifica-se ainda, na Tabela 8, que o T1 apresenta os maiores valores para todos os nutrientes, enquanto que o T0 apresenta os menores valores para K, Ca e Mg. Isto evidencia

que no T0, devido à decomposição mais lenta da serapilheira, está ocorrendo a imobilização dos nutrientes (especialmente de K, Ca e Mg). Isto estaria também sendo refletido no menor estoque de nutrientes do solo (exceto para o N).

**Tabela 8**

Relação entre o conteúdo de nutrientes do solo entre 0 e 20 cm de profundidade e nutrientes estocados na serapilheira acumulada.

(Nutrient soil content (0-20 cm depth)/Nutrient litter content ratio)

Tratamento	Elementos				
	N	P	K	Ca	Mg
T0	1,23	2,59	1,54	1,19	1,23
T1	1,39	3,04	3,31	2,94	2,61
T2	1,12	2,43	2,68	2,57	1,65

Por outro lado, no T1, apesar da maior adição de nutrientes via deposição de serapilheira, foi estimado um menor estoque de nutrientes na serapilheira acumulada, se comparado com o T0. Isto pode ser atribuído, provavelmente à maior taxa de decomposição da serapilheira e à rápida ciclagem biogeo-química, que disponibiliza os nutrientes para a camada superficial do solo. Como resultado, o solo do T1 encontra-se com maior estoque de P, K, Ca e Mg, o que beneficia a produtividade florestal.

Para interpretar o impacto dos desbastes progressivos sobre o balanço de nutrientes no sítio, foram utilizados alguns dados silviculturais fornecidos pela empresa Eucatex, responsável pela área experimental desde o início dos ensaios em 1978. Com estes dados, por exemplo, chegou-se a uma estimativa de que a quantidade acumulada de madeira retirada através dos sucessivos desbastes praticados no tratamento T2 foi de aproximadamente 111 t/ha, incluindo a colheita de madeira e casca. Desta forma, a exportação de nutrientes da parcela experimental deste tratamento poderia ser estimada em: 117 Kg de N, 3,3 Kg de P, 140 Kg de K, 267 Kg de Ca e 17 Kg de Mg por

hectare. Estes valores são semelhantes aos encontrados por Silva (1983), para um povoamento de *E. grandis* aos 10 anos de idade, plantado sobre solo arenoso de baixa fertilidade, na região de Itirapina, SP. É interessante assinalar que, mesmo com a elevada exportação de nutrientes estimada para este tratamento (T2) devido aos desbastes, restam no sistema (solo + serapilheira) desse povoamento, maiores estoques de P, K, Ca e Mg que no tratamento testemunha sem desbastes, conforme evidenciado na Tabela 7. Isto sugere que, no caso de rotações mais longas, a deposição atmosférica anual, embora pareça de pequena monta, permite, após um certo tempo, a reposição de nutrientes equivalente às perdas causadas pela colheita da madeira. Poggiani e Schumacher (1997), discutindo as implicações da colheita florestal sobre o balanço nutricional em plantações florestais, reuniram alguns dados com estimativas sobre o "input" anual de nutrientes nos agroecossistemas via precipitação atmosférica na região central do Estado de São Paulo. Considerando estes valores ao longo do tempo, como forma de adição de nutrientes às parcelas experimentais estudadas, pode-se inferir que no período de 13 anos, decorridos entre o final dos desbastes (aos 7 anos) e a idade de avaliação (aos 20 anos), o "input" acumulado de nutrientes teria sido de até: 95 Kg de N; 12 Kg de P; 127 Kg de K; 208 Kg de Ca e 68 Kg de Mg por hectare. Conclui-se portanto, que esta adição natural de nutrientes via deposição atmosférica poderia ser suficiente para minimizar, ou mesmo compensar as perdas decorrentes da colheita da madeira (sem casca).

Turner e Lambert (1983), na Austrália, também comprovaram a importância do uso de rotações mais longas na manutenção da capacidade produtiva de plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. A partir de suas obser-

vações, sugeriram que a exploração dos eucaliptos deveria ser evitada antes da floresta atingir 15 anos de idade, com a finalidade de se propiciar um maior equilíbrio no balanço nutricional através da reciclagem biológica.

Deve ser salientado também que, neste experimento, ao longo dos desbastes progressivos, cada árvore remanescente passou a dispor de um volume cada vez mais amplo de solo para expandir seu sistema radicular, permitindo, inclusive, uma rápida retomada do processo fisiológico de expansão das raízes finas com grande capacidade de capturar os nutrientes do solo. Sabe-se que a expansão do volume de raízes finas das árvores, além de trazer reflexos positivos na reabsorção dos nutrientes, contribui também na redução das perdas de nutrientes por lixiviação profunda, geralmente muito elevada em solos arenosos.

Segundo Vitousek e Reiners (1975), nesta fase da sucessão florestal (após o desbaste), há uma intensa retomada no incremento da biomassa arbórea e ocorre também um aumento na taxa de absorção dos nutrientes imediatamente disponíveis oriundos da deposição atmosférica, bem como da decomposição e mineralização dos resíduos florestais resultantes dos desbastes. Isto pode explicar porque são maiores os estoques dos elementos P, K, Ca e Mg encontrados no sistema (solo + serapilheira) dos tratamentos desbastados, conforme se observa na Tabela 7.

## CONCLUSÕES

✓ A transferência de nutrientes ao solo, através da deposição de serapilheira composta principalmente por folhas, foi maior nos povoamentos desbastados que na testemunha, embora sem diferença estatística;

✓ Em todos os tratamentos, a deposição de serapilheira foi maior no período quente e chuvoso que vai de novembro a março;

✓ Nos tratamentos com desbaste, a quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo, bem como os estoques de nutrientes nela contidos foram inferiores em relação à testemunha não desbastada;

✓ Nos tratamentos com desbaste (especialmente no T1) foi observada uma maior taxa de decomposição da serapilheira. A menor taxa de decomposição da serapilheira, observada no tratamento sem desbaste, implicou também numa maior imobilização de nutrientes na serapilheira acumulada sobre o solo (especialmente K, Ca e Mg);

✓ Entre 0 e 20 cm de profundidade, os solos dos tratamentos com desbaste (especialmente o T1) apresentaram maiores estoques de nutrientes em relação ao T0 (exceto para o N), devido à maior disponibilização dos nutrientes liberados pela decomposição da serapilheira;

✓ De maneira geral, os resultados deste estudo mostram que a aplicação do método de exploração florestal através de desbastes progressivos em povoamentos de eucaliptos, pode favorecer a reciclagem dos nutrientes introduzidos naturalmente do sítio via precipitação atmosférica, ou artificialmente pela adubação, conservando-os mais eficientemente no sistema (solo + serapilheira) e contribuindo para garantir a sustentabilidade do ecossistema.

## AUTORES E AGRADECIMENTOS

LUCIANA KOLM é Engenheira Florestal, Mestre em Ciências Florestais pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP).

FÁBIO POGGIANI é Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ / USP - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: fpoggian@esalq.usp.br

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa concedida e à Eucatex Florestal Ltda, do grupo Eucatex S.A pelo apoio financeiro e logístico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATTIWILL, P.M. Nutrient cycling in a *Eucalyptus obliqua* forest: 4 - nutrient uptake and nutrient return. **Australian journal of botany**, v.28, p.199-222, 1980.
- CARPANEZZI, A.A. **Deposição de material orgânico e nutrientes em uma floresta natural e em uma plantação de eucaliptos no interior do estado de São Paulo**. São Paulo, 1980. 115p. Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. cap.7, p.15-16.
- FONSECA, S; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; COSTA, L.M.; LEAL, P.G.L.; NEVES, J.C.L. Alterações em um latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem: 1- propriedades físicas e químicas. **Revista árvore**, v.17, n.3, p.271-288, 1993.
- GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G.; GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V., ed. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. cap.1, p.1-57.
- HILEY, W.E. **Conifers: South African methods of cultivation**. London: Faber and Faber, 1959. cap.7, p.83-123.
- KEENEY, D.R. Prediction of soil nitrogen availability in forest ecosystems: a literature review. **Forest science**, v.26, p.159-171, 1980.
- NEGI, J.D.S.; SHARMA, S.C.; BISHT, A.P.S. Forest floor and soil nutrient inventories in an old growth *Eucalyptus* plantations. **Indian forester**, v.114, n.8, p.453-461, 1988.
- PAGANO, S.N. Produção de folheto em em mata mesófila semidecídua no município de Rio Claro, SP. **Revista brasileira de biologia**, v.49, n.3, p.633-639, 1989.

- POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações de *Eucalyptus* e *Pinus*: implicações silviculturais**. Piracicaba, 1985. 229p. Tese (Livre-Docência). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Atmospheric inputs compared with nutrient removed by harvesting from *Eucalypts* plantation: implications for sustainability. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, Salvador, 1997. **Anais**. Colombo: EMBRAPA / CNPF, 1997. v.4, p. 68-74.
- POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V., ed. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. cap.10, p.287-308.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56p.
- SAS INSTITUTE CORPORATION. **The SAS-system for windows: release 6.11 (software)**. Cary: SAS, 1996.
- SCHUMACHER, M.V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell.** Piracicaba, 1992. 104p. Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- SHANKS, R.E.; OLSON, J.S. First-year breakdown of leaf litter in Southern Appalachian forests. **Science**, v.134, p.194-195, 1961.
- SILVA, H.D. **Biomassa e aspectos nutricionais de cinco espécies do gênero *Eucalyptus* plantadas em solo de baixa fertilidade**. Piracicaba, 1983. 92p. Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- STREET, H.E.; ÖPIK, H. **Fisiologia das angiospermas: crescimento e desenvolvimento**. São Paulo: EDUSP, 1974. 332p.
- TURNER, J.; LAMBERT, M.J. Nutrient cycling within a 27-years-old *Eucalyptus grandis* plantation in New South Wales. **Forest ecology and management**, v.6, n.2, p.155-168, 1983.
- VESTERDAL, L.; DALSGAARD, M.; FELBY, C.; RAULUND-RASMUSSEN, K.; JORGENSEN, B.B. Effects of thinning and soil properties on accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus in the forest floor of Norway spruce stands. **Forest ecology and management**, v.77, n.1/3, p.1-10, 1995.
- VIEIRA, S.A. **Efeito das plantações florestais (*Eucalyptus* sp.) sobre a dinâmica de nutrientes em região de cerrado do Estado de São Paulo**. Piracicaba, 1998. 73p. Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- VITOUSEK, P.M.; REINERS, W.A. Ecosystem succession and nutrient retention: a hypothesis. **BioScience**, v.25, n.6, p.376-381, 1975.