

Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais

Antonio Francisco Jurado Bellote⁽¹⁾, Renato Antonio Dedecek⁽¹⁾ e Helton Damin da Silva⁽¹⁾

⁽¹⁾ Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira Km 111, Caixa Postal 319, CEP 83411-000, Colombo-PR. E-mail: bellote@cnpf.embrapa.br, dedecek@cnpf.embrapa.br, helton@cnpf.embrapa.br

Resumo - Neste trabalho foi avaliado o efeito de diferentes manejos de resíduos florestais no estado nutricional das árvores, no conteúdo de nutrientes na serapilheira e a biomassa de serapilheira produzida pelo *Eucalyptus grandis*. Foram avaliados quatro sistemas diferentes de manejo de resíduo: (i) remoção de todo resíduo do sítio proveniente da colheita florestal e adubação NPK; (ii) manutenção no sítio de todos os resíduos da colheita florestal e adubação NPK; (iii) remoção do sítio de todo o resíduo da colheita com diâmetro superior a 3 cm e adubação NPK; (iv) remoção de todos os resíduos da colheita, adubação NPK e adição de 15 t.ha⁻¹ de resíduo celulósico + 4 t.ha⁻¹ de cinza de madeira (relação C:N igual a 25:1 e 30:1, respectivamente). Os resultados mostraram que a manutenção no sítio do resíduo da colheita florestal melhora o estado nutricional das árvores e aumenta a produtividade; a adição de resíduo celulósico permitiu aumento expressivo de produtividade; as altas concentrações de Ca no resíduo celulósico devem ser corrigidas com aplicações de K e Mg para evitar desequilíbrio nutricional nas árvores; para todos os tratamentos, as quantidades de K acrescentadas não foram suficientes para manter as árvores adequadamente nutridas com este nutriente.

Termos para indexação: Produtividade, papel e celulose, cinza de biomassa, resíduos industriais.

Mineral nutrients, biomass and litter deposition on *Eucalyptus* plantation under different residue management

Abstract - It was evaluated the effect of different residue management systems in the plant nutrition status, nutrient contents in the litter and litter biomass yield, on *Eucalyptus grandis* plantation. Samples were taken on four residue management systems: (i) removal of all residues from previous harvesting and NPK fertilization; (ii) maintenance of all residues on soil surface and NPK fertilization; (iii) removal all at bark and commercial-size crop stems over 3 cm diameter and NPK fertilization; (iv) removal of all residues from previous harvesting, NPK fertilization and addition of industrial waste (15 t.ha⁻¹ of pulp and paper sludge, C:N ratio 25:1 and 4 t.ha⁻¹ of wood ash, C:N ratio 30:1). Results showed that the maintenance of the forest residues on site improved the nutritional status of trees and increased productivity. Addition of industrial waste allowed expressive increase of *Eucalyptus* sp growth. Possible excesses of Ca from the industrial waste used should be corrected, to avoid nutritional unbalance in the trees; independent of the treatment used, the amounts of K added to the soil are not enough to maintain appropriate tree nutritional status. Greater amounts of K should be added to correct soil nutritional deficiencies on this element.

Index terms: Productivity, pulp and paper sludge, wood ash, industrial residues.

Introdução

A sustentabilidade produtiva dos sítios florestais apresenta-se como um dos desafios da silvicultura. A rápida taxa de crescimento das florestas plantadas, no Brasil, impõe elevada demanda sobre os recursos do solo, em especial água e nutrientes. De todas as práticas silviculturais utilizadas, a exploração florestal é a operação mais agressiva em termos de prejuízos ao sítio.

O problema é agravado pelas rotações curtas (PEREIRA, 1990) e pela exportação de nutrientes minerais na madeira colhida e nem sempre repostos nas quantidades retiradas do solo (BELLOTE et al., 2001).

Vários fatores relacionados ao solo, ao clima e ao manejo interferem no desenvolvimento das florestas plantadas. Quando fixamos esses fatores e alteramos o manejo e oferta de nutrientes às plantas, podem ocorrer variações acentuadas no crescimento e na produtividade

dessas florestas. Neste caso, podemos afirmar que os nutrientes minerais interferem direta ou indiretamente no desenvolvimento das árvores.

A exportação de nutrientes pela colheita é um dos fatores a ser considerado quando há preocupação com a manutenção da produtividade dos sítios, principalmente em solos de baixa fertilidade. As explorações intensivas em rotações curtas, sem previsão de um período mínimo necessário para reposição de nutrientes, têm sido apontadas como as maiores responsáveis pelo esgotamento do solo. A quantidade de nutrientes nas folhas, nos ramos e na casca do *Eucalyptus* é bastante expressiva. O resíduo da exploração, quando mantido no campo, diminui o impacto da exportação (SILVA, 1996; BELLOTE et al., 2001; FERREIRA et al., 2001).

A serapilheira depositada ao solo durante o ciclo da floresta é outro fator importante a ser considerado na manutenção da produtividade do sítio. Na serapilheira depositada na superfície do solo são acumuladas quantidades significativas de nutrientes, que após a sua decomposição, retornam ao solo e são absorvidos novamente pelas árvores. A quantidade de nutrientes disponibilizados é função da velocidade de decomposição dos resíduos, que por sua vez depende, dentre outros fatores, da composição da serapilheira, da quantidade de água da chuva, da temperatura e da qualidade do sítio (FERREIRA, 1993; REISSMANN; WISNIEWSKI, 2000).

A identificação dos processos de ciclagem e a quantificação das entradas e saídas de nutrientes são relevantes para subsidiar decisões sobre alternativas de manejo e de aplicação de fertilizantes (KIMMINS, 1987). Os nutrientes envolvidos nos processos de ciclagem, quer sejam eles bioquímicos ou biogeoquímicos, suprem grande parte das necessidades das árvores. Entretanto, para que os processos ocorram em níveis ótimos de produtividade, é necessário que previamente quantidades adequadas de nutrientes tenham sido acumuladas nos diversos compartimentos das árvores, caso contrário, a ciclagem é processada a expensas de um menor crescimento.

A quantidade de serapilheira depositada tem estreita correlação positiva com a biomassa produzida pelos povoamentos florestais. A decomposição da serapilheira é mais rápida nos sítios mais produtivos, e como consequência, a camada acumulada em sítios pouco produtivos é significativamente mais espessa do que em sítios comparativamente mais produtivos (REISSMANN;

WISNIEWSKI, 2000). Assim, maior produtividade depende também da quantidade e velocidade de decomposição do material vegetal depositado ao solo.

A serapilheira exerce importantes efeitos benéficos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (STEVENSON, 1982; HARRISON; HARKNESS, 1993; JOHNSON, 1993; QUADROS, 1996), contribuindo substancialmente para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Além disso, constitui uma fonte de energia para os organismos que participam da ciclagem biogeoquímica (KIEHL, 1985).

Este trabalho teve como objetivo estudar, em plantios de *Eucalyptus grandis*, em Mogi Guaçu, Estado de São Paulo, o efeito de diferentes sistemas de manejo de resíduo da exploração florestal, da aplicação de lodo celulósico, cinza de caldeira e fertilizantes minerais no estado nutricional das árvores, na quantidade de serapilheira e de nutrientes minerais depositada ao solo, durante a rotação.

Material e Métodos

Descrição experimental do sítio

O trabalho foi conduzido em uma área logo após a colheita de uma plantação comercial de *Eucalyptus grandis* com 12 anos de idade (BELLOTE et al., 2001), localizado no município de Mogi Guaçu, Estado de São Paulo (22° 08' S 48°05' W e 660 m acima do nível do mar). O clima é do tipo Cwa com precipitação média anual acima de 1.350 mm. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (EMBRAPA, 1999), (*Typic Haplorthox*), textura média e relevo plano.

Preparo do solo

A colheita do *Eucalyptus* foi realizada em julho de 1998, e o experimento implantado em setembro do mesmo ano, com a instalação de quatro tratamentos no espaçamento de 3 m x 3 m. Foi utilizado clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. O experimento foi instalado em blocos ao acaso, com 60 árvores por parcela e quatro repetições por tratamento. Para cada tratamento, o solo foi preparado utilizando-se subsolador de três hastas, somente na linha de plantio.

Os tratamentos foram:

TR₀: Remoção de toda a árvore incluindo casca e serapilheira, mantendo-se a matéria orgânica da superfície do solo. Adubação com N-P-K, 200 kg por hectare da fórmula 8-26-13.

TR₁: Remoção do sítio de todo o fuste produzido (diâmetro comercial acima de 6 cm). Os resíduos da colheita como casca, galhos, ponteira, folhas e serapilheira depositada foram distribuídos na parcela experimental. Adubação igual ao tratamento TR₀.

TR₂: Remoção do sítio conforme prática utilizada pela empresa (casca e tronco com diâmetro comercial acima de 3 cm). Adubação igual ao tratamento TR₀.

TR₀+R: Igual ao tratamento TR₀, e adição ao solo de resíduos da fábrica de celulose (15 t.ha⁻¹ de resíduo celulósico e 4 t.ha⁻¹ de cinza de caldeira).

Os fertilizantes minerais foram aplicados na linha de plantio. Os resíduos celulósicos e a cinza de caldeira foram distribuídos uniformemente na superfície do solo antes do plantio. As análises químicas destes resíduos são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características do resíduo industrial de papel e celulose e da cinza da madeira adicionadas ao solo.

Parâmetros analisados	Composição média	
	Cinza	Lodo celulósico
pH (CaCl ₂)	8,8	7,5
N (total) - %	0,15	0,34
P ₂ O ₅ (total) - %	0,26	0,09
K ₂ O (total) - %	0,54	0,07
Ca (total) - %	1,84	1,55
Mg (total) - %	0,16	0,09
C:N (razão)	30:1	25:1

Antes da colheita, foi avaliado o conteúdo de nutrientes minerais presentes no resíduo das árvores (casca, folhas, ramos e ponteira), mantidos na superfície do solo (BELLOTE et al., 2001). Também foi avaliado o conteúdo de nutrientes presentes no lodo celulósico e na cinza de caldeira. O total de nutrientes adicionado ao solo nos diferentes tratamentos é mostrado na Tabela 2.

Como mostra a Tabela 2, as quantidades totais de nutrientes aplicados ao solo, em equivalente fertilizante, foram bastante variadas. No tratamento TR₀, não foi adicionado Ca e Mg ao solo. O tratamento TR₀+R recebeu quantidade de Ca muito superior aos tratamentos

Tabela 2. Conteúdo de nutrientes dos diferentes materiais utilizados e quantidade total de nutrientes adicionados ao solo após o plantio, nos diferentes tratamentos.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg
kg.ha ⁻¹					
Resíduo das árvores					
TR₁	266	29	164	177	38
TR₂	208	31	124	77	23
Adubação					
TR₀	12	23	30	-	-
TR₁	12	23	30	-	-
TR₂	12	23	30	-	-
TR₀+R	12	23	30	-	-
Resíduo Industrial					
TR₀+R	58	24	32	306	20
Quantidade adicionada ao solo por tratamento					
TR₀	12	23	30	-	-
TR₁	278	52	194	177	38
TR₂	220	54	154	77	23
TR₀+R	70	47	62	306	20

TR₁ e TR₂. Por outro lado, o tratamento TR₀+R recebeu quantidades menores de N e K.

Amostragem e dados coletados

Para as avaliações de crescimento e produtividade foram medidas anualmente, de 1999 a 2003, a altura total e o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores úteis de cada parcela. Baseado nesses dados, foi calculado o volume real com casca para cada árvore individualizada, seguido do cálculo da média por tratamento utilizando-se a fórmula:

$$V(m^3 ha^{-1}) = 716,6758 \times DAP^2 \times Altura total$$

O cálculo do volume total produzido por hectare foi feito considerando o volume total produzido por cada parcela experimental através do somatório dos volumes individuais e extrapolados para uma população de 1.110 árvores por hectare.

Para avaliar o estado nutricional das árvores, em função dos diferentes tratamentos, foram coletadas a cada 60 dias, desde dezembro de 2000 até outubro de 2003, folhas maduras do terço médio da copa de acordo com metodologia proposta por Bellote e Silva (2000). Para cada tratamento, foram selecionadas 12 árvores e coletadas amostras foliares. Cada três árvores constituíram uma amostra composta por tratamento, perfazendo um total de quatro amostras compostas, por tratamento.

A partir de setembro de 2000, dois anos após o plantio, iniciou-se a coleta mensal de amostras de serapilheira depositada ao solo. Antes do início da coleta, foi quantificada a serapilheira depositada ao solo durante os dois anos iniciais do plantio. Foram distribuídos oito coletores de serapilheira por tratamento, medindo cada um deles 50 cm x 50 cm, sendo que quatro deles foram dispostos na linha de plantio e quatro nas entrelinhas. Mensalmente, todas as folhas acumuladas nas caixas coletoras foram recolhidas, determinado o peso seco e analisados os teores de N, P, K, Ca e Mg.

As análises dos nutrientes foram realizadas no Centro Nacional de Pesquisas de Florestas (*Embrapa Florestas*), Colombo, Paraná. O N total foi determinado após digestão com H₂SO₄ pelo método micro Kjeldahl. Após digestão nítrico perclórica, foi feita a determinação do P total, por colorimetria, do K, por fotometria de chamas, e do Ca e Mg, por absorção atômica.

Resultados e discussão

O menor crescimento em altura e DAP assim como em produtividade ocorreu no tratamento TR₀. Estatisticamente, as árvores do tratamento TR₀+R foram as que apresentaram maior produtividade, mostrando diferença significativa em relação aos demais tratamentos avaliados. Os resultados mostram maior efeito dos resíduos industriais (cinza de caldeira e lodo celulósico) sobre o crescimento das árvores do que os resíduos da exploração florestal (Tabela 3).

Tabela 3. Médias da altura total das árvores, do DAP e do volume de madeira produzidos pelos diferentes tratamentos, aos 4 anos de idade.

Tratamentos	Altura (m)	DAP (cm)	Volume (m ³ .ha ⁻¹)
TR ₀	22,9 b	12,1 c	237,7 c
TR ₁	24,0 ab	13,1 b	322,0 b
TR ₂	24,0 ab	13,0 b	295,5 b
TR ₀ +R	25,2 a	14,2 a	360,9 a

Médias com letras diferentes, na coluna, diferem pelo teste Tukey (p = 0,05).

Com relação às quantidades aplicadas de nutrientes, os dados obtidos não mostraram correlação com a produtividade. O tratamento TR₀+R, em relação aos tratamentos TR₁ e TR₂, recebeu quantidades menores de N, P, Mg e principalmente K, nutrientes estes citados como fundamentais para o crescimento e produção do *Eucalyptus* no Brasil (BELLOTE, 1990; QUADROS, 1996). A diferença entre a qualidade dos resíduos utilizados pode ser a explicação para esse fato.

Outra explicação refere-se à qualidade dos resíduos industriais. O resíduo celulósico é quase que totalmente decomposto (relação C:N próxima de 12:1) e tem ação imediata sobre as propriedades do solo. Esse resíduo interage de imediato com o solo (BELLOTE et al., 1995) e aumenta a taxa de decomposição da serapilheira (FERREIRA et al., 1995). A cinza apresenta os nutrientes na forma mineralizada e prontamente disponível para as plantas. Os resíduos da exploração, pelo fato de encontrarem-se ainda em fase de decomposição, necessitariam de um período maior no solo, até atingir um estágio adequado de decomposição para atuar como fornecedor de nutrientes para as árvores e condicionador do solo. O tratamento TR₀ confirma essa hipótese e mostra a importância da manutenção dos resíduos da exploração ou adição de resíduos vegetais em solos das regiões tropicais.

Avaliação Nutricional

A avaliação do estado nutricional é realizada para identificar possíveis deficiências minerais das árvores quando submetidas a diferentes condições de crescimento. A Figura 1 mostra a concentração de

nutrientes nas folhas das árvores, nos diferentes tratamentos.

Os teores de N nas folhas não mostraram correlação com as quantidades de N adicionadas ao solo e tampouco com a qualidade dos diferentes resíduos utilizados. Durante o período de avaliação, os teores variaram entre 16 a 20

mg.g⁻¹ MS. Esses resultados encontram-se acima dos valores estabelecidos como deficiente por Silveira et al. (1999). Uma possível explicação para a falta de correlação entre o N adicionado ao solo e o teor nas folhas pode ser a entrada de N pela contribuição da água da chuva, conforme descrito por Ferreira et al. (1995).

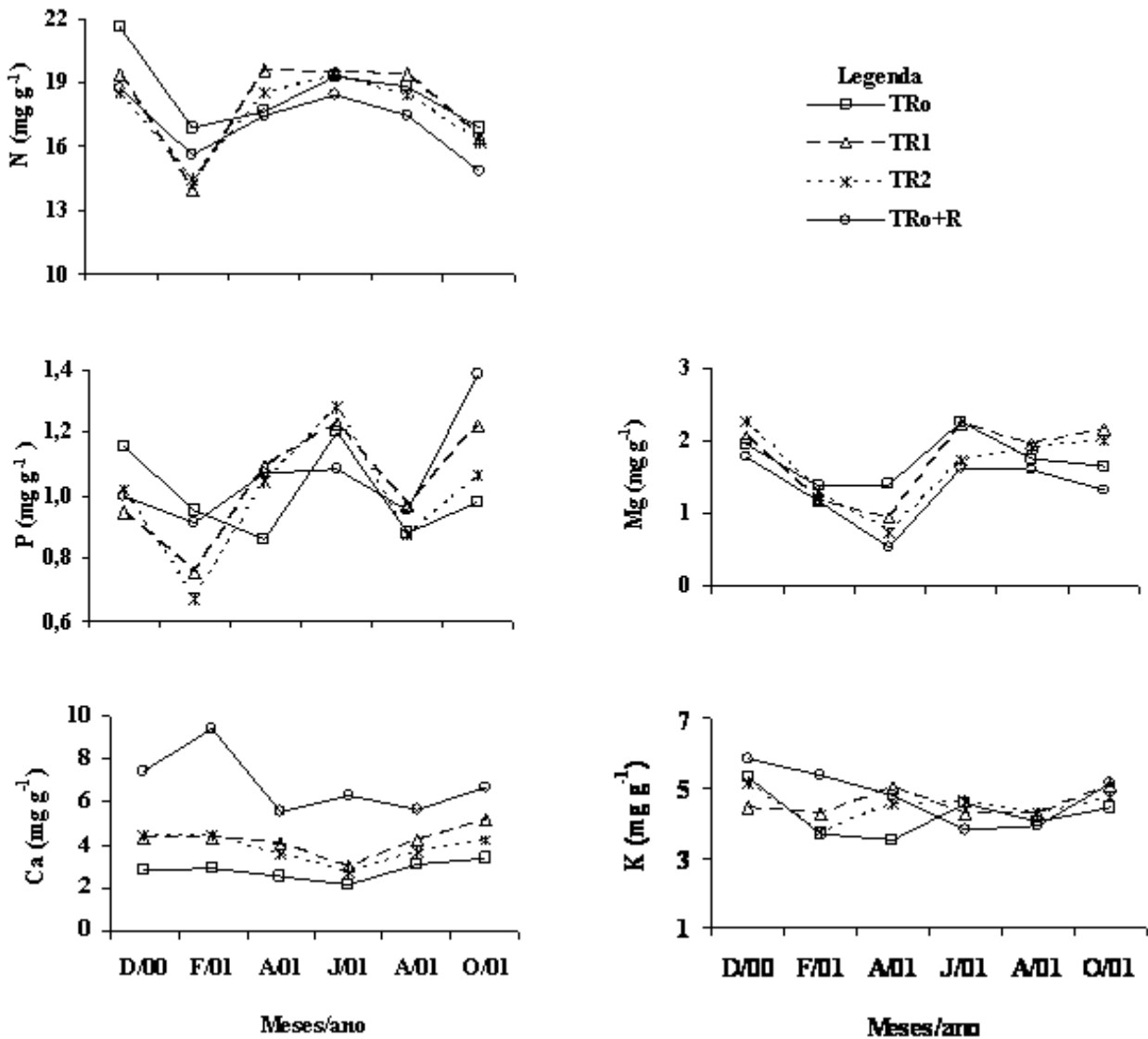


Figura 1. Variação mensal dos teores de nutrientes minerais presentes nas folhas de *Eucalyptus*, durante o período de dez/2000 a out/2001.

Situação semelhante ocorreu com o P, em que os teores variaram entre 0,9 a 1,3 mg. g⁻¹ MS, portanto, dentro da faixa considerada adequada por Bellote (1990) e Gonçalves (1995). Possivelmente, as quantidades existentes no solo associadas às adições de P foram suficientes para manter as plantas bem nutridas com esse nutriente, fato este que pode explicar a falta de correlação entre o P aplicado no solo e o teor nas folhas.

Os teores de Ca nas folhas do TR_O+R foi estatisticamente maior do que o observado nos demais tratamentos (Figura 1). Para o TR_O foram constatadas, estatisticamente, as menores concentrações. Entre os tratamentos TR₁ e TR₂ não foram observadas variações significativas (Figura 1). Estes resultados mostram uma estreita correlação com as quantidades de Ca adicionadas ao solo pelos resíduos (Tabela 2). Em relação ao estado nutricional das árvores, apenas as árvores do tratamento TR_O apresentaram teores abaixo do valor encontrado por Bellote (1990).

Normalmente, o Ca não é aplicado ao solo como fertilizante (FERREIRA, 1993). Pelos resultados obtidos, fica claro que os resíduos da colheita florestal são fonte importante deste nutriente e, portanto, devem ser mantidos no sítio. Na impossibilidade dessa prática, a adição de resíduos de celulose e/ou cinzas de caldeira tornam-se relevantes como fonte desse nutriente pela grande quantidade de Ca nesses materiais (MORO, 1994). Práticas florestais que não levam em consideração esses fatores podem conduzir o sítio, em poucas rotações, à perda da sua sustentabilidade produtiva. Embora o uso de resíduos de celulose e cinzas seja uma prática recomendada, a adição ao solo deve ser cuidadosa, uma vez que a grande quantidade de Ca nesses resíduos pode interferir na absorção de outros nutrientes.

Em todas as avaliações realizadas, os menores teores de Mg ocorreram no tratamento TR_O+R. Os tratamentos TR_O e TR₁ foram os que apresentaram significativamente as maiores concentrações foliares. Durante todos os meses de avaliação, exceto no mês de abril, os teores de Mg se apresentaram dentro da faixa nutricional adequada.

Estatisticamente, o Mg foliar manteve correlação positiva com o Mg adicionado ao solo, exceto quando foi aplicado resíduo de celulose e cinza. Provavelmente,

o excesso de Ca aplicado ao solo no TR_O+R pode ter inibido a absorção do Mg (MARSCHNER, 1995) através de inibição competitiva (EPSTEIN, 1975).

O teor de K nas folhas, em todos os tratamentos estudados, e em todas as épocas de amostragem, ficaram abaixo dos níveis considerados adequados por Bellote (1990) e Silveira et al. (1999). Os resultados obtidos tiveram uma variação bastante acentuada, não permitindo estabelecer correlação com os diferentes tratamentos utilizados. Além disso, os teores de K nas folhas não mantiveram correlação com o K adicionado ao solo. Provavelmente, a quantidade de K disponível no solo não foi suficiente para estabelecer uma nutrição adequada das árvores. Também, é possível que nos tratamentos TR₁ e TR_O+R, onde a quantidade de K adicionada ao solo foi maior (Tabela 2), tenha ocorrido uma inibição na absorção desse nutriente, pelo Ca, também por inibição competitiva.

Deposição de biomassa de serapilheira

A serapilheira é a principal fonte fornecedora da matéria orgânica para solo, sendo que a parte da planta que fornece as maiores porções da manta, que compõe esta serapilheira, são as folhas (MELO; RESCK, 2003; SELLE, 2007). Além disso, ela é importante para aumentar a matéria orgânica no solo e disponibilizar nutrientes para as árvores. Em solos de baixa fertilidade, como é o caso da área estudada, a quantidade de deposição e a velocidade de decomposição da serapilheira podem representar aumento de produtividade (FERREIRA et al., 1995). A Tabela 4 mostra a quantidade total de serapilheira depositada pelas árvores no sítio, nos diferentes tratamentos, aos 24 e 36 meses de idade das árvores.

Tabela 4. Biomassa total de serapilheira depositada no solo pelos plantios de *Eucalyptus grandis* aos 2 e 3 anos de idade.

Tratamentos	24 meses	36 meses
	kg.ha ⁻¹	
TR _O	4175 a	9241 ab
TR ₁	4362 a	10032 a
TR ₂	3444 a	7985 b
TR _O +R	4284 a	9953 ab

Médias com letras diferentes, na coluna, diferem pelo teste Tukey (p = 0,05).

Diferenças significativas foram observadas apenas aos 36 meses. A deposição da serapilheira nos diferentes tratamentos não mostrou correlação com o crescimento das árvores (Tabela 3). Com isso, é possível afirmar, ainda que parcialmente, que a deposição de serapilheira no solo não depende da quantidade de biomassa acumulada pelas árvores. Esses resultados diferem de Ferreira et al. (2001), que mostraram existir estreita e positiva correlação entre a quantidade de biomassa produzida pelas florestas plantadas e a serapilheira depositada ao solo.

Os resultados de deposição de serapilheira, no ano de 2001, mostram não haver diferenças significativas entre os tratamentos, exceto nos meses de janeiro e outubro (Tabela 5). Para os tratamentos TR₀, TR₁ e TR₀+R não foram observadas diferenças estatísticas, as quais só foram observadas entre o tratamento TR₂ com os tratamentos TR₁ e TR₀+R. Estes resultados mostram que a deposição de serapilheira de folhas não depende do crescimento das árvores.

Tabela 5. Deposição mensal de folhas de *Eucalyptus grandis*, durante o ano de 2001 (3 anos após o plantio), nos diferentes tratamentos utilizados.

Tratamentos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
	kg.ha ⁻¹ mês ⁻¹												kg.ha ⁻¹ ano ⁻¹
TR ₀	539 ab	510 a	483 a	219 a	585 a	188 a	497 a	516 a	332 a	340 ab	443 a	414 a	5066 ab
TR ₁	565 ab	678 a	619 a	316 a	707 a	156 a	499 a	660 a	379 a	243 b	414 a	436 a	5670 a
TR ₂	446 b	467 a	470 a	218 a	532 a	180 a	342 a	481 a	358 a	297 ab	364 a	385 a	4541 b
TR ₀ +R	728 a	590 a	501 a	277 a	530 a	225 a	574 a	584 a	386 a	368 a	481 a	428 a	5669 a

Médias com letras diferentes, na coluna, diferem pelo teste Tukey ($p = 0,05$).

Talvez mais importante do que a quantidade de serapilheira depositada ao solo seja a decomposição, realizada pelos organismos do solo. Segundo Reissmann e Wisniewski (2000), a decomposição da serapilheira é mais rápida nos sítios mais produtivos. Portanto, maiores produtividades dependem, além da velocidade de decomposição do material vegetal depositado ao solo, também da quantidade de nutrientes presentes na serapilheira depositada. Para isso, é necessário que as árvores apresentem estado nutricional adequado, caso contrário, a ciclagem poderá disponibilizar quantidades menores de nutrientes para as árvores.

Conteúdo de nutrientes na serapilheira

A Tabela 6 mostra o total de nutrientes minerais depositados ao solo pela serapilheira de *Eucalyptus*, até 3 anos de idade. Para o N e o P não foram observadas diferenças significativas, nas quantidades depositadas, entre os tratamentos estudados. Para o K, os tratamentos

e TR₀+R mostraram diferenças significativas quando comparados com os tratamentos TR₀ e TR₂.

Os resultados obtidos para o N e o P estão de acordo com os resultados de avaliação do estado nutricional das árvores, anteriormente discutidos.

Tabela 6. Total de nutrientes minerais depositados no solo pela serapilheira de *Eucalyptus grandis*, entre 2000 e 2003.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg
	kg.ha ⁻¹				
TR ₀	59 a	2,7 a	7,9 b	54 b	11,3 b
TR ₁	63 a	2,7 a	11,6 a	70 b	14,1 a
TR ₂	51 a	2,3 a	7,6 b	58 b	10,8 b
TR ₀ +R	56 a	2,8 a	12,1 a	115 a	9,7 b

Médias com letras diferentes, na coluna, diferem pelo teste Tukey ($p = 0,05$).

Com relação ao Ca, foi observada diferença significativa entre o tratamento TR_{O+R} com os demais tratamentos. Além disso, esse resultado também apresenta relação positiva com a quantidade aplicada ao solo e a avaliação do estado nutricional das árvores.

Se por um lado existe coerência entre a quantidade de Ca aplicada ao solo com a quantidade desse nutriente depositada pela serapilheira, o mesmo não ocorreu com Mg. Para esse nutriente, os dados mostram uma menor deposição no solo, justamente no tratamento TR_{O+R} . Outro fator interessante mostrado pelos dados, entre estes dois nutrientes, é a relação Ca:Mg. Enquanto os tratamentos TR_O , TR_1 e TR_2 apresentam valores aproximadamente de 5:1, o tratamento TR_{O+R} apresenta relação 12:1. Este comportamento observado pode ser devido à quantidade elevada de Ca aplicada ao solo. Esta situação leva à conclusão de que o Ca pode estar interferindo na absorção do Mg.

Também para o K, não foi observada relação entre a quantidade aplicada e a quantidade depositada. Conforme já discutido, a possível explicação para esses resultados pode ser o efeito negativo do Ca na absorção do K e a baixa concentração desse nutriente nas folhas (nível de deficiência nutricional) das árvores, de todos os tratamentos estudados.

Os resultados obtidos, para todos os nutrientes, deixam claro que a quantidade de nutrientes minerais depositados ao solo depende do estado nutricional das árvores. Entretanto, apenas a deposição ao solo não garante que esses nutrientes estarão disponíveis para as árvores. Para que isso ocorra, é necessário que a serapilheira seja decomposta pelos organismos do solo. Desta forma, é necessária a utilização de práticas silviculturais que favoreçam o desenvolvimento e a atuação desses organismos.

Deposição de nutrientes pela serapilheira dos 24 aos 36 meses de idade

A deposição mensal de nutrientes, realizada durante o ano de 2001, não mostrou qualquer relação com as diferentes condições climáticas. Isso indica que a falta ou o excesso de chuva, assim como variações de temperaturas, não interferiram na quantidade de nutrientes depositadas ao solo pela serapilheira. Estes dados diferem dos resultados obtidos por Kolm e Poggiani (2003).

Também aqui, para o N e o P, não foram observadas variações significativas entre os diferentes tratamentos, nos diferentes meses do ano (Figura 2). Mensalmente, foi depositado no solo, em média, 2,4 kg N.ha⁻¹. A menor deposição foi observada no mês de junho (1,0 kg N. ha⁻¹) e a maior no mês de fevereiro (3,5 kg N. ha⁻¹). Para o P, a deposição média anual foi de 126 g P. ha⁻¹, com menor deposição em junho (29 g P. ha⁻¹) e a maior em agosto (254 g P. ha⁻¹). Em valores totais, foram depositados durante o ano 30 kg de N e 1,5 kg de P por hectare.

Para o Ca, a deposição mensal pode ser vista na Figura 2. A quantidade depositada mensalmente, em todos os tratamentos estudados, mostra uma deposição praticamente linear, exceto para o tratamento TR_{O+R} , nos meses de janeiro e fevereiro. Embora a deposição tenha sido praticamente linear durante o ano, o tratamento TR_{O+R} foi o que apresentou significativamente as maiores quantidades de Ca depositadas no solo. Esses resultados mostram claramente a resposta do *Eucalyptus* à aplicação desse nutriente, na região estudada.

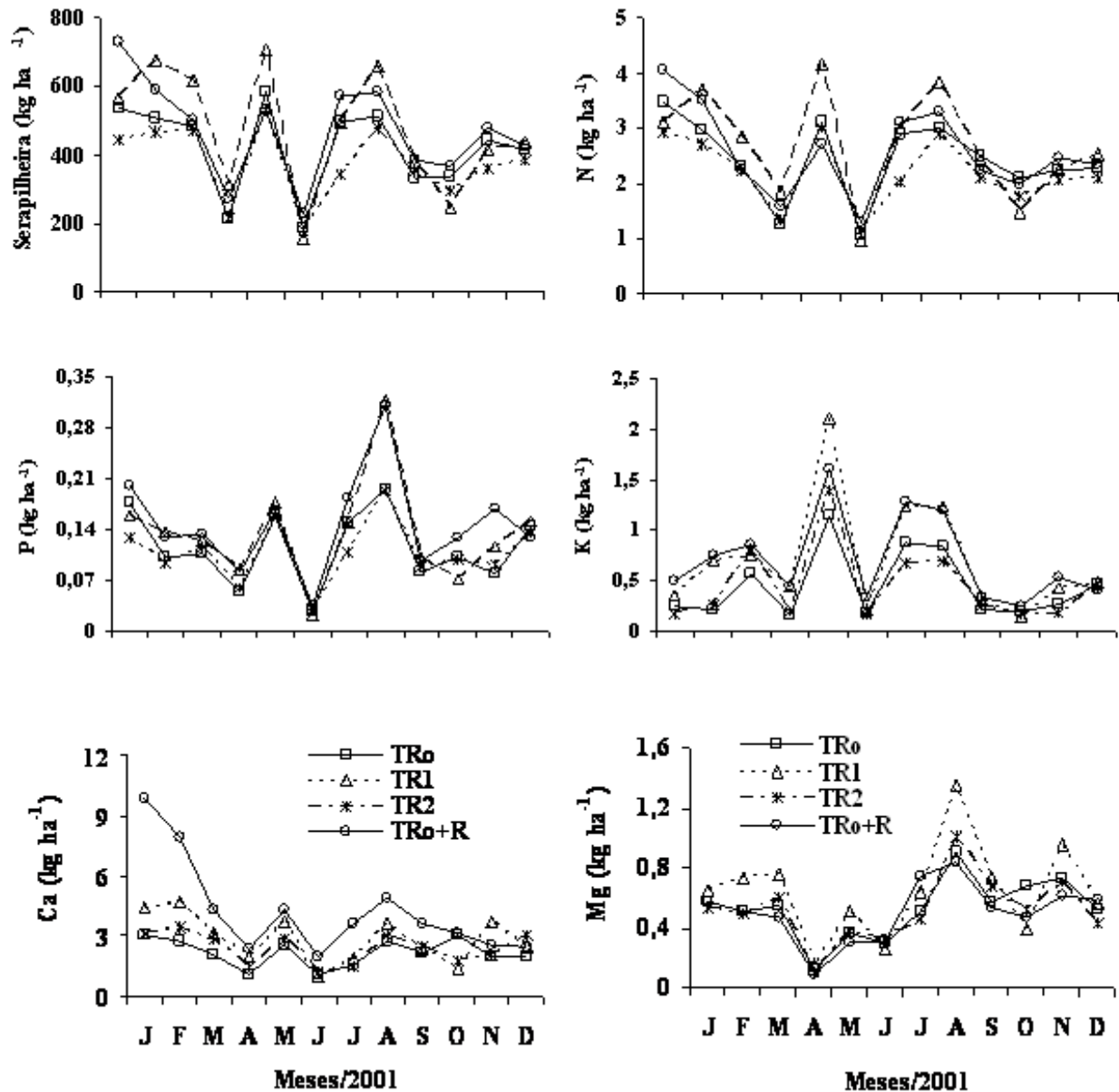


Figura 2. Média da biomassa de serapilheira e de nutrientes minerais depositados no solo mensalmente, durante o ano de 2001.

Se o tratamento TR₀+R apresenta as maiores deposições de Ca, o mesmo não ocorreu quando o nutriente em questão foi o Mg. Praticamente, durante todos os meses do ano, as maiores quantidades foram observadas no tratamento TR₁ (Figura 2).

Enquanto no mês de abril foi observada a menor deposição média de Mg (0,12 kg Mg. ha⁻¹), no mês de agosto ocorreu a maior deposição (1,0 kg Mg. ha⁻¹). Durante o ano de 2001, embora não tenha ocorrido relação entre o Mg aplicado ao solo com o Mg presente

na serapilheira, as quantidades depositadas ao solo pelos tratamentos TR₀, TR₁, TR₂ e TR₀+R foram, respectivamente, 6,4; 8,2; 6,2 e 6,0 kg Mg. ha⁻¹.

Com respeito ao K, as quantidades depositadas no solo, durante o ano de 2001, mostram acentuada oscilação (Figura 2). Uma possível relação com as quantidades adicionadas não foi observada. Em quase todos os meses do ano os tratamentos TR₁ e TR₀+R foram os que apresentaram maior deposição.

Em quantidades médias, ocorreram nos meses de junho e outubro as menores deposições ($0,2 \text{ kg K. ha}^{-1}$) e no mês de maio a maior ($1,6 \text{ kg K. ha}^{-1}$). As quantidades de K depositadas ao solo mensalmente, com exceção de setembro e dezembro, apresentaram valores significativos para os tratamentos TR₁ e TR_{O+R}, em comparação com os tratamentos TR_O e TR₂.

Os resultados obtidos evidenciaram a importância da manutenção dos resíduos da exploração florestal no sítio, semelhante aos resultados obtidos por Freitas et al. (2004). Sistemas de colheita que removem, além do fuste comercial, também a casca, a ponteira e galhos grossos, poderiam ser compensados com a adição de resíduo celulósico e cinza de caldeira e/ou adição de resíduos de celulose e cinzas no solo. Esses materiais, além de contribuírem com uma maior ciclagem de nutrientes, são importante fonte de nutrientes minerais para as árvores. Estes nutrientes, segundo Ferreira et al. (2001), suprem grande parte das necessidades minerais das árvores.

Entretanto, além de fornecedores de nutrientes, esses resíduos, por suas características, são excelentes opções para o acréscimo do conteúdo de matéria orgânica no solo. Em condições tropicais, o acréscimo de matéria orgânica no solo tem reflexos significativos na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Todos esses fatores contribuem para a sustentabilidade do solo e incremento da produção florestal.

Conclusões

Para as condições do estudo, pode-se afirmar:

- A manutenção dos resíduos da colheita no sítio melhora o estado nutricional das árvores e a produtividade do sítio. Elevados teores de Ca devem ser corrigidos para evitar desbalanços nutricionais das árvores, principalmente em relação ao K e ao Mg;

- A adição de resíduos industriais, notadamente resíduo celulósico e cinza de caldeira em plantios de *Eucalyptus*, aumenta a produtividade;

- A remoção dos resíduos da exploração, sem a devida reposição, ocasiona queda de produtividade nos plantios florestais.

Independente da forma de manejo utilizada, as quantidades de K adicionadas ao solo não são suficientes para manter as árvores bem nutridas com esse nutriente. Maiores quantidades de K devem ser adicionadas ao solo para correção de deficiências nutricionais desse elemento.

Agradecimentos

Os autores desejam expressar seus sinceros agradecimentos à cooperação técnica existente entre a *Embrapa Florestas*, o *Center for International Forestry Research* (CIFOR/Japan) e a *International Paper do Brasil S. A.*, que viabilizaram a execução dessa pesquisa. Sinceros agradecimentos também são estendidos para todas as pessoas que auxiliaram nos trabalhos de campo e nas análises de laboratório.

Referências

- BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; ANDRADE, G. de C. Efecto de la aplicación de ceniza de caldera y residuo de celulosa en el suelo y en el crecimiento de *Eucalyptus grandis*. *Bosque*, Valdivia, v. 16, n. 1, p. 95-100, 1995.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da; GAVA, J. L.; MENEGOL, O. Nutrient export by clear cutting *E. grandis* of different ages on two sites in Brazil. In: KOBAYASHI, S.; TURNBULL, J.W.; TOMA, T.; MORI, T.; MAJID, N.M.N.A. (Eds). **Rehabilitation of degraded tropical forest ecosystems**. Bogor, Indonésia - Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia, 2001. p. 173-177.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J. L. DE M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba, IPEF - Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, 2000. p. 105-133.
- BELLOTE, A. F. J. **Nährelementversorgung und Wuchsleistung von gedüngten *Eucalyptus grandis* - Plantagen im Cerrado von São Paulo (Brasilien)**. Freiburg, 1990. 160 p. Tese (Doutorado) - Albert-Ludwigs-Universität.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação. Rio de Janeiro. 1999. 412 p.
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo. 1975. 344 p.
- FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; REISSMANN, C. B.; BELLOTE, A. F. J.; MARQUES, R. **Nutrição de *Pinus* no Sul do Brasil**: diagnóstico e prioridades de pesquisa. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 23 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 60).
- FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. de C. Efecto de la aplicación de ceniza y residuo de celulosa en la descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca en plantaciones de *Eucalyptus grandis*. *Bosque*, Valdivia, v.16, n.1, p.101-104, 1995.
- FERREIRA, C. A. Nutrição mineral de florestas plantadas: O estado atual e tendências da pesquisa e da prática. In: SÉTIMO CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, **Anais**, Vol. 3. Sociedade Brasileira de Silvicultura, Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais, Curitiba. p. 157-162, 1993.

- FREITAS, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M.V. W.; SPATHELF, P. Biomassa e conteúdo de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. HILL EX MAIDEN plantado em solo sujeito a arenização, no Município de Alegretes. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 1, p. 93-104, 2004.
- GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, Piracicaba, v. 15, p. 1-23, 1995.
- HARRISON, A. F.; HARKNESS, D. D. Potential for estimating carbon fluxes in forest soils using C¹⁴ techniques. **New Zealand Journal Forest Science**, Rotorua, v. 23, n. 3, p. 367-379, 1993.
- JOHNSON, D. W. Carbon in forest soils-research needs. **New Zealand Journal Forest Science**, Rotorua, v. 23, n. 3, p. 354-366, 1993.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres Ltda., 1985. 492 p.
- KIMMINS, J. P. **Forest ecology**. McMillan Publ. Comp. New York. 1987, 531 p.
- KOLM, L.; POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* submetidos à prática de desbastes progressivos. **Scientia Forestalis**, n. 63, p. 79-93, jun. 2003.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MELO, J. T. de; RESCK, D. V. S. **Retorno ao solo de nutrientes de serrapilheira de *Eucalyptus cloeziana* no cerrado do Distrito Federal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 16 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 91).
- MORO, L. Utilização da cinza de biomassa florestal como fonte de nutriente em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden. 1994. 65 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - ESALQ, Piracicaba.
- PEREIRA, J. S. M. Algumas notas sobre o impacto ambiental do eucalipto. In: COLÓQUIO EUCALIPTO, ECONOMIA E TERRITÓRIO (1. : 1990: Oeiras). **Anais**. Oeiras: Sociedade Portuguesa de Estudos Rurais, 1990. 6 p.
- QUADROS, R. M. B. **Avaliação nutricional em plantios de *Eucalyptus grandis*, em diferentes solos, no Estado de São Paulo**. 1996. 158 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 135-166.
- SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 29-39, out./dez. 2007.
- SILVA, H. D. da. **Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis*, de diferentes idades**. Curitiba, 1996. 101 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: diagnose visual, foliar e suas interpretações (compact disc). In: Simpósio Sobre Fertilização e Nutrição Florestal: Piracicaba, 1999. **Simpósio Sobre Fertilização e Nutrição Florestal 99**: trabalhos, Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP.
- STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reaction**. New York : J. Willey, 1982. p. 3-111.

Recebido em 13 de setembro de 2007 e aprovado em 24 de abril de 2008

