

CICLAGEM DE NUTRIENTES EM ECOSISTEMAS DE PLANTAÇÕES
FLORESTAIS DE *EUCALYPTUS* E *PINUS*

POGGIANI, F.*

RESUMO

Para se conhecer o padrão de ciclagem dos nutrientes em ecossistemas de plantações florestais, foram quantificados os estoques e a movimentação dos elementos N, P, K, Ca e Mg num talhão de *Eucalyptus saligna* plantado em Piracicaba e num talhão de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, plantado em Agudos. A queda de folheto foi estudada durante um período de 3 anos, sendo que no talhão de *Eucalyptus saligna* foi registrada uma deposição anual de 4.490 kg/ha contendo 27,3 kg de N, 2,2 kg de P, 16,7 kg de K, 44 kg de Ca e 9,3 kg de Mg e no talhão de *Pinus caribaea* uma deposição anual de 8.337 kg/ha contendo 43,7 kg de N, 2,2 kg de P, 22,2 kg de K, 20,4 kg de Ca e 6,4 kg de Mg. A biomassa do talhão de *Eucalyptus saligna*, aos 11 anos de idade, totalizou 186 t/ha contendo 219 kg de N, 58 kg de P, 190 kg de K, 954 kg de Ca e 81 kg de Mg. O talhão de *Pinus caribaea*, aos 14 anos, com uma biomassa total de 153,6 t/ha, apresentou o seguinte conteúdo de nutrientes: 304 kg de N, 16,2 kg de P, 150,6 kg de K, 103,7 kg de Ca e 34 kg de Mg. Foi estudado também o acúmulo de nutrientes na serapilheira, bem como a taxa de de-

* ESALQ/USP - Departamento de Silvicultura

composição (K), calculada em 0,56 para o *Eucalyptus saligna* e em 0,41 para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Os resultados são discutidos face às implicações ecológicas e silviculturais, tendo em vista o baixo estoque de nutrientes disponíveis no solo.

ABSTRACT - NUTRIENT CYCLING IN EUCALYPTUS AND PINUS PLANTATIONS

Distribution and movement of mineral nutrients (N, P, K, Ca and Mg) were studied in an 11 years old stand of *Eucalyptus saligna* and in a 14 years old stand of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, located respectively near Piracicaba and near Agudos (State of São Paulo - Brazil). In the *Eucalyptus saligna* stand annual mean leaf-fall was 4.490 kg/ha with 27.3 kg of N, 2.2 kg of P, 16.7 kg of K, 44 kg of Ca and 9.3 kg of Mg. In the stand of *Pinus caribaea* the annual leaf-fall was 8.373 kg/ha with 43.7 kg of N, 2.2 kg of P, 22.2 kg of K, 20.4 kg of Ca and 6.4 kg of Mg. The above-ground biomass of *Eucalyptus saligna* stand was estimated at 186 t/ha with 219 kg of N, 58 kg of P, 190 kg of K, 954 kg of Ca and 81 kg of Mg. *Pinus caribaea* biomass was 153.6 t/ha including 304 kg of N, 16 kg of P, 150 kg of K, 103.7 kg of Ca and 34 kg of Mg. Leaf-litter accumulation was also estimated and decomposition rates (k) were calculated: 0.56 for *Eucalyptus saligna* and 0.41 for *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Considering the total quantity of mineral nutrients in the above-ground biomass and the low reserves in the soil of the stands, it was concluded that short rotations and whole-tree harvesting would cause a deterioration in site quality. The silvicultural rotations should not be shorter than ecological ones in order to maintain ecological equilibrium.

INTRODUÇÃO

A necessidade crescente de madeira para atender às diferentes demandas do mercado e o consenso cada vez mais generalizado entre os especialistas de que as florestas representam uma das principais alternativas energéticas para o Brasil fazem crer que, num futuro bem próximo, tanto as florestas naturais como as plantadas deverão assumir um papel relevante no panorama econômico brasileiro.

Desta maneira, os movimentos ecológicos e os órgãos de imprensa ressaltam diariamente, as possíveis catástrofes ecológicas que poderão advir da destruição sistemática das florestas naturais. Por outro lado, muitos boatos e teorias pseudocientíficas são forjadas para mostrar o efeito prejudicial que as florestas plantadas exerceriam sobre o ambiente, principalmente em se tratando de maciços florestais formados com espécies exóticas de rápido crescimento.

Há necessidade de uma conscientização coletiva em relação ao valor ecológico das florestas. É preciso, concomitantemente, esclarecer a opinião pública sobre os benefícios das florestas plantadas e também das normais implicações ecológicas que estas acarretam, não com intuito alarmista, mas com o simples objetivo de esclarecer os fatos e contornar cientificamente os problemas que possam efetivamente ocorrer.

Todo e qualquer planejamento econômico que envolva a utilização de recursos naturais deveria ser obrigatoriamente precedido por uma avaliação das conseqüências ecológicas resultantes de sua aplicação.

A ecologia não deve ser, portanto, uma ciência que a priori contraria qualquer empreendimento de caráter social ou econômico, mas é desejável que o governo e os empresários, compenetrados de suas responsabilidades, ponderem as conseqüências de suas atividades sobre o ambiente a médio e a longo prazo, conscientes de que qualquer empreendimento duradouro só pode estar respaldado em sólidos conhecimentos

ecológicos.

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A ESTRUTURA DAS FLORESTAS NATURAIS TROPICAIS

A espessa folhagem que recobre o solo de uma floresta, resultante da sobreposição de vários estratos arbóreos e arbustivo, dá freqüentemente a idéia de uma vegetação luxuriante formada por muitas árvores de grande porte e com valioso potencial madeireiro. Na maioria das vezes, não é bem assim que se encontra estruturada a floresta tropical, cuja característica principal é a heterogenidade das espécies e a sua irregularidade quanto à distribuição espacial das árvores.

Um estudo completo, realizado por GOLLEY et al (1978) nos dá uma idéia bastante satisfatória das características ecológicas de uma floresta tropical. A Fig. 1, reproduzida do citado estudo, evidencia a irregularidade da distribuição arbórea existente em dois lotes, totalizando um quarto de hectare, considerando apenas as árvores com mais de 10 cm de diâmetro.

É interessante notar que, nesta área estudada, foram encontradas apenas cerca de 480 árvores por hectare, com diâmetro superior a 10 cm. Destas, apenas 10 ou 12 apresentavam diâmetro superior a 1 m e apenas 35 a 40, diâmetro superior a 30 cm.

Quanto à diversidade, as árvores amostradas eram constituídas por quase 40 espécies diferentes, sendo algumas mais freqüentes e outras raras.

Segundo os autores desta pesquisa, o ecossistema da floresta encontra-se no clímax, ou seja, no estágio final da sucessão ecológica quando, segundo ODUM (1959), "a produção anual da matéria orgânica é igual ao consumo total" e, conseqüentemente, não mais existe acúmulo de biomassa".

Efetivamente, à medida que a sucessão ecológica atin

ge seu estágio final (clímax), o índice de superfície foliar torna-se cada vez mais elevado e, conseqüentemente, o sombreamento mútuo das plantas é mais intenso e a competição entre as árvores mais acentuada. Conseqüentemente, nem todas as folhas das copas das árvores fazem fotossíntese o dia inteiro, e os ramos inferiores dependem da fotossíntese realizada pela parte superior da copa. Além disso, num ecossistema florestal em clímax, existe uma infinidade de animais que ocupam todos os estratos da floresta, desde o topo das copas até o sistema radicular, e que consomem continuamente a matéria vegetal produzida pela fotossíntese.

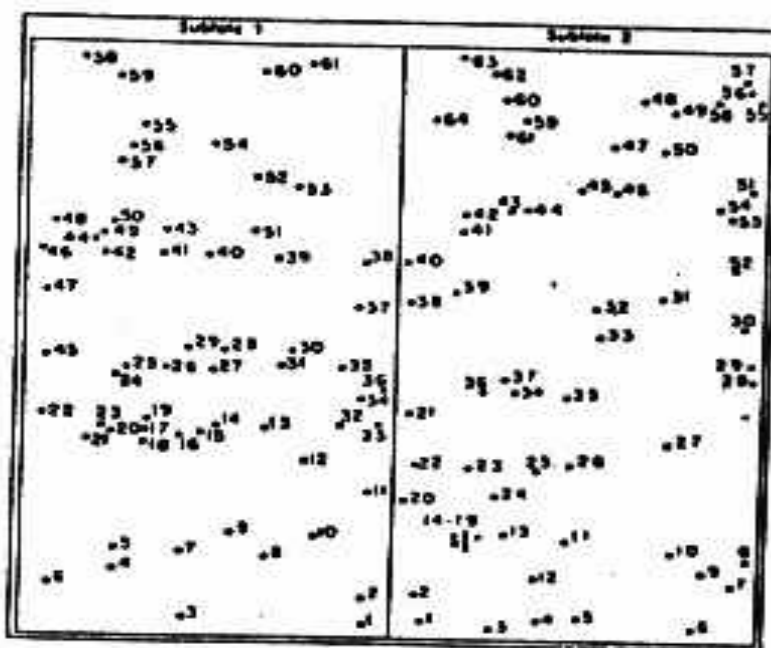


Figura 1 - Distribuição horizontal dos troncos das árvores com diâmetro acima de 10 cm numa área de 1/4 de hectare de floresta pluvial tropical (GOLLEY et al, 1978).

AS FLORESTAS PLANTADAS DO PONTO DE VISTA ECOLÓGICO

Quando uma área de floresta natural é completamente

desmatada, após algum tempo, em virtude das sementes e das raízes vivas deixadas no solo, surge uma nova vegetação, que após vários anos evoluirá novamente para uma floresta primitiva. Este processo evolutivo da vegetação natural, que nos trópicos pode durar de 50 a 100 anos, recebe o nome de sucessão secundária.

A floresta plantada, do ponto de vista ecológico, constitui-se numa sucessão secundária racional, ou seja, orientada segundo determinadas finalidades humanas e mantida sempre no estágio juvenil.

Quando o seu objetivo primordial é apresentar elevada produtividade, a primeira medida que o homem toma é regularizar o espaço entre as árvores, fazendo caber dentro da área estabelecida o número mais conveniente de mudas, dentro de um plano de manejo previamente determinado.

Desta forma, num retângulo de um quatro de hectare, como amostrado na Fig. 1, seria possível plantar ao redor de 625 árvores, num espaçamento de 2 x 2 m, ou seja 2.500 por hectare.

O desenvolvimento uniforme de espécies de rápido crescimento durante um período de 7-8 anos possibilitaria a obtenção da mesma área basal, observada na floresta natural tropical. Esta elevada produtividade seria obtida, basicamente, graças à seleção de árvores apropriadas para o reflorestamento, espaçamento adequado para retardar ao máximo a competição das copas e dos sistemas radiculares e outros traços culturais.

A CADEIA ALIMENTAR

As florestas apresentam, basicamente, uma cadeia de detritos. Em outras palavras, isso significa que o fluxo de energia que supre os diferentes níveis tróficos ocorre, na maior proporção a partir dos detritos produzido pelas plantas verdes.

A queda das diferentes formas de material vegetal (fo^lhas, frutos, sementes, ramos, etc.) supre de alimento uma infinidade de pequenos animais, fungos e bactérias, até a degradação total da energia química sob a forma de calor e a liberação dos nutrientes pela decomposição total da matéria orgânica.

Numa floresta natural existe uma imensa variedade de nichos ecológicos, em virtude da diversidade das espécies vegetais, que fornecem o alimento sob a forma de folhas, fru^tos, sementes, madeira e detritos diversos. Centenas de espécies de pequenos animais, insetos, fungos e bactérias se inter-relacionam no aproveitamento da matéria orgânica, cons^tituindo um todo complexo e extremamente equilibrado.

A partir do instante em que se instala uma floresta pura (onde predomina uma única espécie arbórea), ocorre um forte afunilamento também na cadeia alimentar, com uma drás^tica redução das espécies que normalmente atuam nos diferen^tes nichos ecológicos.

Com a mudança radical do tipo de detritos e com a al^teração das condições microclimáticas, os seres que compõem os diversos níveis tróficos (herbívoros, carnívoros, parasⁱtas, etc.) são submetidos a uma seleção que altera grandemente a dinâmica das populações animais e vegetais. É evidente que as populações formadas por seres mais tolerantes, em relação às modificações ambientais realizadas, crescem rapidamente em número de indivíduos e assumem a dominância na comunidade biótica. Por outro lado, muitas populações com nichos ecológicos muito diversos das condições apresentadas pela floresta homogênea desaparecem ou apenas alguns indivi^duos sobrevivem, mas com pouca representatividade dentro da comunidade.

Resumindo, poderíamos dizer que a implantação de uma floresta homogênea resulta em uma redução do número de espé^cies; todavia, as espécies que se adaptam ao novo habitat au^mentam grandemente o número de indivíduos.

Uma floresta artificial recém-implantada apresenta

condições particularmente drásticas, visto que o solo se encontra quase que totalmente descoberto. À medida que as copas se expandem, aumenta o sombreamento e o acúmulo de detritos sobre o solo, que se enriquece de matéria orgânica. Após alguns anos, verifica-se o retorno de várias espécies nativas arbóreas e arbustivas, que se desenvolvem debaixo das florestas homogêneas. Com o reaparecimento das espécies vegetais, observa-se também a volta das espécies animais e, lentamente, ocorre a recomposição, pelo menos parcial, da biota primitiva. Exemplos bem característicos desta evolução podem ser observados nos hortos florestais da antiga Cia. Paulista de Estradas de Ferro e nas plantações de *Pinus* da Cia. Agroflorestal Monte Alegre em Agudos-SP, onde o sotobosque forma uma biomassa considerável e bastante heterogênea.

Uma das preocupações do setor de Ecologia Aplicada do Departamento de Silvicultura da ESALQ/USP consiste no enriquecimento dos talhões homogêneos com espécies arbóreas ou arbustivas capazes de apressar a reconstituição, pelo menos parcial, da cadeia alimentar. Algumas companhias, mais preocupadas com o problema da conservação ambiental, vêm desenvolvendo programas de manejo da fauna silvestre dentro de florestas homogêneas, através da proteção de manchas de vegetação natural e enriquecimento de áreas naturais remanescentes com espécies vegetais apropriadas para a alimentação de aves e mamíferos.

Evidentemente, se quisermos atribuir às florestas implantadas também um papel relevante na conservação da fauna, seria preciso reformular alguns conceitos já arraigados entre os florestais e empresários brasileiros. Uma prática importante, por exemplo, seria a redução do tamanho dos talhões que permitiria a melhor penetração das aves.

O segundo aspecto está relacionado com a manutenção e o enriquecimento de áreas com vegetação natural, onde os animais poderiam retirar seu alimento.

Do ponto de vista biológico, é provável que a fauna

e principalmente as aves existentes nas áreas de vegetação natural possam exercer um certo efeito benéfico para manter o equilíbrio biológico dentro das próprias plantações florestais.

O CICLO DE NUTRIENTES

Segundo PRITCHETT (1979), na floresta podem ser esquematizadas duas formas de ciclos de nutrientes: um externo e outro interno. Ao ciclo externo, ele chama também de geoquímico e inclui as formas de transferências de nutrientes para dentro e para fora do ecossistema florestal. Ao ciclo interno ele chama também de ciclo biológico, que abrange apenas a ciclagem interna dos nutrientes no ecossistema florestal. Este ciclo, contudo, pode ainda ser subdividido em duas partes: o ciclo bioquímico que se refere à movimentação dos nutrientes dentro da própria árvore e o ciclo biogeoquímico que abrange a ciclagem dos nutrientes entre o solo e a biomassa.

Na Fig. 2 são representadas as principais formas de entrada e saída de nutrientes de um ecossistema florestal.

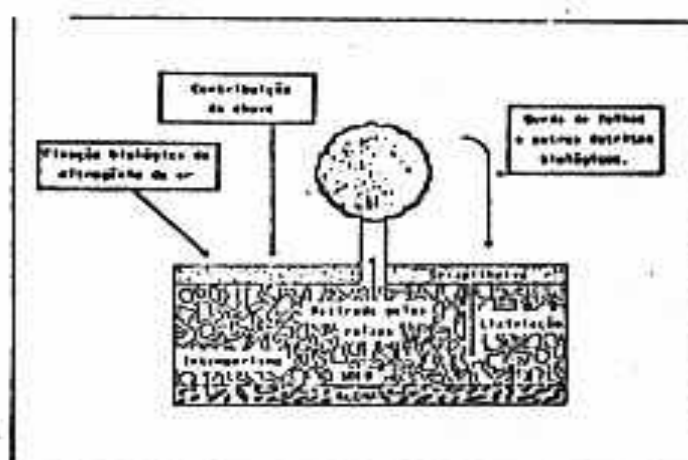


Figura 2 - Esquema simplificado do ciclo de nutrientes minerais em florestas.

Dentre as formas de entrada destacam-se principalmente os elementos que são adicionados através da precipitação atmosférica, intemperismo da rocha matriz do solo e da adubação. Quanto à saída de elementos do ecossistema: devemos assinalar os efeitos da erosão, da lixiviação e a exportação maciça de nutrientes pela exploração da floresta.

A floresta não perturbada, de maneira geral, apresenta uma grande estabilidade, ou seja, os nutrientes introduzidos no ecossistema através da chuva e do intemperismo geológico estão em equilíbrio com os nutrientes perdidos para os rios e o lençol freático.

Bem diferente é o caso da floresta de rápido crescimento, onde a retirada da fitomassa florestal de forma sistemática e por cortes rasos age como um elemento de desequilíbrio nutricional.

Infelizmente, se por um lado a energia radiante é abundante nos trópicos, os solos que normalmente são utilizados para o plantio de florestas, apresentam baixa fertilidade e constituem-se no principal fator limitante, que reduz consideravelmente a produtividade potencial da vegetação.

O fósforo e o potássio são em geral os principais elementos limitantes, sendo que em muitos casos o cálcio e o magnésio são também elementos carentes.

Por outro lado é preciso lembrar que é justamente nestes solos pobres que se implantam as florestas, visto que os solos mais férteis devem ser reservados, logicamente, para os cultivos agrícolas. Desta forma, nas culturas agrícolas, onde as colheitas são efetuadas uma ou mais vezes ao ano, é possível que o "input" atmosférico não tenha uma importância significativa no ciclo dos nutrientes; todavia, nas florestas onde os ciclos de corte são longos (de 5 a 35 anos) a somatória das entradas anuais de elementos químicos no ecossistema pode fornecer grande parte dos nutrientes que são acumulados na biomassa das árvores. Por exemplo, COUTINHO (1979) assinala em Pirassununga - interior do Estado de

São Paulo - uma deposição atmosférica por hectare/ano de 0,9 kg de P, 2,5 kg de K, 5,6 kg de Ca e 0,9 kg de Mg. POGGIANI et al (1983) em Agudos-SP, numa floresta de *Pinus*, cercada por plantações de cana-de-açúcar anualmente queimadas, assinalam uma deposição ainda maior de potássio, cálcio e magnésio.

ACÚMULO DE NUTRIENTES MINERAIS NA BIOMASSA ARBÓREA DE PLANTACIONES FLORESTAIS

Nos ecossistemas das florestas temperadas e boreais os estoques de nutrientes no solo são muitas vezes superiores aos estoques de nutrientes na vegetação. Ao contrário, nas florestas de regiões tropicais, em virtude do forte intemperismo, os solos são geralmente pobres em nutrientes, sendo que em várias situações ecológicas o maior acúmulo de nutrientes minerais localiza-se nos tecidos vegetais. Isto é observado principalmente em relação ao fósforo e ao potássio (GOLLEY et al, 1978).

Nas florestas implantadas de rápido crescimento, situadas geralmente em solos de baixa fertilidade ou mesmo em áreas marginais, o acúmulo de nutrientes na fitomassa assume uma importância muito grande, visto que a exploração da madeira e ainda mais dos ramos e folhas representa uma grande perda de nutrientes, que poderá afetar as rotações futuras. Vejamos inicialmente a Tab. 1 onde é apresentada a distribuição de nutrientes minerais na biomassa arbórea de uma plantação de *Eucalyptus saligna* com 11 anos de idade.

Nota-se um acúmulo total da biomassa de 185,9 toneladas por hectare, sendo que 90,4% é constituída pelos troncos e apenas 9,6% pelas copas das árvores.

O cálcio é o elemento cujo conteúdo é mais elevado (954 kg/ha), sendo que a casca pode ser considerada como o componente que mais acumula este elemento com 46,9% do total.

Tabela 1 - Biomassa e nutrientes estocados nos componentes do talhão de *Eucalyptus saligna** e porcentagem de peso total (entre parênteses).

COMPONENTES DAS ÁRVORES	ELEMENTOS						TOTAL
	BIOMASSA	N	P	K	Ca	Mg	
Polhas	4.024,95 (2,16%)	49,58 (22,63%)	4,87 (8,37%)	29,26 (15,35%)	106,74 (11,18%)	11,87 (14,56%)	202,32 (13,45%)
Ramos	13.860,40 (7,45%)	31,74 (14,49%)	11,08 (19,05%)	40,47 (21,23%)	296,33 (31,04%)	23,28 (28,57%)	402,90 (26,79%)
Copa	17.885,35 (9,61%)	81,32 (37,12%)	15,95 (27,42%)	69,73 (36,58%)	403,07 (42,22%)	35,15 (43,13%)	605,22 (40,24%)
Casca	9.525,28 (5,12%)	25,14 (11,47%)	12,09 (20,78%)	47,91 (25,14%)	448,35 (46,97%)	30,48 (37,40%)	563,97 (37,50%)
Lenho	158.550,56 (85,26%)	112,57 (51,39%)	30,12 (51,78%)	72,93 (38,26%)	103,05 (10,79%)	15,85 (19,45%)	334,52 (22,24%)
Fuste	168.075,84 (90,38%)	137,71 (62,86%)	42,21 (72,57%)	120,84 (63,40%)	551,40 (57,77%)	46,33 (56,86%)	898,49 (59,75%)
TOTAL	185.961,19	219,03	58,16	190,57	954,47	81,48	1.503,71

* Densidade arbórea = 425 árvores/ha.

Baseadas nestes dados, por exemplo, várias empresas que empregam tecnologia mais avançada no setor florestal, utilizam a casca dos eucaliptos para produção de energia, mas recolhem as cinzas e as devolvem à floresta, obtendo uma grande economia em adubos.

Na Tab. 2 são expressos os valores de biomassa e nutrientes estimados para um talhão de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 14 anos.*

Esta espécie, se comparada com o *Eucalyptus saligna* pode ser considerada menos exigente e portanto menos acumuladora de nutrientes, sendo o nitrogênio o elemento armazenado em maior quantidade, seguido pelo potássio, cálcio, magnésio e fósforo.

Neste caso, a pobreza de nitrogênio observada no solo e, por outro lado, a abundância deste elemento nas árvores, sugere que nesta floresta tenham se desenvolvido naturalmente mecanismos de fixação de grande eficiência.

As copas das árvores, tanto dos eucaliptos como dos pinheiros, armazenam ao redor de 40% dos nutrientes minerais contidos na biomassa arbórea acima do solo.

Este aspecto, profundamente estudado em plantações de diferentes idades de corte já está induzindo as empresas florestais a não mais utilizar as copas das árvores para produzir energia, tendo em vista a elevada exportação de nutrientes.

A Tab. 3 apresenta a distribuição percentual dos nutrientes minerais nos compartimentos: solo, serapilheira e árvores dos talhões antes mencionados ou seja: *Eucalyptus saligna* plantado em Piracicaba sobre solo podzólico, *Pinus*

(*) Todos os dados referentes a plantações florestais apresentados neste trabalho foram extraídos da tese de livre-docência do autor POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus*. Implicações silviculturais. Piracicaba. ESALQ/USP - Departamento de Silvicultura, 1985, 211p.

Tabela 2 - Biomassa e nutrientes estocados nos vários componentes do talhão de *Pinus caribaea hondurensis** e porcentagem do peso total (entre parênteses).

COMPONENTES DAS ÁRVORES	ELEMENTOS						TOTAL
	BIOMASSA	N	P	K	Ca	Mg	
Acículas	10.388,33 (6,76%)	100,76 (33,09%)	5,81 (35,79%)	44,04 (29,23%)	19,73 (19,02%)	7,68 (22,68%)	178,02 (29,23%)
Ramos	10.556,00 (6,78%)	23,01 (7,55%)	1,37 (8,44%)	11,82 (7,84%)	13,61 (13,12%)	4,22 (12,46%)	54,03 (8,87%)
Copa	20.944,33 (13,63%)	123,77 (40,64%)	7,18 (44,23%)	55,86 (37,08%)	33,34 (32,14%)	11,90 (35,14%)	232,05 (38,10%)
Casca	18.400,26 (11,97%)	43,60 (14,31%)	2,20 (13,55%)	34,22 (22,71%)	13,24 (12,76%)	3,68 (10,86%)	96,94 (15,91%)
Lenho	114.279,66 (74,38%)	137,13 (45,03%)	6,85 (42,20%)	60,56 (40,20%)	57,13 (55,08%)	18,28 (53,98%)	279,95 (45,97%)
Fuste	132.679,92 (86,36%)	180,73 (59,35%)	9,05 (55,76%)	94,78 (62,91%)	70,37 (67,85%)	21,96 (64,85%)	376,89 (61,89%)
TOTAL	153.624,25	304,50	16,23	150,64	103,71	33,86	606,94

* Densidade arbórea = 955 árvores/ha.

Tabela 3 - Distribuição percentual dos nutrientes minerais nos compartimentos das plantações florestais estudadas.

COMPARTIMENTOS	PLANTACÕES FLORESTAIS														
	<i>E. saligna</i>				<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>				<i>P. oocarpa</i>						
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Folhas	3,28	3,94	6,10	1,18	0,88	5,75	7,67	14,74	3,10	5,84	4,77	5,49	9,41	1,75	2,89
Ramos	2,10	9,04	8,45	3,30	1,74	1,31	1,71	3,95	2,14	3,18	1,58	2,61	6,38	2,05	2,96
Casca	1,66	9,86	10,01	4,99	2,27	2,49	2,91	11,46	2,08	2,80	2,08	2,87	6,88	2,13	2,64
Lenho	7,45	24,75	15,24	1,14	1,18	7,83	8,99	20,27	9,00	13,89	5,70	10,86	24,17	10,50	12,67
Copa	5,38	13,00	14,57	4,49	2,62	7,06	9,39	18,69	5,25	9,03	6,36	8,11	15,79	3,80	5,85
Fuste	9,12	37,70	25,26	6,14	3,45	10,32	11,90	31,76	11,09	16,70	7,78	13,74	31,06	12,63	15,31
Árvore total	14,51	47,50	39,84	10,64	6,07	17,39	21,29	50,47	16,35	25,66	14,15	21,85	46,85	16,43	21,17
Folheto (serra pilheira)	3,32	3,78	2,21	0,66	1,09	8,89	11,24	6,63	6,02	6,75	9,72	11,38	7,50	5,28	7,45
Solo (180 cm)	82,16	48,51	57,93	88,69	92,83	73,71	67,46	42,89	77,61	67,57	76,11	66,75	45,64	72,28	71,38

caribaea var. *hondurensis* plantado em Agudos sobre Latossolo Vermelho-Amarelo fase arenosa, além de um talhão de *Pinus oocarpa* também plantado em Agudos.

Observa-se no caso do *Eucalyptus saligna* que o equilíbrio é mais crítico para os elementos fósforo e potássio, visto que a biomassa arbórea contém respectivamente 47,5% e 39,8% dos estoques totais destes elementos.

Para os outros elementos estudados, o solo constitui-se num reservatório que ainda poderia suprir os nutrientes por um período relativamente prolongado.

No caso dos pinheiros plantados em Agudos, o aspecto mais crítico estaria ligado principalmente ao potássio, visto que a biomassa arbórea, em ambos os talhões, contém cerca de 50% deste elemento e o solo, apenas 42,8% no talhão de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e 45,6% no talhão de *Pinus oocarpa*.

MOVIMENTAÇÃO DOS NUTRIENTES ATRAVÉS DO CICLO BIOGEOQUÍMICO

De acordo com PRITCHETT (1979) o acúmulo anual líquido de nutrientes nas árvores pode ser considerado como a diferença entre a absorção total de nutrientes e os nutrientes devolvidos ao solo através de raízes mortas, folheto, lixiviação das copas e deposição de outros detritos vegetais, como: cascas, frutos e sementes.

O acúmulo anual líquido pode ser calculado a partir de medições periódicas que visam estudar as variações da biomassa arbórea juntamente com o teor de elementos químicos que constituem os tecidos vegetais.

É, portanto, necessário que se conheça além dos nutrientes acumulados, os nutrientes devolvidos ao solo. Neste aspecto, o acompanhamento da deposição de folheto constitui-se num dos dados mais importantes a serem estudados.

A quantidade de material orgânico depositado ao longo de um ano está relacionada principalmente com as condi-

ções climáticas, sendo menor nas regiões frias e maior nas regiões equatoriais quentes e úmidas.

Por exemplo, florestas situadas em regiões árticas ou alpinas produzem anualmente cerca de 1 tonelada de serapiheira por hectare, florestas temperadas frias 3,5 toneladas, florestas temperadas quentes 5,5 toneladas e florestas equatoriais cerca de 11 toneladas.

Quanto à periodicidade de deposição, esta varia de espécie para espécie nas regiões tropicais e subtropicais.

Nas matas do interior do Estado de São Paulo a maior deposição de folheto ocorre nos meses de inverno quando prevalece o clima frio e seco.

Em talhões formados por espécies exóticas, entretanto, o padrão de deposição difere acentuadamente do das florestas naturais.

Nos gráficos das Figs. 3 e 4 são apresentados os padrões de deposição num talhão de *Eucalyptus saligna* (Piracicaba-SP) e em talhões de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* (Agudos-SP).

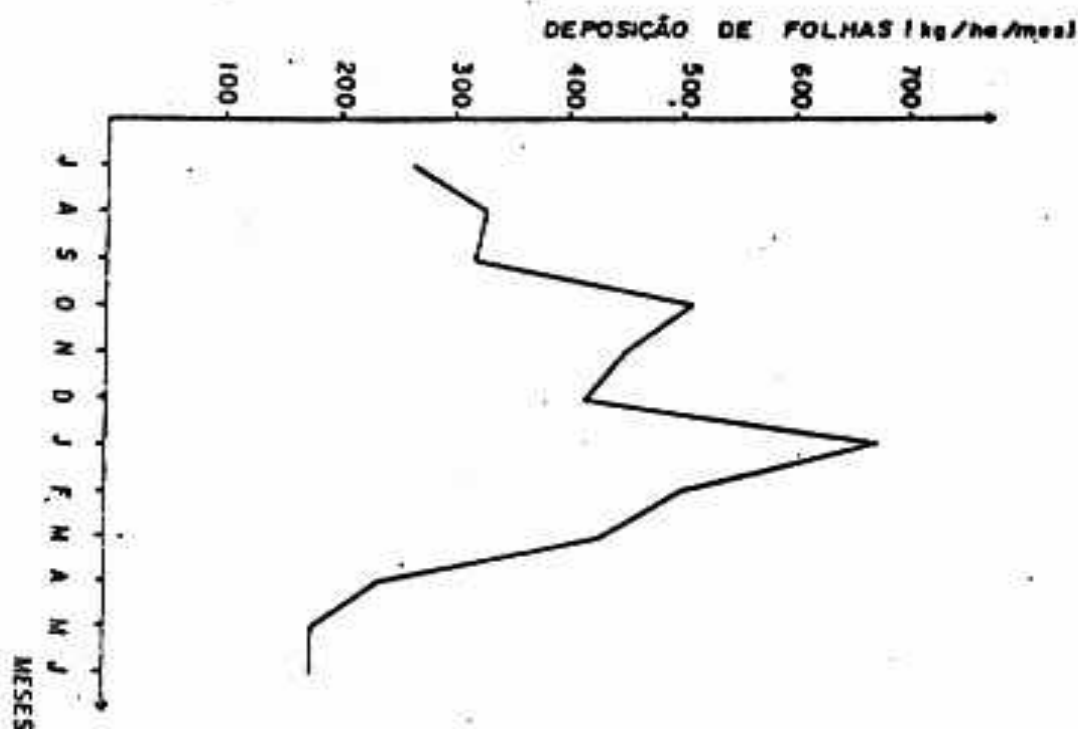


Figura 3 - Deposição de folheto no talhão de *Eucalyptus saligna*. Médias de 3 anos de observação.

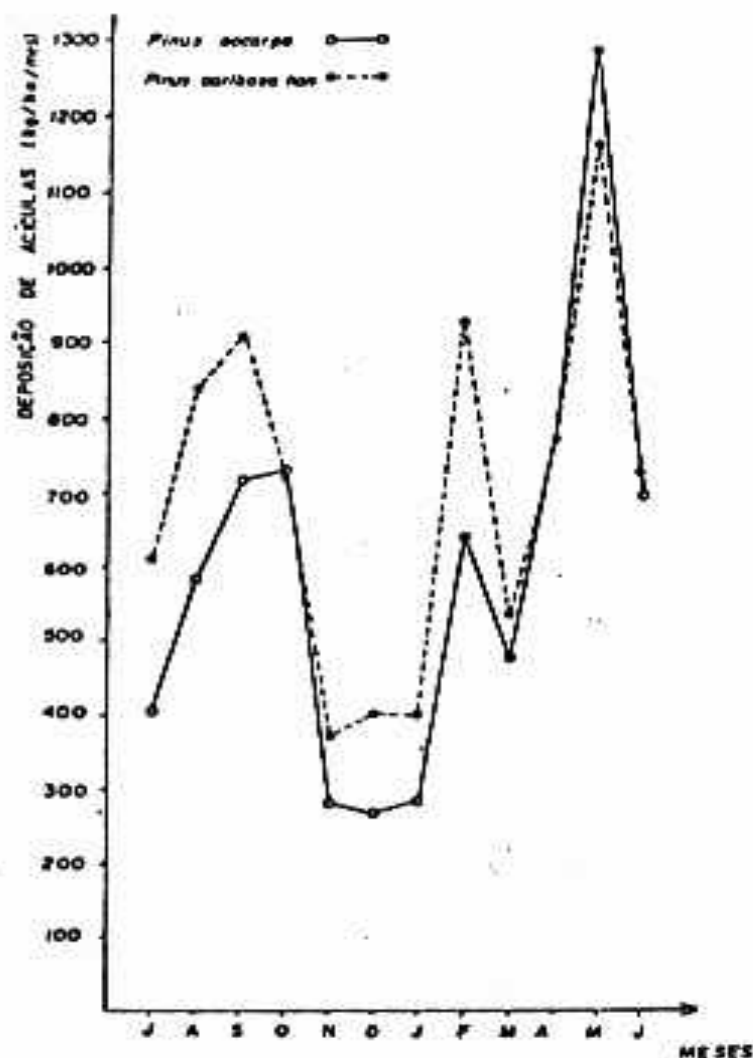


Figura 4 - Deposição de acículas nos talhões de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*. Médias de 3 anos de observação.

Foi determinado através de equações de regressão que a maior deposição de folhas no eucaliptal está relacionada com a elevação de temperatura no verão.

No caso dos talhões de *Pinus*, a deposição mais acentuada de acículas estaria relacionada com os períodos secos, mas quentes, que ocorrem de forma irregular durante a primavera e o outono. Nestes períodos o solo apresenta baixo armazenamento de água (LIMA, 1979).

Na Tab. 4 são apresentadas as quantidades de nutrientes depositados anualmente, considerando que em média, a produção de folheto no talhão de *Eucalyptus saligna* foi de 4.490 kg/ha, no talhão de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 8.873 kg/ha e no talhão de *Pinus oocarpa* de 7.130 kg/ha.

Tabela 4 - Nutrientes depositados anualmente sobre o solo dos talhões experimentais (valor médio dos 3 anos de coletas expresso em kg/ha/ano).

ESPÉCIES	N	P	K	Ca	Mg
<i>Eucalyptus saligna</i>	27,33	2,21	16,70	44,07	9,31
<i>Pinus caribaea</i> <i>hondurensis</i>	43,75	2,25	22,25	20,46	6,44
<i>Pinus oocarpa</i>	36,77	1,88	13,68	12,77	4,57

Observa-se, de uma maneira geral, que os pinheiros depositam maiores quantidades de folhas. Porém, os eucaliptos apresentam maiores concentrações de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, depositando também quantidades maiores de cálcio e magnésio.

É em função dos nutrientes absorvidos, acumulados e devolvidos ao solo que se caracterizam as espécies de maior ou menor exigência nutricional.

Na Tab. 5 é apresentada uma estimativa de mineralo-massa absorvida, acumulada e devolvida ao solo, nos talhões florestais de *Eucalyptus* e *Pinus* já mencionados anteriormente.

Observa-se, por exemplo, entre outros aspectos importantes, que enquanto o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* acumula apenas 26,4% do cálcio absorvido e devolve 73,6%; o *Eucalyptus saligna* retém 66,3% e devolve ao solo 33,7%. Sendo portanto esta última espécie mais exigente em cálcio.

Tabela 5 - Estimativa da mineralomassa absorvida, acumulada nas árvores e devolvidas ao solo pela derrubada das folhas. Os valores entre parênteses indicam as porcentagens em relação à absorção.

TALHÃO FLORESTAL	N		P		K		Ca		Mg						
	Abs.	Ac. Dev.	Abs.	Ac. Dev.	Abs.	Ac. Dev.	Abs.	Ac. Dev.	Abs.	Ac. Dev.					
<i>E. saligna</i> (11 anos)	47,3 (100)	20,0 (42,3)	27,3 (57,7)	7,4 (100)	5,2 (70)	2,2 (30)	33,9 (100)	17,2 (50,7)	16,7 (49,3)	130,7 (100)	86,7 (66,3)	44,0 (33,7)	16,7 (100)	7,4 (44,3)	9,3 (55,7)
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (14 anos)	65,4 (100)	21,7 (33,2)	43,7 (66,8)	3,3 (100)	1,1 (33,3)	2,2 (66,7)	32,9 (100)	10,7 (32,5)	22,2 (67,5)	27,7 (100)	7,3 (26,4)	20,4 (73,6)	8,8 (100)	2,4 (27,2)	6,4 (72,8)
<i>P. oocarpa</i> (14 anos)	53,8 (100)	17,1 (31,8)	36,7 (68,2)	3,1 (100)	1,2 (38,7)	1,9 (61,3)	23,0 (100)	9,3 (40,4)	13,7 (59,6)	20,0 (100)	7,3 (36,5)	12,7 (63,5)	6,3 (100)	1,8 (28,5)	4,5 (71,5)

Abs. = absorção

Ac. = acúmulo ou incremento anual de nutrientes na biomassa arbórea

Dev. = devolução de nutrientes ao solo pela queda do folheto

Importante é ressaltar também a movimentação dos nutrientes dentro das próprias árvores (ciclo bioquímico), principalmente dos tecidos mais velhos para os tecidos mais novos em fase de crescimento.

ATTIWILL (1980), estudando a transferência de nutrientes em *Eucalyptus obliqua* assinala que a formação do cerne nas árvores pode ser considerada como um processo regulador do crescimento em virtude da grande restituição de nutrientes que proporciona.

Por exemplo, a concentração média de fósforo no alburno e no cerne das árvores estudadas foi, respectivamente, de 0,12 e 0,0016 g/kg e a concentração de fósforo foi de 0,6 e 0,0075 g/kg.

Ainda segundo ATTIWILL (1979), a transição que ocorre nos tecidos do tronco, de alburno para cerne, pode representar um papel significante no ciclo bioquímico, especialmente durante o estágio intermediário de crescimento da floresta. Por exemplo, a demanda anual de nutrientes de um "stand" natural de *Eucalyptus obliqua* é suprida através do ciclo bioquímico e biogeoquímico em 82% para o fósforo, 86% para o potássio, 78% para o magnésio e 84% para o cálcio. O ciclo bioquímico do fósforo supre 46% da demanda enquanto que o ciclo bioquímico do cálcio (elemento de baixa mobilidade) supre apenas 2%.

A partir do resultado de suas pesquisas, ATTIWILL (1979) concluiu que a elevada eficiência que algumas espécies de eucaliptos apresentam de reciclarem o fósforo seria uma explicação para o seu sucesso adaptativo em solos carentes deste elemento.

Sobre este assunto, SILVA (1983) desenvolveu uma dissertação de mestrado junto ao Departamento de Silvicultura da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Este autor comparou o crescimento e o teor de nutrientes nos tecidos de cinco espécies de eucaliptos plantados em solo de baixa fertilidade. Concluiu que o *Eucalyptus grandis* foi a espécie que apresentou o mais elevado índice de eficiência

de utilização do fósforo e do potássio.

Nesta pesquisa, as árvores de *Eucalyptus grandis* de maior crescimento, apresentaram os teores mais elevados de fósforo nas folhas e os mais baixos teores no lenho do tronco, o que evidencia a acentuada translocação interna deste elemento.

ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA

Sabe-se que, de maneira geral, a camada de detritos orgânicos e principalmente de folhas que se acumulam sobre o solo de florestas formadas preponderantemente por coníferas é mais espessa do que a camada que se forma sob florestas de folhosas. Isto se deve principalmente à decomposição mais lenta, que caracteriza os tecidos das coníferas, os quais apresentam baixos teores de proteínas, mas elevados teores de lignina e derivados fenólicos que inibem a atividade dos micro-organismos decompositores.

Os fatores ambientais, tais como: temperatura e umidade são muito importantes na determinação da taxa de decomposição.

O tempo necessário para um solo florestal atingir o equilíbrio em relação ao acúmulo da serapilheira pode variar de dez anos, nas florestas tropicais que apresentam rápido crescimento, até mais de 100 anos, nas florestas de coníferas das regiões boreais.

Do ponto de vista ecológico, dentro da ciclagem dos nutrientes, a serapilheira pode apresentar uma retenção considerável de elementos químicos. Neste sentido, vários autores vêm dedicando suas pesquisas para focar quantitativamente os fenômenos relativos ao acúmulo e decomposição da serapilheira.

OLSON (1963) chama de K a taxa de decomposição instantânea que é o resultado da relação entre a quantidade de folheto acumulado sobre o solo em equilíbrio dinâmico (X_{ss})

e a quantidade de folheto depositado anualmente (L), sendo os valores expressos respectivamente em kg/ha e kg/ha/ano. Tem-se portanto

$$K = L/X_{ss}$$

Segundo o autor, os valores de K considerados como muito elevados são características de florestas tropicais e variam de 4 a 1. Por exemplo, florestas tropicais da África apresentam valores de K próximos a 4. Para florestas de pinheiros ao sul dos Estados Unidos, o valor de K gira ao redor de 0,25, enquanto que outras florestas de pinheiros situadas no Estado de Minnesota, apresentam valores de K muito baixos, ao redor de 0,0625, o que indica uma decomposição muito lenta.

Na Tab. 6 são apresentados os valores relativos ao acúmulo de folheto e nutrientes nos diferentes talhões florestais de *Eucalyptus* e *Pinus*, plantados respectivamente em Piracicaba e Agudos.

Tabela 6 - Nutrientes contidos no folheto acumulado sobre o solo dos talhões florestais. (kg/ha)

ESPÉCIE	Folheto Acumulado	E L E M E N T O S				
		N	P	K	Ca	Ng
<i>Eucalyptus saligna</i>	7936	50,2	4,6	10,6	59,5	14,6
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	20238	155,6	8,5	19,83	38,2	8,9
<i>Pinus oocarpa</i>	19454	164,7	8,7	21,0	33,2	9,3

Apesar das concentrações de elementos mais baixas observadas nas acículas dos pinheiros, o folheto apresenta um maior acúmulo de N, P e K em virtude do próprio acúmulo de acículas na serapilheira.

Quanto ao eucalipto, o acúmulo do folheto na serapilheira é comparável aos das florestas naturais, todavia o conteúdo de nutrientes é inferior devido à baixa concentração de elementos químicos analisados nas folhas caducas dos eucaliptos.

Como já foi assinalado, o maior acúmulo de serapilheira em florestas de coníferas em relação às florestas de folhosas é um fenômeno observado no mundo inteiro. Entretanto, este aspecto preocupa os silvicultores e de forma mais acentuada, quando se trata de florestas plantadas de rápido crescimento onde a retenção de nutrientes na serapilheira pode acarretar uma carência nutricional nas árvores. Esta preocupação tem sido mais acentuada entre os pesquisadores que vêm estudando o comportamento de *Pinus radiata* na Austrália e Nova Zelândia. FLORENCE & LAMB (1975) salientam que principalmente em solos arenosos e de baixa fertilidade, os nutrientes contidos no folheto acumulado representam uma grande proporção do estoque total do ecossistema florestal.

A Tab. 7 mostra as taxas de decomposição do folheto depositado nos talhões florestais estudados em Piracicaba e Agudos.

O valor de K (taxa de decomposição) do folheto do eucalipto é ligeiramente superior ao observado por DELITTI (1984) em mata ciliar também situada no interior do Estado de São Paulo. Todavia os valores de K nos talhões de *Pinus* são mais baixos, como aliás era esperado.

Voltando a observar a Tab. 3 nota-se que principalmente no caso das plantações de *Pinus*, a retenção de nitrogênio e fósforo em relação ao total do ecossistema é respectivamente de 9% e 11%. Estes valores são muito elevados se comparados com as porcentagens de acúmulo de nitrogênio e fósforo assinalados na biomassa total das árvores.

Tabela 7 - Taxa instantânea de decomposição (K) e tempo necessário para decomposição de 50% a 95% das folhas acumuladas na serapilheira.

ESPÉCIE	DEPOSIÇÃO ANUAL DE FOLHAS (L)	ACÚMULO DE FOLHEDOS (X_{95})	COEFICIENTE DE DECOMPOSIÇÃO (K)	TEMP. DEC. 50% (anos)	TEMP. DEC. 95% (anos)
<i>Eucalyptus saligna</i>	4490,4	7936,0	0,56	1,2	5,3
<i>Pinus catibaea</i> var. <i>kondurenensis</i>	8373,6	20238,0	0,41	1,7	7,3
<i>Pinus oocarpa</i>	7130,8	19454,0	0,37	1,9	8,1

Isto sugere que cuidados especiais de adubação, manejo e exploração da floresta devam ser tomados para que não haja reflexos na produtividade das rotações futuras em virtude da interrupção do ciclo dos nutrientes, devido à lenta decomposição da serapilheira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATTIWILL, P.M. Nutrient cycling in *Eucalyptus obliqua* forest: 3 - Growth biomass and net primary production. Aust. J. Bot. Melbourne, 27: 439-58, 1979.
- _____. Nutrient cycling in *Eucalyptus obliqua* forest: 4 - Nutrient uptake and nutrient return. Aust. J. Bot. Melbourne, 28: 199-222, 1980.
- COUTINHO, L.M. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado: 3ª Precipitação atmosférica de nutrientes minerais. R. Bras. Bot., São Paulo, 2: 97-101, 1979.
- DELITTI, W.B.C. Aspectos comparativos da ciclagem de nutrientes minerais na mata ciliar no campo cerrado e na floresta implantada de *Pinus elliotti* var. *elliotti*. São Paulo, IB-USP, 1984. 298p. Tese Doutorado
- FLORENCE, R.G. & LAMB, D. Ecosystem processes and the management of the radiata pine forests on sand dunes in South Australia. Proc. Ecol. Soc. Aust. Melbourne, 5: 34-48, 1975.
- GOLLEY, F.B. et alii. Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida. São Paulo, EPU/EDUSP, 1978. 256p.

- LIMA, W.P. O regime de água do solo sob florestas de pinheiros tropicais e sob vegetação de cerrado. Piracicaba, ESALQ/USP, 1979. 86p. Tese Livre-Docência.
- ODUM, E.P. Fundamentos de ecologia. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1959. 320p.
- OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology. Durham, 44 (2): 322-31, 1963.
- POGGIANI, F. et alii. Aspectos da dinâmica de nutrientes e de produção de biomassa em plantações florestais de pinheiros tropicais. In: IUFRO SYMPOSIUM ON PLANTATION FOREST IN THE NEOTROPICS: ITS ROLE AS SOURCE OF ENERGY, Viçosa, fev. 1983 (no prelo).
- PRITCHETT, W.L. Properties and management of forest soils. New York, John Willey, 1979, 500p.
- SILVA, H.D. da Biomassa e aspectos nutricionais de cinco espécies do gênero Eucalyptus plantadas em solo de baixa fertilidade. Piracicaba, ESALQ/USP, 1983. 84p. Tese Mestrado.

ENDEREÇO DO AUTOR

POGGIANI, F.
ESALQ/USP
Departamento de Silvicultura
13400 Piracicaba - SP