

ENTRADA DE NUTRIENTES PELA CHUVA E PELA LIXIVIAÇÃO DAS  
COPAS EM FLORESTAS HOMOGÊNEAS DE PINHEIROS TROPICAIS E  
EM VEGETAÇÃO NATURAL DE CERRADÃO

LIMA, W.P.\*

RESUMO

As chuvas constituem-se em importante fonte de nutrientes para os ecossistemas aquáticos e terrestres. A presença de nutrientes na água da chuva resulta da contaminação por aerossóis, os quais podem agir como núcleos de condensação, ou podem ser removidos da atmosfera pelas gotas em queda. Estes aerossóis são de origem oceânica, terrestre, vulcânica, poluição e queima de combustíveis fósseis. Esta entrada de nutrientes é importante no balanço de nutrientes em uma dada área. Durante a interação com a vegetação a água da chuva desempenha ainda outro importante processo na ciclagem de nutrientes representado pela lixiviação de nutrientes das copas das árvores. Para alguns nutrientes esta lixiviação chega a exceder a quantidade normalmente retornada ao solo pela queda das folhas. Durante o período de junho de 1977 a junho de 1980 a entrada de N, Ca, Mg, K e Na pela água da chuva e pelo processo de lixiviação das copas foi medida semanalmente em florestas homogêneas de pinheiros tropicais e

---

\* ESALQ/USP - Departamento de Silvicultura

em área de cerradão no Município de Agudos, Estado de São Paulo. Coletivamente os resultados médios para os três anos foram os seguintes, em termos de  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  de nutrientes na água da chuva e na lixiviação de florestas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus oocarpa* e vegetação natural de cerradão, respectivamente: N: 7.3, 4.8, 3.9 e 7.0; Ca: 16.5, 22.3, 19.8 e 23.3; Mg: 5.2, 6.8, 6.9 e 12.3; K: 9.8, 28.4, 23.7 e 77.6; Na: 36.4, 37.2, 30.8 e 25.5.

ABSTRACT - INPUT OF NUTRIENTS BY RAIN AND BY CANOPY LEACHING IN TROPICAL PINE PLANTATIONS AND IN "CERRADÃO" VEGETATION

Rainfall is an important source of many nutrients for forest and aquatic ecosystems. The presence of nutrients in rainwater is a result of contamination by aerosols, which can act as condensation nuclei, or be removed from the atmosphere by falling raindrops. These particles may be of oceanic, terrestrial, volcanic, pollution or fossil fuel combustion origins. This input of nutrients is important to the nutrient budget of a given area. In its interaction with the vegetation, rainwater also promotes the leaching of nutrients from the canopy, and this leaching is part of the cycling of nutrients in the ecosystem. For some nutrients, the cycling through the leaching process is more significant than the cycling through litterfall. From June 1977 through June 1980 the concentrations of N, Ca, Mg, K and Na was measured weekly both in rainwater and in throughfall water in tropical pine plantations and in a nearby reserve of "cerradão" vegetation, in Agudos, State of Sao Paulo. The average results for the study period were as follows, in terms of nutrient inputs ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ ) in rainwater and in throughfall water, in the plantations of *Pinus caribaea* and *Pinus oocarpa*, both 13-yr old, and in the "cerradão" vegetation, respectively: N: 7.3, 4.8, 3.9 and 7.0; Ca: 16.5, 22.3,

19.8 and 23.3; Mg: 5.2, 6.8, 6.9 and 12.3; K: 9.8, 28.4, 23.7 and 77.6; Na: 36.4, 37.2, 30.8 and 25.5.

## INTRODUÇÃO

Os nutrientes existentes no solo, fator importante da chamada produtividade do sítio, são oriundos de duas fontes principais: o processo de intemperismo das rochas e a adição pelas chuvas.

A manutenção desta produtividade ao longo de sucessivas rotações florestais depende da velocidade de liberação de novos nutrientes pelo intemperismo e pela adição através das chuvas. A quantificação do primeiro processo é difícil. A longo prazo é, sem dúvida, processo importante na renovação do estoque de nutrientes do solo. A curto prazo, todavia, na escala de utilização do solo pelas plantações florestais, a dependência desta manutenção pela entrada de nutrientes via atmosfera passa a preponderar.

As chuvas, portanto, constituem importante fonte de nutrientes para os ecossistemas terrestres e aquáticos. Numa floresta, esta entrada normal de nutrientes é aumentada significativamente após a interação da água da chuva com as copas das árvores, através do mecanismo de lixiviação. Nem toda a quantidade de nutrientes resultante da lixiviação representa, todavia, adição nova ao solo. Parte é devida ao chamado ciclo biogeoquímico de nutrientes, ou seja resulta da retirada, pela água, de metabólitos lábeis de folhas das árvores, devolvendo-os ao solo. A outra parte resulta da lavagem das partículas secas captadas pelas copas das árvores durante a estiagem e, neste sentido, representa numa contribuição extra de nutriente ao solo que é devida à presença da floresta.

A quantificação destes processos, ou seja da entrada de nutrientes pelas chuvas e da lixiviação de nutrientes das copas das árvores pela água da chuva, representa, portanto,

importante aspecto da ciclagem de nutrientes em um dado ecossistema.

O presente trabalho tem por objetivo a quantificação da entrada de nutrientes pelas chuvas e da lixiviação de nutrientes das copas em plantações homogêneas de pinheiros tropicais e em vegetação natural de cerrado.

## REVISÃO DA LITERATURA

As impurezas químicas da água da chuva são o resultado da contaminação por partículas atmosféricas, os aerossóis, os quais podem agir como núcleo de condensação ou podem ser removidos da atmosfera pelas gotas da chuva em queda. A origem destas partículas pode ser oceânica, terrestre, extraterrestre, poluição, combustíveis fósseis, vulcânica, etc. (HEM, 1970).

Os sais marinhos constituem a fonte primária de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  na água da chuva, além de fornecerem quantidades proporcionalmente menores de  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  (RICHTER et al, 1983). A presença destes íons na água da chuva tende a diminuir com a distância do mar, uma vez que os sais marinhos transportados pelo vento depositam-se rapidamente (FOSTER, 1979). SWANK & HENDERKSON (1976), medindo a entrada de nutrientes pelas chuvas em bacias hidrográficas florestadas nos Estados Unidos, atribuíram a presença de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  como sendo de origem oceânica, não obstante a área experimental estivesse situada a 450 km do mar.

A constatação da origem oceânica de nutrientes na água da chuva pode ser avaliada a partir de alguns índices indicadores, como a relação  $\text{Na}/\text{K}$ , que é de 28 na água do mar, e a relação  $\text{Ca}/\text{Mg}$ , que é de 0,196 para a água do mar. Assim, à medida que se distancia do mar a primeira relação tende a diminuir. Por outro lado, à medida que fontes de origem continental, tais como poeiras, poluição, etc., passam a preponderar na contaminação da água da chuva, a segunda re



lação tende a aumentar (ATTIWILL, 1966; HEM, 1970; EATON et al, 1973; COUTINHO, 1979; DALAL, 1979; FOSTER, 1979).

A presença de cálcio na água da chuva é devida à poeira e a fumaças industriais. Existe também variação temporal associada às atividades agrícolas, como as queimadas por exemplo (COUTINHO, 1979; RICHTER, 1983).

Assim como o cálcio, também o potássio, o fósforo e o sódio são originados da poeira, tanto a produzida pelo vento, como a induzida pelas atividades de uso do solo (DALAL, 1979; LEWIS, 1981; VERRY, 1983). DALAL (1979) argumenta que pelo fato de serem originados do próprio solo (poeira) a presença destes nutrientes na água da chuva não representaria entrada (extra) de nutrientes ao ecossistema, mas seriam apenas parte de um ciclo de poeira local.

Pela medição separada da deposição seca e da precipitação pluviométrica, JOHNSON & SWANK (1973) avaliaram a contribuição da primeira como sendo de 12% de  $\text{Ca}^{2+}$ , 10% de  $\text{Mg}^{2+}$ , 27% de  $\text{K}^+$  e 14% de  $\text{Na}^+$  da entrada total de nutrientes pelas chuvas.

O  $\text{SO}_4^{2-}$  na água da chuva deriva da emissão para a atmosfera de enxofre, tanto por via gasosa, como por partículas, por processos naturais (processos biogênicos e atividade vulcânica), como por processos antrópicos relacionados com a queima de combustíveis fósseis. DALAL (1979) e VERRY (1983) não encontraram correlação entre a concentração de  $\text{SO}_4^{2-}$  e o pH da água da chuva. Todavia RICHTER et al (1983) verificaram correlação positiva entre a concentração de  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{NO}_3^-$  na água da chuva.

Quanto ao nitrogênio, sua presença na água da chuva deriva também de processos naturais relacionados com o ciclo do nitrogênio, bem como de atividades vulcânicas, e de processos antropogênicos. O nitrogênio orgânico na água da chuva, por exemplo, pode originar-se de detritos orgânicos em suspensão na atmosfera (DALAL, 1979). A queima da vegetação, por outro lado, libera óxidos de nitrogênio, que vão aparecer na água da chuva na forma de nitratos (LEWIS, 1981).

As formas amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) são de origem primariamente gasosa, através de processos de volatilização e denitrificação (DALAL, 1979). A forma  $\text{NO}_3^-$  tem sido atribuída como sendo originada, na atmosfera, através da ação de relâmpagos, mas WETSELAAR e HUTTON (1963) não encontraram correlação entre a concentração de nitratos na água da chuva e a ocorrência de relâmpagos. Concluíram que o  $\text{NO}_3^-$  deriva mais da oxidação da amônia do que pela ação dos raios. Assim como RICHTER et al (1983), também FLINN et al (1979) encontraram correlação entre  $\text{NO}_3^-$  e o pH na água da chuva. HENDRY et al (1984) afirmam que o tempo de residência dos óxidos de enxofre e de nitrogênio emitidos para a atmosfera pela queima de combustíveis fósseis varia de 2 a 6 dias, sugerindo, desta forma, que o efeito destas emissões na qualidade da água da chuva pode ter abrangência regional e até continental.

A quantidade de nutrientes que entram no ecossistema pelas chuvas apresenta enorme variação local e temporal, de acordo com a proximidade de fontes emissoras, e em relação à época do ano. Vários trabalhos mostram, por exemplo, maior concentração de nutrientes na água das primeiras chuvas da estação, ou nas chuvas que ocorrem após longo período de estiagem (DALAL, 1979; LIMA, 1979; PEHL & RAY, 1984). Na Tab. 1 são apresentados alguns resultados da quantidade de nutrientes na água da chuva em diferentes locais.

Em ecossistemas florestais, além desta entrada normal de nutrientes através da chuva, a interação desta com as copas das árvores resulta, ainda, em outro importante mecanismo de ciclagem de nutrientes, representado pelo processo de lixiviação.

Esta lixiviação faz parte do processo biogeoquímico da ciclagem de nutrientes. Neste sentido, não seria considerada como entrada adicional de nutrientes ao sítio. Todavia, o enriquecimento da água da chuva em nutrientes após a interação com as árvores provém de duas origens: a lixiviação de metabólitos lábeis dos tecidos das folhas e a lavagem da de

Tabela 1 - Entrada anual de nutrientes no ecossistema pela água da chuva.

LOCAL	NUTRIENTES (kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )							REFERÊNCIA
	N	P	K	Ca	Mg	Na	SO <sub>4</sub>	
Pirassununga, SP	-	0.9	2.6	5.6	0.9	3.5	35.9	COUTINHO, 1979
Agudos, SP	-	-	-	6.7	4.3	-	-	LIMA, 1979
Venezuela	3.8	0.3	4.3	8.6	5.5	16.6	16.3	LEWIS, Jr., 1981
Austrália	60.0	0.1	3.4	3.2	5.9	50.0	9.6	WESTMAN, 1978
Trinidade	19.8	-	21.4	28.0	6.7	24.8	49.0	DALAL, 1979
Amazonas	21.2	24.8	23.4	27.0	3.4	-	44.3	JORDAN et alii, 1980
Alemanha	24.7	0.5	2.1	12.3	1.8	7.1	27.3	BLUM, 1978
Carolina do Sul, EUA	2.6	0.1	0.9	5.7	1.7	5.7	7.5	RICHTER et alii, 1983
Carolina do Norte, EUA	5.8	0.5	3.0	4.8	1.4	-	4.1	BRINSON et alii, 1980
New Hampshire, EUA	1.8	0.1	0.4	0.9	0.2	0.4	5.1	EATON et alii, 1973
Austrália	0.3	-	1.8	3.2	1.1	2.8	-	FLINN et alii, 1979
Austrália	-	-	2.0	2.7	5.4	16.8	-	ATTWILL, 1966
Texas, EUA	4.1	-	3.3	5.0	1.1	9.9	-	PEHL & RAY, 1984
Carolina do Norte, EUA	3.4	0.2	2.0	4.6	1.1	5.1	-	SWANK & HENDERSON, 1976
Tennessee, EUA	6.9	0.7	3.5	19.1	4.4	5.3	-	SWANK & HENDERSON, 1976
França	15.6	1.0	2.4	11.7	2.1	-	-	COLE & RAPP, 1981
Inglaterra	5.8	0.2	3.3	6.9	5.4	-	-	COLE & RAPP, 1981
Papua, Nova Guiné	-	-	0.8	-	0.3	8.3	-	TURVEY, 1974
Agudos, SP	7.3	-	9.8	16.5	5.2	36.4	-	PRESENTE ESTUDO
V A R I A Ç Ã O								
	0.3	0.1	0.8	0.9	0.2	0.4	5.1	
	a	a	a	a	a	a	a	
	60.0	24.8	21.4	28.0	6.7	50.0	49.0	

(-) ausência de dados

posição seca, ou seja das partículas captadas pela vegetação durante o período sem chuva. Desta forma, parte deste material pode ser considerado como nova entrada adicional de nutrientes ao solo, oriundo da captação mecânica das árvores de aerossóis, uma estimativa da qual pode ser avaliada pelos resultados de JOHNSON & SWANK (1973). No conjunto, constituem importante mecanismo de auto-sustentação dos ecossistemas florestais.

EATON et al (1983) afirmam que a quantidade de nutrientes lixiviados das copas das árvores pelas chuvas é maior nos trópicos do que em climas temperados.

A lixiviação é, em geral, maior em espécies latifoliadas do que em coníferas (KAUL & BILLINGS, 1965; WELLS et al, 1972; PEHL & RAY, 1984).

Para alguns nutrientes esta lixiviação é mais efetiva na ciclagem biogeoquímica do que a própria deposição anual de folhas, como é o caso do potássio (McCOLL, 1970). Geralmente os nutrientes associados a moléculas orgânicas (caso do nitrogênio e do fósforo) são lixiviados menos, sendo mais reciclados através da queda das folhas. Já os nutrientes comumente encontrados na forma iônica (potássio, etc.) movem-se mais rapidamente pela lixiviação (EATON et al, 1973).

WESTMAN (1978) verificou, na Austrália, que a lixiviação em florestas esclerofíticas secas de eucalipto é menor do que a que ocorre em florestas de eucalipto de sítios melhores (mesomorfiticas), devido à maior resistência à lixiviação e também devido à menor concentração de nutrientes nas folhas.

No cerrado MORAES & ARENS (1971) também já haviam observado menor lixiviação do potássio, em comparação com plantas cultivadas, tanto pelo menor conteúdo desse nutriente nas folhas das plantas do cerrado, decorrentes da baixa fertilidade do solo, quanto do caráter escleromórfico, o qual atua no sentido de proteger as plantas das perdas excessivas de sais durante as chuvas.

Após a interação com as copas das árvores, pelo pro-



cesso de interceptação, a água da chuva é redistribuída, em direção ao solo, em dois processos: a precipitação interna, decorrente do respingamento das gotas das folhas e dos ramos, e o escoamento pelo tronco, resultado do fluxo laminar da água através dos ramos e do tronco da árvore. A concentração de nutrientes nos dois processos varia de espécie para espécie (KAUL & BILLINGS, 1965; EATON et al, 1973). Alguns exemplos da quantidade de nutrientes lixiviados das árvores pela chuva, através da precipitação interna e do escoamento pelo tronco, em diferentes tipos florestais, podem ser observados na Tab. 2.

COLE (1981) discute estas entradas de nutrientes para o ecossistema florestal (pelas chuvas, pela retenção de partículas pelas copas e pela lixiviação das copas) em função da taxa de retirada de nutriente do solo pelo crescimento da floresta, admitindo que estes mecanismos desempenham importante papel na reposição de nutrientes exportados do solo pela exploração da floresta. O autor afirma, por exemplo, que uma taxa de entrada de nitrogênio pelas chuvas superior a  $5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  seria suficiente para contrabalançar esta exportação.

Em área de cerrado, ALVARES (1979), citado em COUTINHO (1979), verificou que a entrada de nutrientes pelas chuvas representa 26% do fósforo, 14% do potássio, 40% do magnésio, 140% de cálcio, 652% de enxofre e 11,6% de sódio normalmente armazenados na biomassa epigéia do extrato herbáceo subarbustivo do cerrado.

## A ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi desenvolvido na área da Cia. Agro-Florestal Monte Alegre - CAFMA, localizada no Município de Agudos, Estado de São Paulo.

O relevo da região é, em geral, suavemente ondulado e a altitude local é de 590 m.

Tabela 2 - Fluxos de nutrientes na precipitação interna (T) e no escoamento pelo tronco (S) em alguns tipos florestais.

FLORESTA	PROCESSO	NUTRIENTES (kg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )							REFERÊNCIA
		N	P	K	Ca	Mg	Na		
<i>Pinus caribaea</i>	T	-	-	-	10.0	6.0	-	LIMA, 1979	
<i>Pinus taeda</i>	T	3.1	-	7.6	2.5	1.3	2.3	PEHL & RAY, 1984	
<i>Pseudotsuga</i> sp	T + S	3.2	1.0	13.2	7.0	2.0	-	COLE & RAPP, 1981	
<i>Pinus</i> sp	T	4.4	0.7	9.3	8.9	2.2	-	WELLS et alii, 1972	
<i>Picea</i> sp	I + S	16.0	0.4	25.2	13.9	5.2	-	COLE & RAPP, 1981	
<i>Pinus</i> sp	T + S	2.9	0.3	18.7	17.4	2.8	-	COLE E RAPP, 1981	
<i>Eucalypto</i>	T	25.0	-	5.1	10.8	1.3	-	WESTMAN, 1978	
Tropical	T	3.7	14.1	6.3	23.4	2.1	-	JORDAN et alii, 1980	
Tropical	T	-	-	34.1	23.3	6.2	74.9	TURVEY, 1974	
<i>Fagus</i> sp	T	2.2	0.0	16.0	14.3	1.6	4.2	BLUM, 1978	
Latifoliadas mistas	T	8.8	0.6	26.5	6.1	1.8	0.3	EATON et alii, 1973	
Latifoliadas mistas	S	0.0	0.05	3.1	0.0	0.0	0.0	EATON et alii, 1973	
Latifoliadas mistas	T	3.8	0.8	7.4	8.5	5.5	-	BRINSON et alii, 1980	
Latifoliadas mistas	S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	BRINSON et alii, 1980	
<i>Liquidendron</i> sp	T	9.4	0.4	31.7	17.8	-	-	COLE & RAPP, 1981	
<i>Liquidendron</i> sp	S	0.1	0.0	1.0	0.4	-	-	COLE & RAPP, 1981	
<i>Fagus</i> sp	T	19.6	0.7	15.9	22.0	-	-	COLE & RAPP, 1981	
Carvalho + Bétula	T	8.8	0.7	30.3	22.8	-	-	COLE & RAPP, 1981	
Carvalho + Bétula	S	0.4	4.8	5.2	0.03	-	-	COLE & RAPP, 1981	
<i>Pinus oocarpa</i>	T	0.0	-	13.9	3.3	1.7	0.0	PRESENTE ESTUDO	
<i>Pinus caribaea</i>	T	0.0	-	18.6	5.8	1.6	0.8	PRESENTE ESTUDO	
Cerradão	T	0.0	-	67.8	6.8	7.1	0.0	PRESENTE ESTUDO	

(-) ausência de dados

O solo predominante na região é o Latossolo Vermelho-Amarelo fase arenosa. Trata-se de solo típico de cerrado, bastante profundo, bem drenado e de baixa fertilidade.

O clima é do tipo Cwa, segundo Koeppen, com precipitação média anual de 1300 mm, sendo que cerca de 1000 mm deste total caem durante a estação chuvosa, que vai de outubro a março. A temperatura média de inverno gira ao redor de 18.6 °C, e a do verão, de 23.3 °C.

As parcelas experimentais foram instaladas em dois povoamentos de pinheiros tropicais: um de *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis*, de 28,7 ha, plantado em 1966 no espaçamento de 2,5 x 2,0; o segundo de *Pinus oocarpa* Schiede, de 53 ha, de mesma idade e idêntico espaçamento. Uma terceira parcela foi instalada em uma reserva de cerradão adjacente aos povoamentos florestais.

Durante o período experimental, de junho de 1977 a junho de 1980, a altura média e o DAP médio dos pinheiros foram de 20,1 m e 27,0 m para o *Pinus caribaea*, e 19,9 m e 20,1 m para o *Pinus oocarpa*.

## MÉTODOS

A precipitação foi medida através de três pluviômetros tipo "Ville de Paris" instalados em locais abertos próximos às parcelas experimentais. A leitura era feita semanalmente e a precipitação média semanal para a área experimental foi calculada pela média aritmética dos três pluviômetros.

Para a coleta de alíquotas da água da chuva para análise química foram utilizados pluviômetros de acrílico, também em número de três, e instalados ao lado dos pluviômetros comuns. Após cada coleta os aparelhos eram lavados.

Para a medição da precipitação interna foram utilizados interceptômetros de aço inoxidável, em número de 10 por parcela em cada um dos povoamentos florestais. Para a área

de cerradão foram utilizados 16 interceptômetros de plástico constituídos de um recipiente e um funil dotado de tela de nylon. Em todos os casos a medição era semanal. Após a agitação dos interceptômetros era coletada uma alíquota de cada um deles, compondo uma amostra semanal por parcela para a análise qualitativa. Terminada a coleta os interceptômetros eram enxaguados e recolocados ao acaso na parcela experimental.

As amostras semanais eram armazenadas em geladeira até o final de cada mês, quando eram transportadas para Piracicaba, para a análise química. As análises foram feitas no setor de Hidrologia Florestal do Departamento de Silvicultura, através do método de espectrofotometria de absorção atômica para Ca, Mg, K e Na, e de destilação, para o nitrogênio. O pH foi lido em potenciômetro Micronal. A condutividade e a turbidez foram medidas por medidores da marca Hach. A cor foi determinada por colorimetria. A alcalinidade foi determinada por titulação com ácido sulfúrico 0,02 N, e a dureza foi determinada pelo método de cálculo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da precipitação média mensal e do pH e da condutividade das amostras de água da chuva e da precipitação interna nos povoamentos de pinheiros tropicais e na parcela de cerradão são mostrados na Fig. 1.

O pH médio anual da água da chuva é 6.0. Nas parcelas de pinheiros tropicais o pH médio foi de 5.8, e na de cerradão foi de 5.9. Dentro das parcelas florestadas, ou seja na precipitação interna o valor médio mais baixo ocorreu no mês de julho, pico da estação seca e época normal de queimadas na região canavieira que circunda a área. Segundo FLINN et al (1979) o acúmulo de óxidos de nitrogênio e de enxofre liberados na queima da vegetação e captados pelas copas das árvores podem ser responsáveis pelo abaixamento do pH da



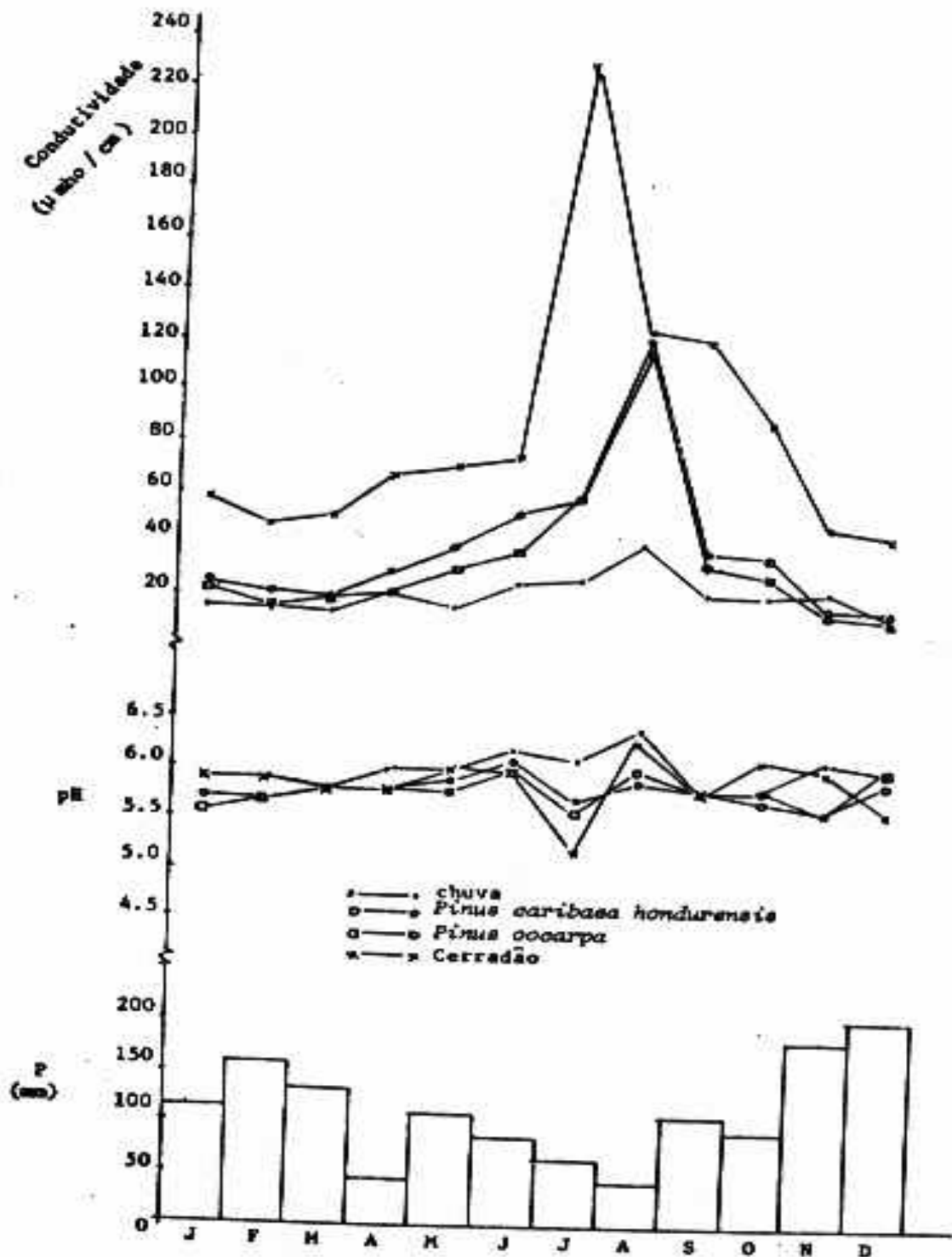


Figura 1 - Precipitação média mensal e valores médios mensais do pH da água e da precipitação interna nas parcelas de pinheiros tropicais e de cerradão. Médias mensais são para o período de junho de 1977 a junho de 1980.

água da chuva interceptada pela vegetação.

Os valores da condutividade específica ilustram o enriquecimento da água da chuva em nutrientes após a interação com as copas das árvores, enriquecimento este maior para o cerrado do que para os pinheiros tropicais. Nota-se, também, o aumento deste efeito nos meses da estação seca do ano, resultado do acúmulo de partículas por deposição seca sobre a vegetação.

As Figs. 2 e 3 ilustram a variação média mensal das concentrações de cálcio e magnésio, e sódio e potássio, respectivamente, juntamente com os dados da precipitação média mensal. Como já implícito nos dados de condutividade, as concentrações médias destes elementos foram sempre maiores na precipitação interna da parcela de cerrado, exceção feita ao sódio, que foi mais lixiviado em pinheiros tropicais.

Esta maior lixiviação de nutrientes pelas chuvas na parcela de cerrado, em comparação com a dos pinheiros, era esperada, de acordo com os dados da literatura (KAUL & BILLINGS, 1965; WELLS et al, 1972).

Os dados de nitrogênio foram baixos e inconsistentes, ficando a concentração média mensal em torno de 0,54, 0,45, 0,36 e 0,73 mg/l para as amostras da chuva e da precipitação interna nas parcelas de *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa* e cerrado, respectivamente.

A Tab. 3 contém os valores médios mensais de turbidez, dureza, cor e alcalinidade para as amostras de chuva e da precipitação interna nas parcelas de pinheiros tropicais e de cerrado. Os resultados estão em concordância com os valores da concentração dos elementos estudados. Nota-se, no conjunto, a relativa participação de aerossóis na alteração da qualidade da água, tanto da chuva quanto da precipitação interna nas parcelas florestadas, pelo aumento dos valores durante a estação seca do ano. A captação dessas partículas parece ser maior no cerrado do que nos pinheiros. A lixiviação das árvores do cerrado, ainda, arrasta uma proporção maior de substâncias orgânicas, conforme os valores bem maiores

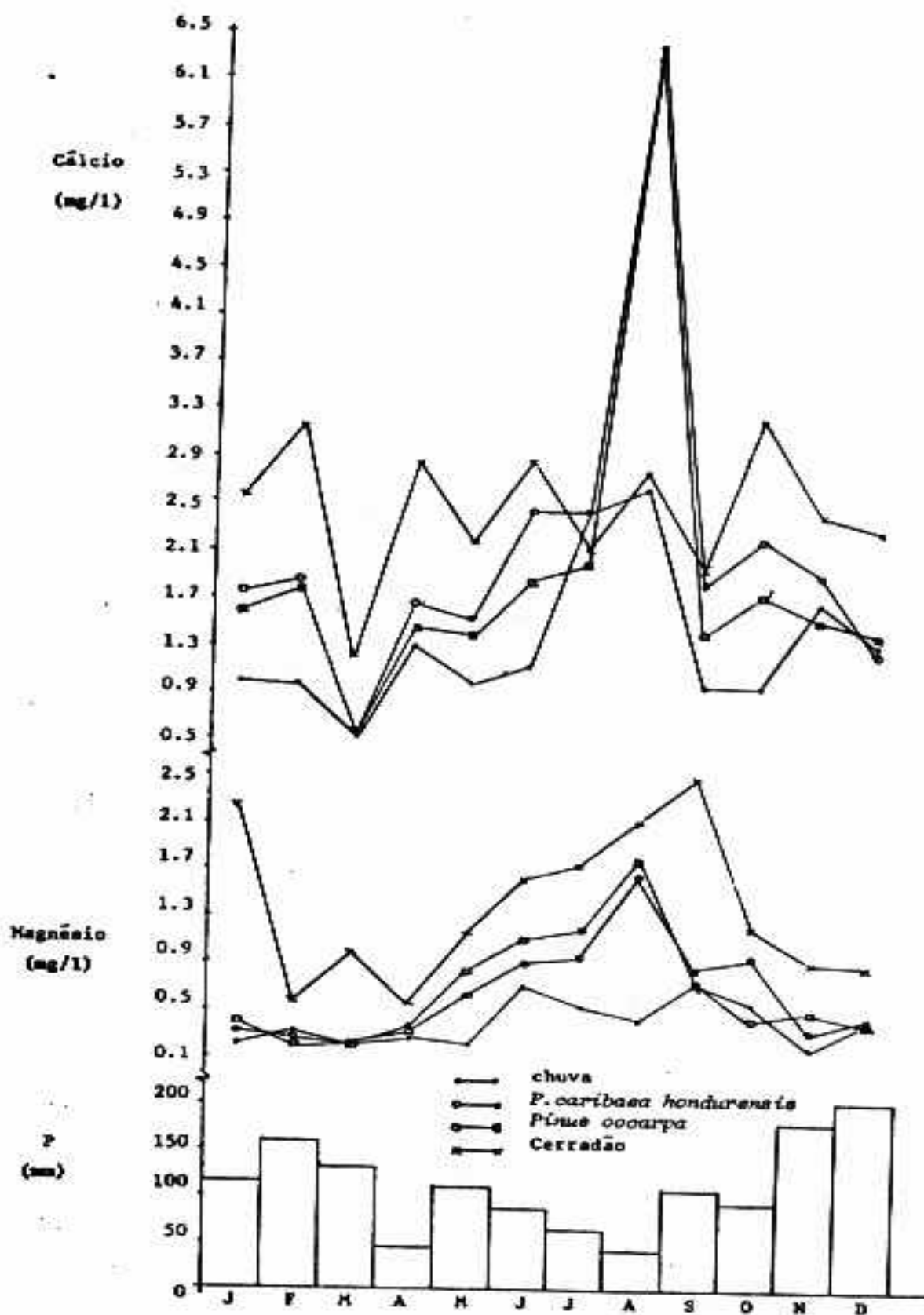


Figura 2 - Precipitação média mensal e valores médios mensais da concentração de magnésio na água da chuva e da precipitação interna nas parcelas de pinheiros tropicais e de cerradão. Médias são para o período de junho de 1977 a junho de 1980

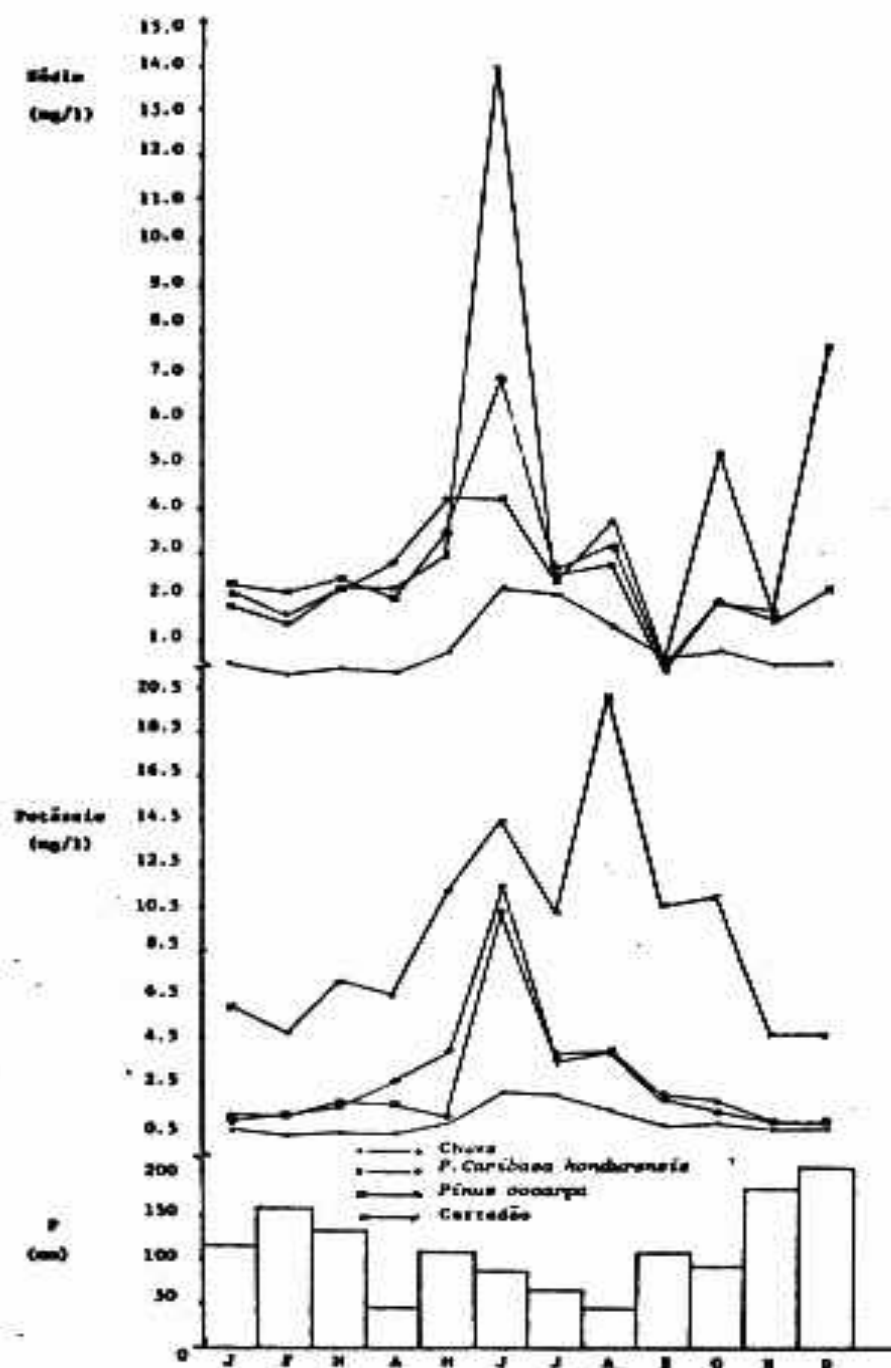


Figura 3 - Precipitação média mensal e valores médios mensais da concentração de potássio na água da chuva e da precipitação interna nas parcelas de pinheiros tropicais e de cerrado. Médias são para o período de junho de 1977 a junho de 1980



Tabela 3 - Valores médios mensais da turbidez, dureza, cor e alcalinidade das amostras de água da chuva (P) e da água da precipitação interna em povoados de *Pinus caribaea hondurensis* (H), *Pinus occarpa* (O) e cerradão (C). Médias são para o período junho de 1977 a junho de 1980.

M E S	TURBIDEZ (FTU)			DUREZA (mg/L CaCO <sub>3</sub> )			COR (unidade Platino-cobalto)			ALCALINIDADE (mg/L CaCO <sub>3</sub> )						
	P	H	O	C	P	H	O	C	P	H	O	C				
JANEIRO	1.1	2.5	2.6	11.0	5.4	8.4	7.2	20.8	11.1	28.3	30.1	97.1	3.7	3.4	3.3	6.8
FEVEREIRO	1.6	2.6	2.4	4.9	4.2	5.9	4.8	9.4	11.9	31.3	26.1	104.6	3.7	3.0	2.6	5.7
MARÇO	1.2	1.6	1.9	7.3	4.6	6.3	4.7	12.6	10.3	21.0	25.5	111.7	3.2	3.3	3.0	5.0
ABRIL	1.5	2.8	2.0	11.9	3.5	5.6	5.2	13.1	19.2	26.1	20.8	190.5	5.3	3.3	3.0	6.8
MAIO	1.7	3.6	2.5	6.4	5.6	7.4	8.0	13.2	18.5	43.2	49.7	148.2	3.7	4.6	3.7	7.1
JUNHO	2.0	12.6	5.6	6.6	4.8	10.5	9.9	15.7	27.8	54.2	42.0	121.6	6.9	8.0	6.3	8.0
JULHO	3.1	6.8	18.3	6.5	10.2	13.6	13.8	18.0	24.3	46.3	80.7	97.5	16.3	19.1	18.7	30.0
AGOSTO	4.8	7.7	11.8	9.3	13.8	31.6	33.4	30.0	58.5	118.8	155.1	193.3	3.5	4.3	6.2	12.0
SETEMBRO	3.8	5.8	5.5	23.7	5.9	9.0	7.7	16.4	27.7	56.2	46.9	128.5	4.1	4.9	5.0	11.9
OUTUBRO	2.5	2.9	2.6	7.8	5.2	8.9	7.2	13.6	20.1	34.6	29.3	132.7	4.5	4.9	4.4	12.7
NOVEMBRO	1.8	1.7	1.7	3.0	5.2	6.5	6.0	10.9	28.0	21.8	19.8	48.7	5.9	3.3	2.9	5.4
DEZEMBRO	1.1	2.0	1.6	7.5	6.0	6.0	5.1	11.0	10.3	20.2	29.1	98.4	4.4	2.7	2.4	5.1
M É D I A	2.2	4.4	4.9	8.8	6.2	10.0	9.4	15.4	22.3	41.8	46.2	122.7	5.4	5.4	5.1	9.7

do parâmetro cor. Em todos os aspectos a diferença entre as duas espécies de pinheiros é pequena, mas ambas apresentam valores menores do que o cerradão.

A Fig. 4 mostra os valores médios da quantidade de nutrientes que entraram nos ecossistemas durante o período estudado, tanto pela água da chuva, quanto pelo processo de lixiviação. Merece destaque a expressiva participação da lixiviação na ciclagem do potássio e do cálcio. No caso do potássio, por exemplo, a diferença entre o que chega com a chuva e o que é lixiviado das copas atinge quase  $70 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

POGGIANI (1985) mediu a biomassa e o acúmulo de nutrientes na biomassa das plantações de pinheiros tropicais estudados no presente trabalho, obtendo os seguintes resultados para a taxa anual de absorção de nutrientes nas duas espécies de pinheiros:

	$\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$				
	<u>N</u>	<u>P</u>	<u>K</u>	<u>Ca</u>	<u>Mg</u>
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	21.7	1.1	10.7	7.3	2.4
<i>Pinus oocarpa</i>	17.2	1.2	9.3	7.3	1.8

O confronto dos dados da Fig. 4 com estes resultados permite verificar que as taxas médias de entrada de nutrientes na água da chuva na região equivalem às seguintes porcentagens da absorção média anual de nutrientes pelas espécies de pinheiros tropicais estudados:

	<u>N</u>	<u>K</u>	<u>Ca</u>	<u>Mg</u>
<i>Pinus caribaea</i>	33	91	226	216
<i>Pinus oocarpa</i>	42	105	226	288

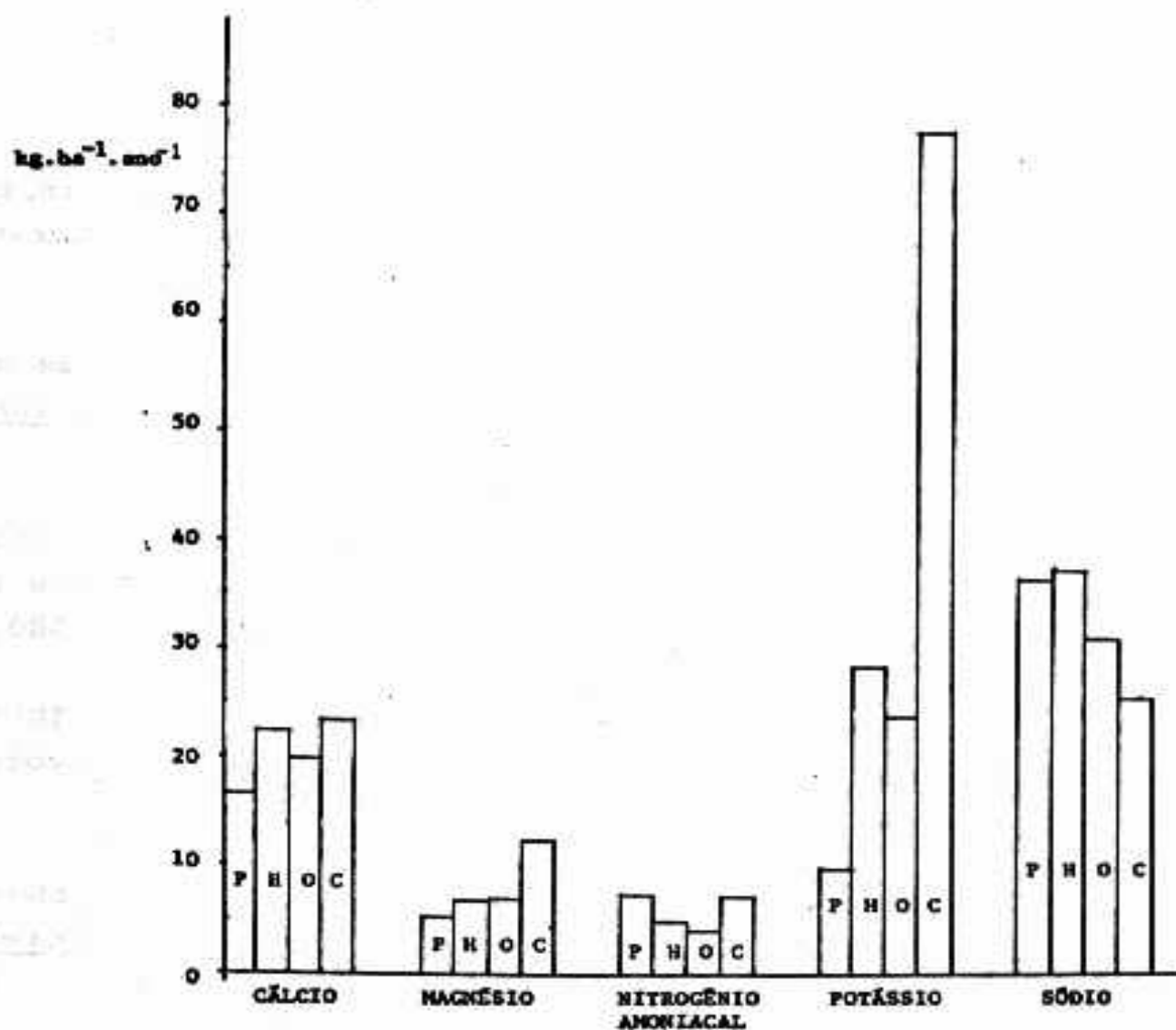


Figura 4 - Fluxos médios anuais de cálcio, magnésio, nitrogênio amoniacal, potássio e sódio, na água da chuva (P) e na precipitação interna em *Pinus caribaea hondurensis* (H), *Pinus oocarpa* (O) e na parcela do cerradão (C). Fluxos representam média de 3 anos de medições.

Estes números ilustram, para as condições do presente experimento, a importância da chuva como fonte de nutrientes para o ecossistema florestal na região.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATTIWILL, P.M. The chemical composition of rainwater in relation to cycling of nutrients in mature *Eucalyptus* forest. Plant Soil, 24(3): 390-406, 1966.
- BLUM, W.E.H. Alternativas e restrições ecológicas de um manejo racional da floresta amazônica. Silvicultura, 13A: 77-84, 1978.
- BRINSON, N.M.; BRADSHAW, H.D.; HOLMES, R.N.; ELKINS JR., J.B. Litterfall, stemflow, and throughfall nutrient fluxes in an alluvial swamp forest. Ecology, 61(4): 827-35, 1980.
- COLE, D.W. Nutrient cycling in world forest. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 17, Kyoto, 1981. Proceedings... Kyoto, 1981. p. 139-60.
- COLE, D.W. & RAPP, M. Elemental cycling in forest ecosystems. In: REICHLE, D.E., ed. Dynamic properties of forest ecosystems. Cambridge, Cambridge University, 1980. p. 341-409.
- COUTINHO, L.M. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado. III A precipitação atmosférica de nutrientes minerais. R. Bras. Bot. (2): 97-101, 1979.
- DALAL, R.C. Composition of Trinidad rainfall. Water Resour. Res., 15(5): 1217-23, 1979.
- EATON, J.S.; LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H. Throughfall and



- stemflow chemistry in a northern hardwood forest. J. Ecol., 61: 495-508, 1973.
- FLINN, E.W.; BREN, L.J.; HOPMANS, P. Soluble nutrient inputs from rain and outputs in stream water from small forested catchments. Aust. For., 42(1): 39-49, 1979.
- FOSTER, I.D.L. Chemistry of bulk precipitation, throughfall, soil water and stream water in a small catchment in Devon, England. Catena, 6: 145-55.
- HEM, J.D. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Washington, Geological Survey Water-Supply, 1970. 363p. (Paper 1473)
- HENDRY, C.D. Precipitation chemistry at Turrialba, Costa Rica. Water Resour. Res., 20 (11): 1677-84, 1984.
- JOHNSON, P.L. and SWANK, W.T. Studies of cation budgets in the southern Appalachians on four experimental watersheds with contrasting vegetation. Ecology, 54: 70-80, 1973.
- JORDAN, C.; GOLLEY, F.; HALL, J.; HALL, J. Nutrient scavenging of rainfall by the canopy of an amazonian rain forest. Biotropica, 12(1): 61-6, 1980.
- KAUL, O.N. & BILLINGS, W.D. Cation content of stemflow in some forest trees in North Carolina. Indian For., 91(6): 367-70, 1965.
- LEWIS JR., W.M. Precipitation chemistry and nutrient loading by precipitation in a tropical watershed. Water Resour. Res., 17(1): 169-81, 1981.
- LIMA, W.P. Alteração do pH, da condutividade e das concentrações de Ca, Mg e P da água da chuva em floresta de *Pinus caribaea* Mor. var. *caribaea*. IPEF, Piracicaba, (18):

37-54, 1979.

MCCOLL, J.G. Properties of some natural waters in a tropical wet forest of Costa Rica. Bioscience, 20: 1096-100, 1970.

MORAES, J.A.P.V. & ARENS, K. Potássio e a sua lavagem em folhas de plantas do cerrado em comparação com plantas cultivadas. III SIMPOSIO SOBRE O CERRADO, 9, 1971, São Paulo, Edgard Blücher, USP, 1971. p. 199-200.

PEHL, C.E. & RAY, K.F. Atmospheric nutrient inputs to three forest types in east Texas. For. Ecol. and Manag., 7: 11-8, 1984.

POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus*. Implicações Silviculturais. Piracicaba, ESALQ/USP, 1985. 211p. Tese Livre Docência.

RICHTER, D.D.; RALSTON, C.W.; HARMS, W.R. Chemical composition and spatial variation of bulk precipitation at a coastal plain watershed in South Carolina. Water Resour. Res., 19(1): 134-40, 1983.

SWANK, W.T. & HENDERSON, G.S. Atmospheric input of some cations and anions to forest ecosystems in North Carolina and Tennessee. Water Resour. Res., 12(3): 541-6,

TURVEY, N.D. Water in the nutrient cycle of a Papuan rain forest. Nature. 251: 414-5, 1974.

VERRY, E.S. Precipitation chemistry at the Marcell Experimental Forest in north central Minnesota. Water Resour. Res., 19(2): 454-62, 1983.

WELLS, C.G.; WHIHAM, D.; LIETH, H. Investigation of mineral

nutrient cycling in a upland piedmont forest. J. Elisha Mitchell Scient. Soc., 88(2): 66-78, 1972.

WESTMAN, W.E. Inputs and cycling of mineral nutrients in a coastal subtropical eucalypt forest. J. Ecol., 66: 513-31, 1978.

WETSELAAR, R. & HUTTON, J.T. The ionic composition of rain water at Katherine, NT, and its part in the cycling of plant nutrients. Aust. J. Agric. Res., 14(3): 319-29, 1963.

#### AGRADECIMENTO

Experimento realizado com o apoio financeiro do BNDES, Projeto USP-BNDE/FUNTEC nº 306/76. A área experimental pertence à Cia. Agro-Florestal Monte Alegre, a quem agradecemos, na pessoa de seu Diretor, Dr. Francisco Bertolani, o apoio irrestrito à instalação do trabalho e à coleta de dados de campo.

#### ENDEREÇO DO AUTOR

LIMA, W.P.  
ESALQ/USP  
Departamento de Silvicultura  
13400 Piracicaba - SP