

# QUALIDADE DA ÁGUA E DINÂMICA DOS NUTRIENTES EM BACIA HIDROGRÁFICA RECOBERTA POR FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA\*

Francisco Carlos Soriano ARCOVA\*\*

Valdir de CICCIO\*\*

Pedro Yoichi SHIMOMICHI\*\*\*

## RESUMO

O balanço dos nutrientes Ca, Mg, K, NO<sub>3</sub> e do Na, na bacia hidrográfica experimental D, do Laboratório de Hidrologia Florestal Engenheiro Agrônomo Walter Emmerich, foi estimado durante dois anos; de janeiro de 1984 a janeiro de 1986. O pH, a cor, a turbidez, a condutividade elétrica e a temperatura da água do deflúvio também foram estudados. Os principais resultados foram: o balanço foi negativo para todos os nutrientes, sendo os fluxos de entrada via precipitação, de saída via deflúvio e a diferença entre ambos, em Kg/ha/ano, respectivamente: ano de 1984 - Ca: 4,06; 11,71 e -7,65; Mg: 1,25; 4,07 e -2,82; K: 3,66; 6,75 e -3,09; NO<sub>3</sub>: 9,36; 14,54 e -5,18; Na: 12,02; 26,88 e -14,89; ano de 1985 - Ca: 1,06; 19,65 e -18,59; Mg: 0,70; 8,90 e -8,20; K: 6,79; 13,91 e -7,12; NO<sub>3</sub>: 8,53; 22,15 e -13,62; Na: 9,68; 36,8 e -27,12. As maiores perdas líquidas no segundo ano ocorreram devido a elevadas taxas de deflúvio nos meses iniciais, em função de chuvas intensas no período. Todos os parâmetros físicos apresentaram níveis desejáveis de qualidade da água, se considerado, por exemplo, o uso para abastecimento público. Baixos valores de pH e da condutividade refletiram os solos pobres e intemperizados e a litologia da área. A cor foi influenciada pelo material orgânico em solução na água. A vegetação da bacia evitou temperaturas extremas da água do deflúvio.

Palavras-chave: balanço de nutrientes; qualidade da água; bacia hidrográfica; mata atlântica.

## 1 INTRODUÇÃO

O balanço de nutrientes em bacias hidrográficas experimentais é um instrumento muito utilizado na obtenção de informações sobre a ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais.

## ABSTRACT

Ca, Mg, K, NO<sub>3</sub> and Na budget was estimated during two years: from January, 1984 to January, 1986, on D experimental watershed at the Engenheiro Agrônomo Walter Emmerich Hydrologic Laboratory. pH, color, turbidity, electric conductivity and streamwater temperature were also studied. The major results were: the budget was negative for all nutrients, being the input flux by rain, output by streamwater and the difference between them, in Kg/ha/year, respectively: year of 1984 - Ca: 4.06, 11.71 and -7.65; Mg: 1.25, 4.07 and -2.82; K: 3.66, 6.75 and -3.09; NO<sub>3</sub>: 9.36, 14.54 and -5.18; Na: 12.02, 26.88 and -14.89; year of 1985 - Ca: 1.06, 19.65 and -18.59; Mg: 0.70, 8.90 and -8.20; K: 6.79, 13.91 and -7.12; NO<sub>3</sub>: 8.53, 22.15 and -13.62; Na: 9.68, 36.8 and -27.12. The biggest net losses on second year occurred due to high streamwater fluxes on the first months as a consequence of the high intensity rains. Low levels of pH and electric conductivity were noticed due to poor and very weathering soil and also due to granitic geology of the watershed. Color was mainly influenced by organic matter in solution in water. The watershed vegetation protected the streamwater from extreme temperatures.

Key words: nutrients budget; water quality; watershed; "mata atlântica".

Pela diferença entre os fluxos de entrada nas chuvas e saída no curso d'água de uma bacia, pode-se inferir sobre perdas e ganhos líquidos de nutrientes em um ecossistema, estimando as

(\*) Aceito para publicação em março de 1993.

(\*\*) Instituto Florestal - Caixa Postal 1322 - 01059-970 - São Paulo, SP.

(\*\*\*) Fundação para a Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo - Caixa Postal 1322 - 01059 - São Paulo, SP.

ARCOVA, F. C. S. *et al.* Qualidade da água e dinâmica dos nutrientes em bacia hidrográfica recoberta por floresta de mata atlântica.

quantidades acumuladas e/ou exportadas destes. Pode-se assim, conjuntamente com o monitoramento da qualidade da água, avaliar os efeitos do manejo florestal em bacias hidrográficas.

Como parte das pesquisas em manejo de bacias hidrográficas realizadas no Laboratório de Hidrologia Florestal Engenheiro Agrônomo Walter Emmerich, o balanço de nutrientes foi estimado em uma pequena bacia hidrográfica experimental.

O trabalho é o resultado de dois anos de amostragem das águas das chuvas e do deflúvio. Aos dados somam-se aqueles do artigo anteriormente publicado referente ao período de um ano de estudos, ARCOVA *et al.* (1985). Os objetivos foram quantificar os balanços de Ca, Mg, K, Na e  $\text{NO}_3$  e caracterizar a água do deflúvio da bacia para o pH, turbidez, cor, condutividade elétrica e temperatura.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As quantidades de nutrientes ganhos ou perdidos anualmente por um ecossistema são influenciadas por diversos fatores tais como: propriedades do solo, condições climáticas, tipo de vegetação e local do ecossistema em relação ao mar e áreas industriais, PRITCHETT (1987).

Nos ecossistemas florestais os nutrientes são constantemente ciclados entre a biomassa e o solo e internamente transferidos. Os padrões de ciclagem dos nutrientes são dependentes, além das propriedades físico-químicas de cada elemento e de sua função fisiológica, do ciclo hidrológico que controla a lixiviação da biomassa e do solo, da disponibilidade no solo e da taxa de intemperismo. Segundo FLINN *et al.* (1979), a interação destes vários processos determina o balanço de nutrientes de um ecossistema.

FELLER (1981) destaca que a precipitação atmosférica (chuvas e poeira em suspensão no ar) e o intemperismo geológico são dois importantes mecanismos de entrada de nutrientes para ecossistemas florestais, sendo o deflúvio o principal mecanismo de perdas.

A composição química das águas de chuva é atribuída aos núcleos de condensação que formam suas gotas, e por partículas em suspensão na atmosfera que são arrastadas pelas chuvas. Estas podem ser de origem marinha ou continental. Os sais marinhos são a fonte principal de Na, Cl, Mg e K, enquanto os componentes de origem terrestre introduzem principalmente Ca, P e  $\text{NO}_3$ . O Ca e o P resultam das atividades que envolvem o uso da terra, como a queima de restos vegetais, poeira de estradas de terra e de áreas agriculturáveis. O  $\text{NO}_3$ , na maioria das vezes, tem como fonte principal os poluentes industriais expelidos na atmosfera, estando as elevadas concentrações deste ion relacionadas com a presença de poluição, WALLING (1980). As partículas de nitrogênio produzidas na queima de combustíveis fósseis são transportadas a grandes distâncias na atmosfera, conforme mencionado por LIKENS *et al.* (1977). Estes autores encontraram em Hubbard Brook - EUA, concentrações da ordem de 1,47 mg/l; valores não esperados uma vez que a área de pesquisa estava a mais de 100 km de distância de qualquer centro urbano-industrial.

TAVARES *et al.* (1983) efetuaram análises químicas na água da chuva nos municípios de Ubatuba, São José dos Campos e Campos do Jordão, no Estado de São Paulo. Encontraram as maiores concentrações de Na, Mg e Cl nas precipitações de Ubatuba, atribuindo ao Oceano Atlântico sua principal fonte injetora desses ions no local. Constataram também o decréscimo das concentrações com o distanciamento do mar.

SILVA FILHO *et al.* (1985) estimaram o balanço de alguns nutrientes em bacia hidrográfica com vegetação secundária de Mata Atlântica, no Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro. Os autores calcularam que a participação da fonte marinha nas entradas atmosféricas em grandes chuvas chegava a 50 % para o Ca e K, 85 % para o Mg e acima de 80 % para o Na devido a pequena distância entre a área de estudo e o mar, isto é, apenas 8 km. A saída dos nutrientes pelo rio apresentou grande

ARCOVA, F. C. S. *et al.* Qualidade da água e dinâmica dos nutrientes em bacia hidrográfica recoberta por floresta de mata atlântica.

contribuição das entradas atmosféricas, da ordem de 80 %, 90 %, 25 % e 20 % respectivamente, para o Na, Mg, Ca e K que saíam da bacia; sendo que a proporção de Na, K e Ca não relacionadas com estas entradas estariam sendo liberadas pelo intemperismo de minerais no solo e/ou rocha.

A qualidade da água do deflúvio de uma bacia hidrográfica florestada em condições naturais é resultado das interações da água das chuvas com a vegetação, solo e rocha. Sendo distribuída através dos diferentes compartimentos da bacia por meio de vários processos de transferência, a qualidade final da água dos rios será diferente daquela das chuvas, WALLING (1980). Nestas condições a cobertura florestal promove a proteção contra a erosão dos solos, a sedimentação, a lixiviação excessiva de nutrientes e a elevação dos níveis de temperatura da água.

Dentre os vários parâmetros físicos de qualidade da água o pH, a turbidez, a condutividade elétrica, a cor e a temperatura são, frequentemente, utilizados no monitoramento de bacias hidrográficas experimentais.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área Experimental

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Hidrologia Florestal Engenheiro Agrônomo Walter Emmerich, no Núcleo Cunha do Parque Estadual da Serra do Mar, na bacia hidrográfica experimental D, monitorada desde 1982.

O Núcleo está situado no município de Cunha-SP, entre as coordenadas geográficas 23°13'28" a 23°16'10" de latitude Sul e 45°02'53" a 45°05'15" de longitude Oeste. Dista, aproximadamente, 30 km do Oceano Atlântico, FIGURA 1.

A bacia hidrográfica apresenta as seguintes características topográficas: área (56,04 ha), altitude média (1125,1 m), declividade média (25° 10'), comprimento do rio principal (1260,0 m), comprimento total dos canais

(1550,0 m), largura média da bacia (444,8 m) e conforme STHRALER (1957) a bacia é de segunda ordem.

A área é recoberta por vegetação natural secundária de mata atlântica, com grande diversidade de famílias, incluindo representantes das Myrtaceas, Proteaceas, Melastomataceas, Lauraceas, Malpighiaceas, Magnoliaceas, dentre outras. Seu solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo fase rasa, proveniente de rochas duras, orientadas e de difícil intemperização, como gnaisses, migmatitos e granitos. É quimicamente pobre, ácido e relativamente raso, com textura grosseira, estrutura fraca, elevada porosidade e boa permeabilidade, FURIAN & PFEIFFER (1986).

Pela classificação de Köppen, a região apresenta clima tipo Cwa; clima mesotérmico de inverno seco com temperaturas inferiores a 18°C no inverno e superiores a 22°C no verão. A temperatura média anual é de aproximadamente 16,5°C e a umidade relativa 79 %. A pluviosidade média anual é de 2000,0 a 2500,0 mm; o período chuvoso está compreendido entre outubro e março e o período seco entre abril e setembro.

#### 3.2 Amostragem da Água, Métodos de Laboratório e Hidrometria

As coletas de água foram feitas em intervalos semanais, por aproximadamente, 2 anos, durante o período de 31 de janeiro de 1984 a 8 de janeiro de 1986. Para amostragem dos nutrientes que entram na bacia pelas precipitações, a água das chuvas foi coletada por meio de cinco dispositivos plásticos constituídos de funil e recipiente armazenador, instalados em clareiras no interior da bacia. A água do deflúvio foi coletada na saída da bacia.

As amostras de água foram armazenadas em garrafas plásticas e colocadas em geladeira até o momento das análises físico-químicas, as quais foram realizadas no Laboratório de Hidrologia e Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ-USP.

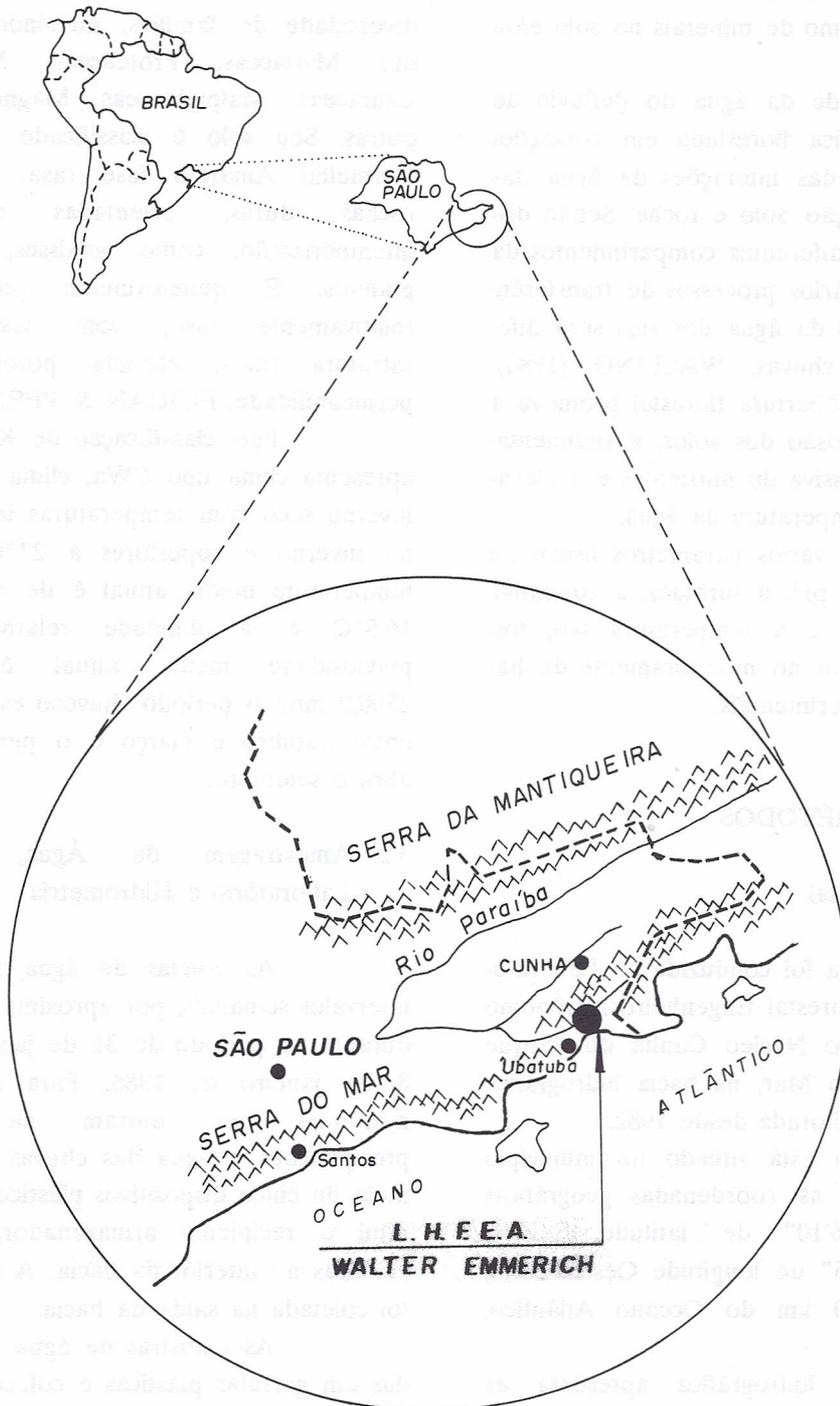


FIGURA 1 - Localização do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich.

As concentrações dos cátions foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica e as concentrações de  $\text{NO}_3$  pelo método da Brucina com colorímetro. O pH, turbidez, cor e a condutividade elétrica foram medidos com potenciômetro, turbidímetro, colorímetro e condutivímetro, respectivamente.

A temperatura da água foi medida com um termógrafo de período de registro mensal e escala de variação de  $-15$  a  $+50^\circ\text{C}$ , instalado no vertedouro da bacia. Tomou-se as temperaturas máximas e mínimas absolutas diárias, para estimar as temperaturas médias em cada dia. Este parâmetro incluiu ainda dados coletados nos anos de 1982 e 1983.

Os fluxos semanais de entrada e saída dos nutrientes foram calculados de acordo com a equação 1:

$$F(\text{mg}/\text{m}^2/\text{t}) = V(\text{mm}) \cdot C(\text{mg}/\text{l}) / T \dots\dots\dots 1$$

onde:

F = fluxo de nutrientes em mg por  $\text{m}^2$  por tempo;

V = valores de precipitação ou deflúvio em mm;

C = concentração dos nutrientes da água da chuva ou do deflúvio em mg/l, e

T = tempo decorrido.

As quantidades de precipitação pluviométrica foram obtidas pela média aritmética de quatro pluviógrafos, instalados em clareiras na bacia. A água do deflúvio foi quantificada em uma estação fluviométrica equipada com linígrafo, instalada na saída da bacia.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Aspectos Hidrológicos

A precipitação pluviométrica e o deflúvio mensal da bacia estão na FIGURA 2. O ano de 1984 foi típico quanto a distribuição, embora

a quantidade de chuva (1801,0 mm) tenha sido inferior à média anual. O ano de 1985 caracterizou-se por apresentar os quatro primeiros meses com excessivos índices pluviométricos e chuvas de grande intensidade. O total precipitado neste período correspondeu a 69 % da precipitação anual que foi de 2753,0 mm. Em 1984, na mesma época, as chuvas corresponderam a um valor da ordem de 45 %.

Como a precipitação, o deflúvio no primeiro ano mostrou-se regularmente distribuído. Em 1985, ao contrário, as fortes chuvas provocaram grandes taxas de escoamento total de aproximadamente 71 % da produção hídrica anual. No mesmo período em 1984, os valores estiveram próximos a 49 %. Nos meses de maio e junho foram ainda registradas elevadas taxas em função destas chuvas. A partir de julho a distribuição das chuvas e do deflúvio foi semelhante para os dois anos.

A pequena variação do deflúvio durante 1984, ano típico quanto ao regime de chuvas, demonstrou a grande influência do solo e da floresta local na regularização do regime de vazões do rio da bacia hidrográfica. A infiltração da água no solo foi favorecida pela sua boa permeabilidade e condições de recebimento das chuvas, proporcionadas pela vegetação arborea e arbustiva e pela matéria orgânica do solo da floresta.

Os totais anuais de precipitação e deflúvio estão na TABELA 1. Pela diferença entre seus valores estimou-se as perdas de água pela evapotranspiração. A maior parte da água precipitada na bacia abandonou esta como deflúvio e o restante retornou a atmosfera pelo processo de evapotranspiração.

O percentual de evapotranspiração registrado no primeiro ano foi semelhante aos encontrados por CICCIO *et al.* (1985a e 1985b) em estudos realizados na mesma bacia, isto é da ordem de 30 %. No segundo ano a evapotranspiração foi bastante inferior, como resultado das fortes chuvas ocorridas nos meses iniciais, com quase toda água deixando a bacia imediatamente após atingir o solo como escoamento superficial direto.

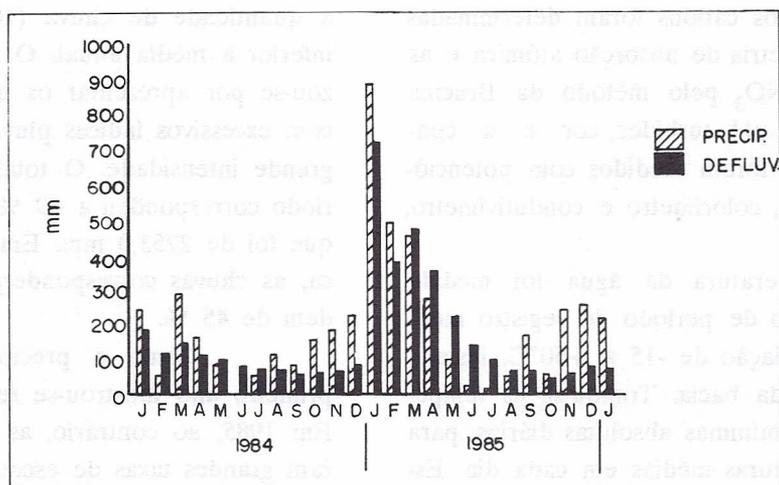


FIGURA 2 - Precipitação e deflúvio mensal na bacia hidrográfica D.

TABELA 1 - Balanço hídrico da bacia hidrográfica D.

Período	Precipitação	Deflúvio	Evapotranspiração
1984	1801,0 mm	1143,4 mm	657,6 mm
	100,0 %	63,5 %	36,5 %
1985	2753,0 mm	2574,6mm	178,4 mm
	100,0 %	93,5 %	6,5 %

## 4.2 Aspectos Químicos

### 4.2.1 Água das Chuvas

As concentrações iônicas semanais dos nutrientes na água das chuvas estão na FIGURA 3. Ocorreu uma grande variação dos dados com o tempo, em resposta aos diferentes fatores que afetam as características químicas da chuva, como variações na quantidade, intensidade e distribuição das precipitações, alterações na trajetória de massas de ar e contribuição de diferentes fontes injetoras de íons na atmosfera.

O primeiro ano apresentou as maiores concentrações. Estas ocorreram em julho, após estiagem observada nos dois meses anteriores. Isto aconteceu devido as chuvas de julho carregarem em direção ao solo as partículas em suspensão que se acumularam na atmosfera no período

mais seco. Em 1985 o mesmo comportamento não foi observado, sendo as maiores concentrações registradas no mês de novembro. Problemas de amostragem, com a ausência de coletas em algumas semanas do segundo ano, impossibilitaram uma melhor análise neste sentido. De qualquer forma, a contribuição por poeira em suspensão na atmosfera proveniente de estradas de terra e áreas agriculturáveis vizinhas ao núcleo deve ter sido reduzida, devido ao escasso tráfego de veículos restrito a uma única estrada e as pequenas áreas de agricultura na região. Esta contribuição limita-se aos meses mais secos do ano. Nos demais meses, as constantes chuvas reduzem a formação de material particulado, o qual poderia ter contribuído substancialmente para o enriquecimento das concentrações.

Na TABELA 2 tem-se as médias aritmética e ponderada das concentrações iônicas para cada período. Para o cálculo da média ponderada utilizou-se as quantidades de chuva como fator de peso.

Deve-se destacar as elevadas concentrações de sódio, que indicam que massas de ar oriundas do mar influenciaram fortemente a química das águas de chuva e, conseqüentemente, os fluxos de entrada dos nutrientes para o sistema. Em locais costeiros ou próximos ao mar, como Cunha, a precipitação química é dominada pelo material de origem oceânica.

ARCOVA, F. C. S. et alii. Qualidade da água e dinâmica dos nutrientes em bacia hidrográfica recoberta por floresta de mata atlântica.

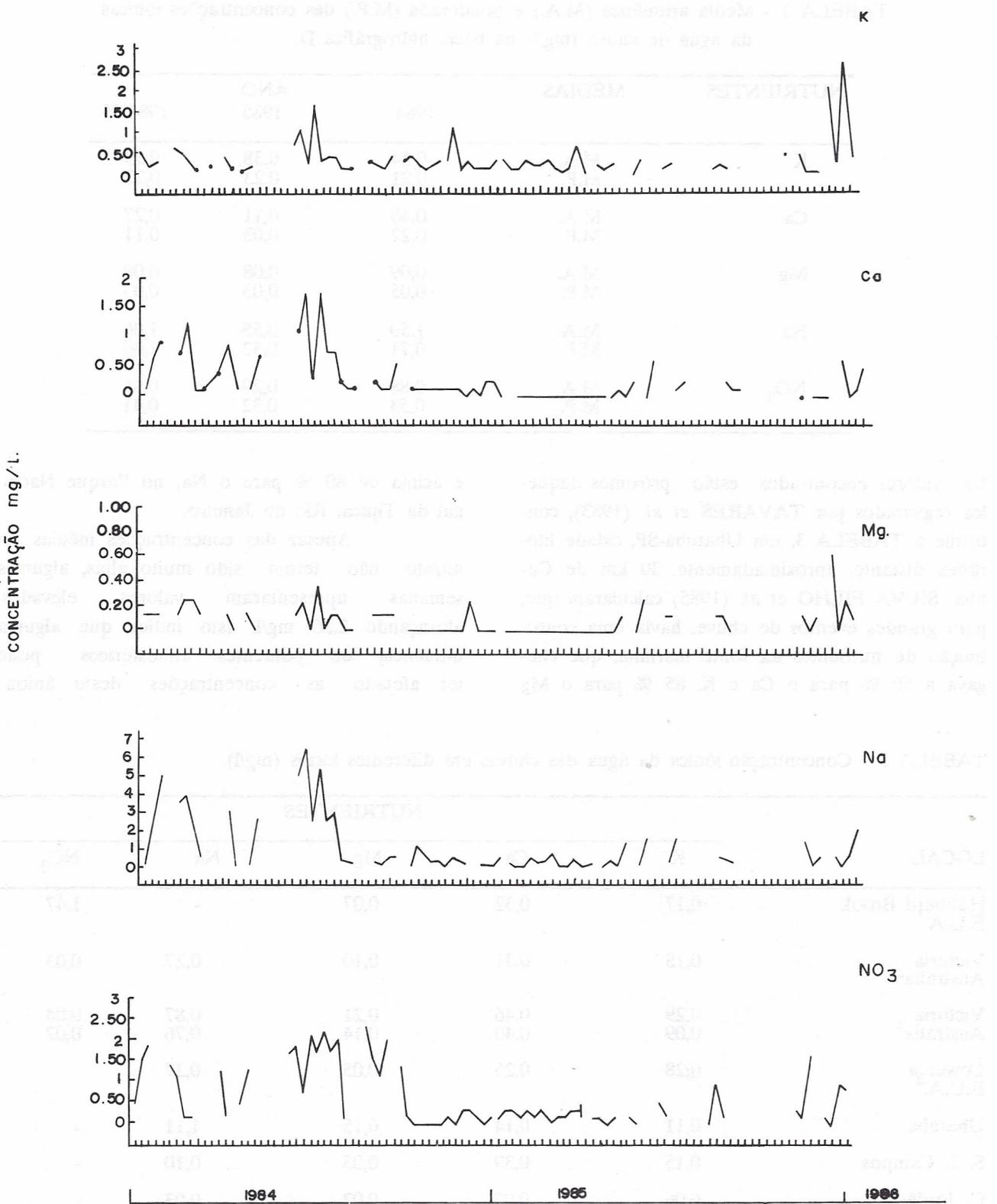


FIGURA 3 - Variação das concentrações semanais dos nutrientes na água das chuvas da bacia hidrográfica D.

TABELA 2 - Média aritmética (M.A.) e ponderada (M.P.) das concentrações iônicas da água de chuva (mg/l) na bacia hidrográfica D.

NUTRIENTES	MÉDIAS	ANO		
		1984	1985	1984/85
K	M.A.	0,34	0,38	0,35
	M.P.	0,21	0,23	0,22
Ca	M.A.	0,40	0,11	0,27
	M.P.	0,22	0,03	0,11
Mg	M.A.	0,09	0,08	0,08
	M.P.	0,05	0,03	0,03
Na	M.A.	1,50	0,55	1,06
	M.P.	0,71	0,32	1,06
NO <sub>3</sub>	M.A.	0,88	0,29	0,61
	M.P.	0,53	0,32	0,41

Os valores encontrados estão próximos daqueles registrados por TAVARES *et al.* (1983), conforme a TABELA 3, em Ubatuba-SP, cidade litorânea distante, aproximadamente, 30 km de Cunha. SILVA FILHO *et al.* (1985) calcularam que, para grandes eventos de chuva, havia uma contribuição de nutrientes da fonte marinha, que chegava a 50 % para o Ca e K, 85 % para o Mg

e acima de 80 % para o Na, no Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro.

Apesar das concentrações médias do nitrato não terem sido muito altas, algumas semanas apresentaram valores elevados, alcançando 2,36 mg/l. Isto indica que alguma influência de poluentes atmosféricos pode ter afetado as concentrações deste ânion.

TABELA 3 - Concentração iônica da água das chuvas em diferentes locais (mg/l).

LOCAL	NUTRIENTES				
	K	Ca	Mg	Na	NO <sub>3</sub>
Hubbard Brook E.U.A. <sup>1</sup>	0,17	0,32	0,07	-	1,47
Victoria Austrália <sup>2</sup>	0,18	0,31	0,10	0,27	0,03
Victoria Austrália <sup>3</sup>	0,29 0,09	0,46 0,40	0,21 0,14	0,87 0,76	0,04 0,02
Coweeta E.U.A. <sup>4</sup>	0,28	0,25	0,05	0,37	-
Ubatuba	0,11	0,14	0,15	1,11	-
S. J. Campos	0,15	0,39	0,05	0,10	-
C. Jordão Brasil <sup>5</sup>	0,06	0,07	0,02	0,03	-
Cubatão Brasil <sup>6</sup>	2,53	13,86	1,73	1,95	4,38

(1) LIKENS *et al.* (1977), (2) FLINN *et al.* (1979), (3) FELLER (1981), (4) Best & Monk apud WALLING (1980), (5) TAVARES *et al.* (1983), (6) MOREIRA-NORDEMANN *et al.* (1986).

Mesmo Cunha estando distante de grandes centros urbanos, os gases e partículas de nitrogênio emitidos pelas indústrias das cidades localizadas nas partes baixas do Vale do Paraíba e pelos veículos automotores que trafegam intensamente na rodovia Presidente Dutra, podem ter sido transportados pelos ventos até a área do estudo, provocando os aumentos constatados. De qualquer forma os valores médios foram inferiores aos registrados por LIKENS *et al.* (1977) e por MOREIRA-NORDEMANN *et al.* (1986) (TABELA 3), este último em área sob influência da poluição atmosférica de Cubatão, SP.

As demais concentrações estavam na faixa de variação de valores obtidos em estudos efetuados em diferentes localidades, sugerindo uma normalidade das concentrações.

#### 4.2.2 Água do Deflúvio

As concentrações iônicas na água do deflúvio para cada coleta estão representadas na FIGURA 4. As maiores concentrações foram registradas em 1984, exceção feita ao potássio e ao magnésio que apresentaram menor variação durante todo o estudo.

Mesmo tendo sido observada uma grande variação no comportamento hidrológico da bacia hidrográfica nos primeiros meses de 1985, não foi constatada qualquer influência da quantidade de água do deflúvio sobre as concentrações, sendo pequena a variação iônica neste ano. Deve-se considerar que a amostragem da água do deflúvio foi realizada, geralmente, em períodos de vazões reduzidas, que variaram de 8,67 l/s a 81,34 l/s, sendo que em certas ocasiões, não amostradas, foram atingidas descargas bastante superiores.

As médias aritmética e ponderada das concentrações iônicas são mostradas na TABELA 4. Estas foram superiores às da água das chuvas. Os valores estão na faixa de variação dos nutrientes encontrados na água do deflúvio, de bacias hidrográficas florestais não perturbadas, em diferentes localidades (TABELA 5). As baixas

concentrações de cálcio, magnésio e potássio deveram-se às exíguas quantidades de minerais disponíveis nos latossolos ácidos já bastante intemperizados. Em bacias hidrográficas com solos quimicamente pobres, elevada porosidade, boa permeabilidade e adequada proteção pela cobertura vegetal, as concentrações iônicas da água dos rios refletem, principalmente, as características geológicas da área. A bacia hidrográfica D apresenta todas estas propriedades, tendo sido constatado elevado fluxo de base durante o ano todo, como verificado durante este estudo e, também, por CICCIO *et al.* (1985b). Assim, os níveis de Ca, Mg, K e Na foram influenciados, principalmente, pelo substrato rochoso de granito e gnaisses da bacia. As concentrações de Na devem, ainda, refletir a contribuição das entradas via precipitação pluviométrica. SILVA FILHO *et al.* (1985) estimaram uma contribuição de 80 % de sódio na saída do rio, devido a estas entradas, no Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro.

As concentrações de nitrato mostraram-se superiores, notadamente no primeiro ano, aos valores médios normalmente encontrados em águas superficiais naturais (TABELA 5), embora em alguns estudos, como os conduzidos por LIKENS *et al.* (1977), grandes valores também tenham sido mencionados. Este nutriente em condições de floresta não perturbada, é, em geral, prontamente assimilado pelas plantas e, portanto, as águas que drenam estas áreas apresentam reduzidas concentrações. Em alguns casos, no entanto, dependendo das condições que predominam no ecossistema, a saída de nitrato pode ser maior que em outros. BROWN (1985), por exemplo, cita um estudo no qual uma bacia hidrográfica (Deer Creek) contendo basicamente duas espécies, douglas-fir e alder, apresentava elevados níveis de nitrato no deflúvio, alcançando pico de 3,2 mg/l, enquanto em uma outra bacia (Needle Branch), que não possuía a segunda espécie, teve concentração não superior a 0,76 mg/l. Relacionou este fato a alta capacidade de fixação de nitrogênio por esta espécie.

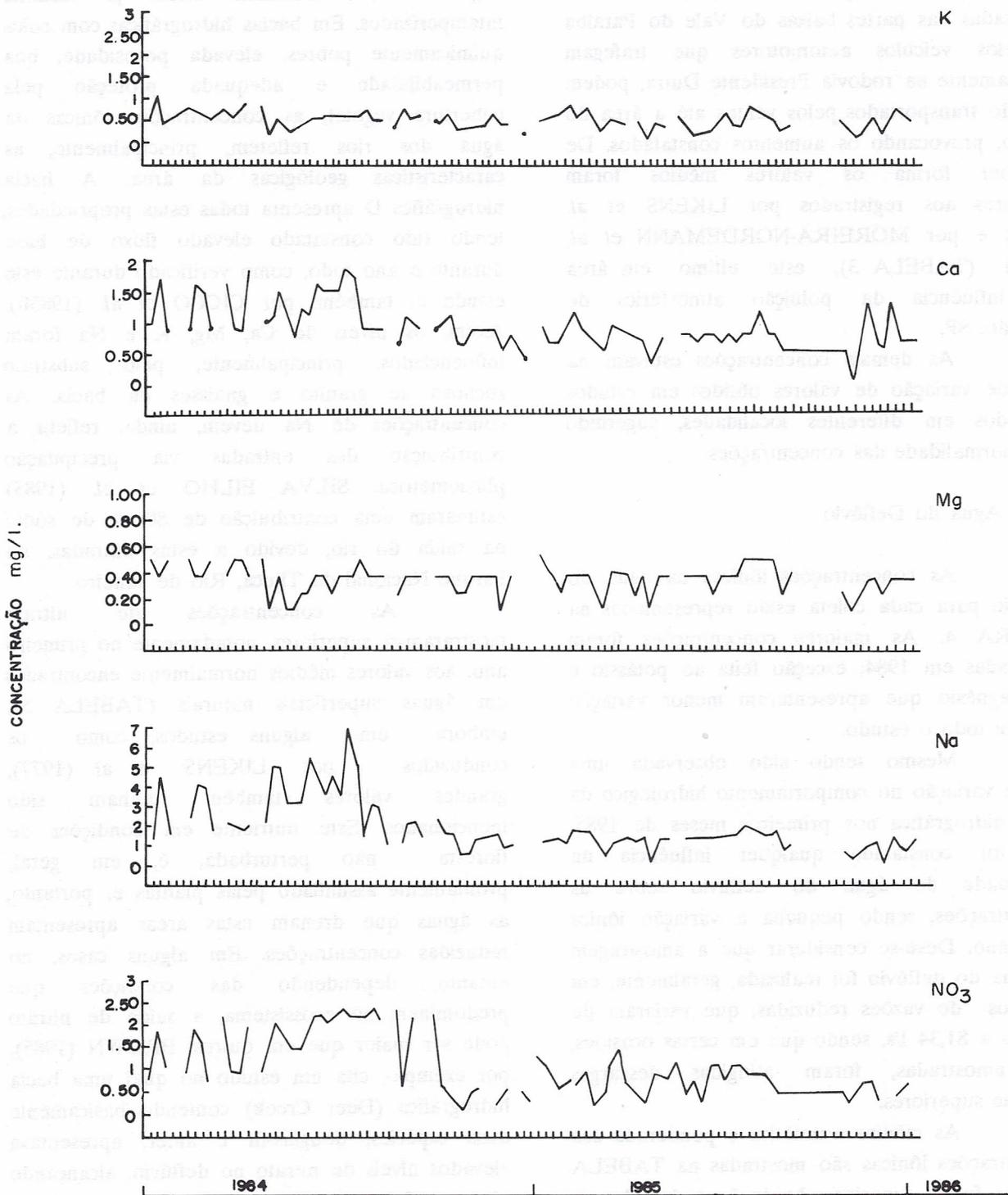


FIGURA 4 - Variação das concentrações dos nutrientes na água do deflúvio.

ARCOVA, F. C. S. *et al.* Qualidade da água e dinâmica dos nutrientes em bacia hidrográfica recoberta por floresta de mata atlântica.

TABELA 4 - Média aritmética (M.A.) e ponderada (M.P.) das concentrações iônicas da água do deflúvio (mg/l) na bacia hidrográfica D.

NUTRIENTES	MÉDIAS	ANO		
		1984	1985	1984/85
K	M.A.	0,60	0,49	0,55
	M.P.	0,61	0,53	0,56
Ca	M.A.	1,07	0,69	0,89
	M.P.	1,05	0,71	0,83
Mg	M.A.	0,36	0,35	0,35
	M.P.	0,36	0,34	0,36
Na	M.A.	2,51	1,24	1,91
	M.P.	2,44	1,23	1,65
NO <sub>3</sub>	M.A.	1,40	0,76	1,11
	M.P.	1,28	0,76	0,94

TABELA 5 - Concentração iônica de nutrientes na água de deflúvio em áreas florestais de diferentes regiões (mg/l).

LOCAL	NUTRIENTES				
	K	Ca	Mg	Na	NO <sub>3</sub>
Hubbard Brook E.U.A. <sup>1</sup>	0,23	1,65	0,38	0,87	2,01
Coweeta E.U.A. <sup>2</sup>	0,44	0,68	0,30	0,95	-
	0,52	0,62	0,28	0,88	-
Victoria Austrália <sup>3</sup>	1,02	0,05	1,29	2,80	-
	0,60	0,05	1,11	6,68	-
Victoria Austrália <sup>4</sup>	0,38	0,52	1,20	1,63	0,01
Maroondah Austrália <sup>5</sup>	1,33	3,06	0,98	4,97	0,58
	0,96	1,34	0,97	3,62	0,49
Darien Panamá <sup>6</sup>	1,07	19,04	5,08	10,79	-
Santa Branca Brasil <sup>7</sup>	1,80	1,86	0,54	2,23	0,51
	1,35	0,88	0,49	2,10	0,28

(1) LIKENS *et al.* (1977), (2) JOHNSON & SWANK (1973), (3) GUTHRIE *et al.* (1978), (4) FLINN *et al.* (1979), (5) FELLER (1981), (6) GOLLEY *et al.* (1978), (7) RANZINI (1990).

FELLER (1981) observou em floresta natural de eucalipto, elevados níveis de nitrato (1,6 mg/l) no inverno, enquanto os menores valores foram registrados nos períodos mais quentes e, portanto, de maior atividade biológica, julgando haver maior absorção deste nutriente pelos organismos e, conseqüentemente, menores concentrações. Da mesma forma, algum mecanismo biológico na bacia pode ter provocado os altos valores em Cunha.

Do ponto de vista de qualidade da água para o consumo humano, os valores foram bastante inferiores ao valor máximo permitido pelo Ministério da Saúde, BRASIL (1990), que é de 10,0 mg/l de  $\text{NO}_3^-$  - N.

Um resumo dos parâmetros físicos de qualidade da água está na TABELA 6. O pH apresentou caráter levemente ácido em decorrência da acidez dos solos e devido a resistência ao intemperismo da rocha matriz. Os valores médios estiveram abaixo daqueles comumente encontrados em águas naturais superficiais, que estão em torno de 6,5 a 8,5, HEM (1970). No primeiro ano apresentou-se menos ácido, com valores variando de 5,9 a 6,6, enquanto no segundo permaneceu entre o intervalo de 5,6 a 6,4. Os pH mais básicos em 1984 estão em concordância com as maiores concentrações dos cátions na água neste período.

TABELA 6 - Valores das médias mensais dos parâmetros físicos de qualidade da água do deflúvio da bacia hidrográfica D.

Mês	pH		Turbidez (FTU)		Cor (Platina Cobalto)		Condutividade ( $\mu\text{mho/cm}$ )	
	1984	1985	1984	1985	1984	1985	1984	1985
Janeiro	-	6,0	-	1,75	-	16,7	-	33,3
Fevereiro	6,4	5,9	1,10	4,30	15,0	15,0	34,0	37,5
Março	6,4	5,8	0,90	1,00	10,0	24,0	34,0	33,2
Abril	6,3	5,8	1,02	0,43	7,5	26,7	33,8	33,7
Mai	6,0	5,9	0,97	0,37	6,7	20,0	31,7	39,0
Junho	6,1	6,2	0,94	0,28	10,0	37,5	27,3	41,3
Julho	6,2	6,3	0,86	0,21	4,0	37,5	38,2	40,0
Agosto	6,5	6,3	1,08	0,58	10,0	10,0	37,8	41,3
Setembro	6,2	6,2	1,48	0,24	26,7	12,0	35,0	45,0
Outubro	6,1	6,2	1,24	0,24	7,5	17,5	36,5	40,0
Novembro	6,0	6,0	2,18	1,91	10,0	6,3	26,8	30,5
Dezembro	6,1	5,9	1,65	2,75	12,5	23,3	32,5	33,0

A turbidez variou de 0,15 a 4,90 FTU. O maior valor ocorreu em virtude de um escorregamento de solos na bacia em janeiro de 1985, quando das intensas chuvas registradas. Os valores foram baixos, indicando boa proteção da floresta contra erosão do solo. As maiores taxas foram registradas nas épocas chuvosas, variando de 0,15 a 4,90 FTU, enquanto na estação seca os valores permaneceram entre 0,15 e 1,60 FTU. A que se considerar que a realização de coleta logo após chuvas intensas, certamente indicaria níveis superiores aos aqui registrados; e ainda que, durante o escorregamento não foram feitas amostragens, observou-se grande transporte de sedimentos no deflúvio.

A coloração das águas da bacia D foi influenciada principalmente pelo material orgânico em solução proveniente dos solos da floresta, uma vez que a presença de partículas em suspensão na água foi bastante reduzida, como constatado pelos baixos níveis de turbidez determinados. Os valores encontrados estiveram bastante abaixo do nível máximo permitido para água bruta, isto é, na captação, antes de ser tratada para a distribuição urbana, ou seja, 75 unidades platina cobalto, Resolução CONAMA nº 20 de 18/06/86, apud PORTO *et al.* (1991).

Quanto à condutividade elétrica, o valor médio de 35,5  $\mu\text{mho}$ , calculado a partir de uma faixa de variação de 20,0 a 90,0  $\mu\text{mho}$ , este último medido em uma única amostra, estão de acordo com as baixas concentrações dos íons dissolvidos na água, mesmo existindo, evidentemente, outros íons que possam ter afetado o parâmetro. Os valores aqui detectados estão no intervalo de variação dos cursos de água que drenam áreas florestais, ou seja, de 30,0 a 130,0  $\mu\text{mho}$ , conforme HORNBECK *et al.* (1984). Os baixos valores encontrados, são característicos de águas superficiais que drenam regiões de litologia formada por rochas resistentes ao intemperismo.

As temperaturas máximas, mínimas e médias mensais da água do deflúvio, no período de junho de 1982 a fevereiro de 1986, estão representadas na FIGURA 5. As menores

temperaturas estiveram concentradas entre os meses de junho a setembro (inverno). Neste período as temperaturas médias variaram de 13,0 a 15,4°C, sendo que a mínima temperatura absoluta registrada foi 7,5°C. As temperaturas mais elevadas estenderam-se do fim da primavera e por todo o verão, variando de 16,8 a 18,4°C; a máxima temperatura absoluta foi 21,5°C e a amplitude diária máxima foi de apenas 5,5°C.

As máximas temperaturas registradas em Cunha foram superiores àquelas observadas em bacias hidrográficas providas de adequada proteção florestal (bacias controle) de estudos desenvolvidos em regiões de clima temperado; porém, por muitas vezes, foram inferiores as temperaturas de rios que drenam áreas submetidas a diferentes tratamentos florestais e uso dos solos, conforme TABELA 7. As maiores temperaturas foram inferiores àquelas encontradas no verão, em bacias hidrográficas com floresta mista de eucalipto em distintas condições de cobertura na Austrália, que variaram de 17,5°C a 23,5°C, CORNISH (1980).

#### 4.2.3 Balanço dos Nutrientes

Da análise das FIGURAS 6, 7 e 8 verifica-se que a entrada e a saída dos nutrientes da bacia foram marcadas pela elevada variação no tempo. Na maioria das semanas, os fluxos pelo deflúvio excederam os da precipitação, embora alguns eventos isolados tenham apresentado comportamento oposto a este, como resultado de concentrações bastante elevadas nas águas das chuvas. Grandes quantidades de nutrientes entraram e abandonaram o ecossistema, em curtos períodos de tempo, durante as estações chuvosas. Isto foi mais marcante no ano de 1985, quando, principalmente, os fluxos de saída nas primeiras semanas do ano alcançaram elevados valores para todos os nutrientes, em função das grandes quantidades de deflúvio ocorridas.

Este comportamento episódico dos fluxos dos nutrientes foi observado, também, por SILVA FILHO *et al.* (1985) na Floresta da Tijuca.

ARCOVA, F. C. S. *et al.* Qualidade da água e dinâmica dos nutrientes em bacia hidrográfica recoberta por floresta de mata atlântica.

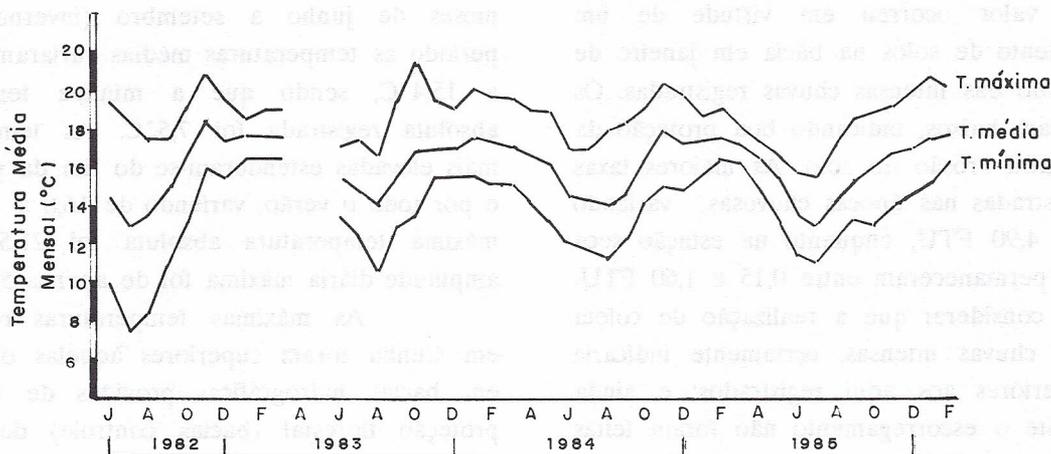


FIGURA 5 - Temperaturas máximas, mínimas e médias mensais da água do deflúvio da bacia hidrográfica D.

TABELA 7 - Temperatura da água do deflúvio em diferentes locais.

Local	Tratamento	Anos após o tratamento	Temperaturas máximas			
			Bacia tratada (°F)	Bacia tratada (°C)	Bacia controle (°F)	Bacia controle (°C)
Coweeta E.U.A. <sup>1</sup>	Uso agrícola	1	85	29,4	64	17,8
		8	76	24,4	65	18,3
	Mata ciliar morta por herbicida	1	70	21,4	65	18,3
	Corte completo da floresta	1	71	21,7	65	18,3
		2	74	23,3	63	17,2
Oregon E.U.A. <sup>2</sup>	Corte total da floresta	1	85	29,4	-	-

(1) SWIFT & MESSER (1971), (2) BROWN & KRYGIER (1970).

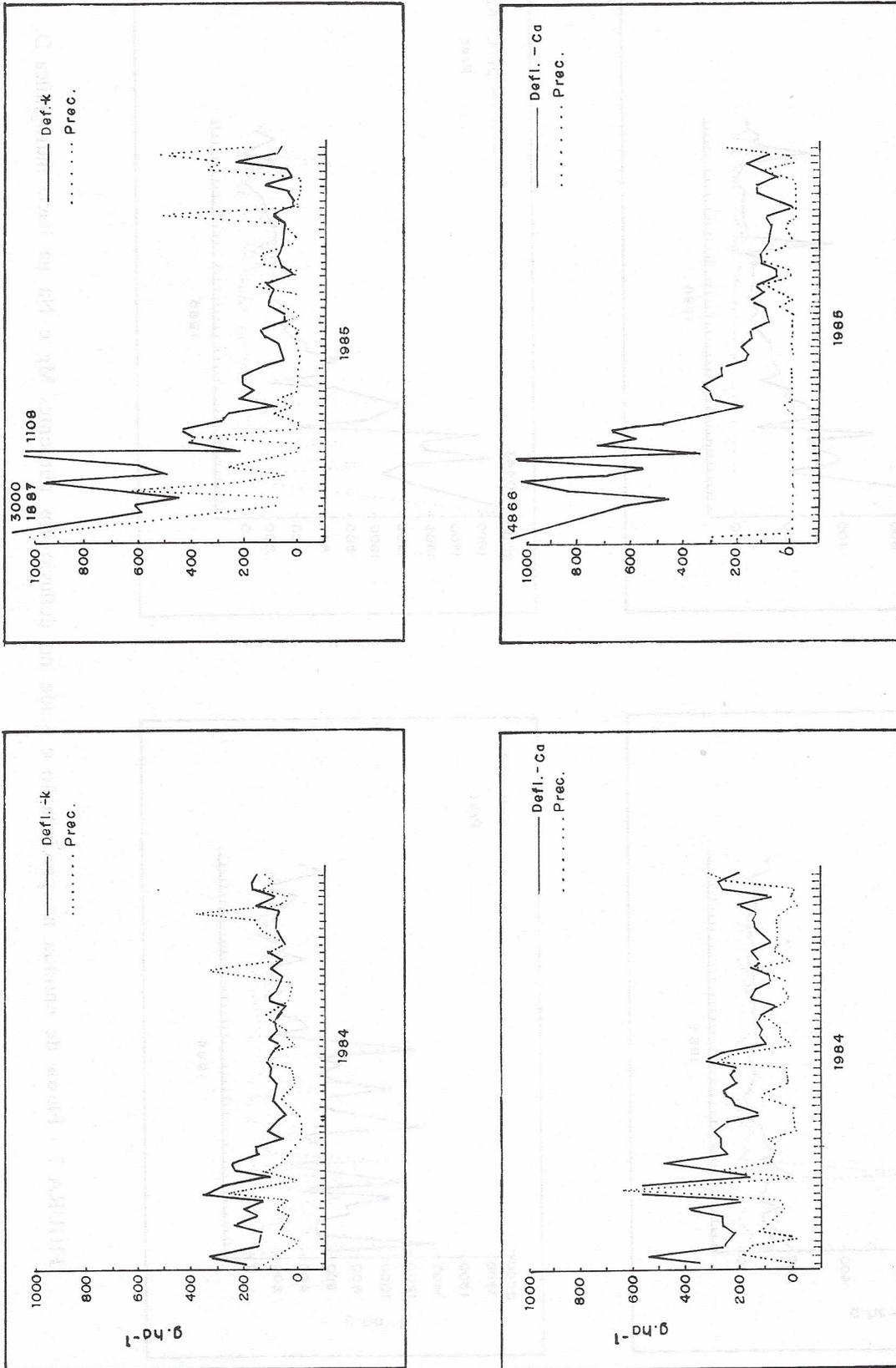


FIGURA 6 - Fluxos de entrada na precipitação e saída no deflúvio dos nutrientes K e Ca na bacia hidrográfica D.

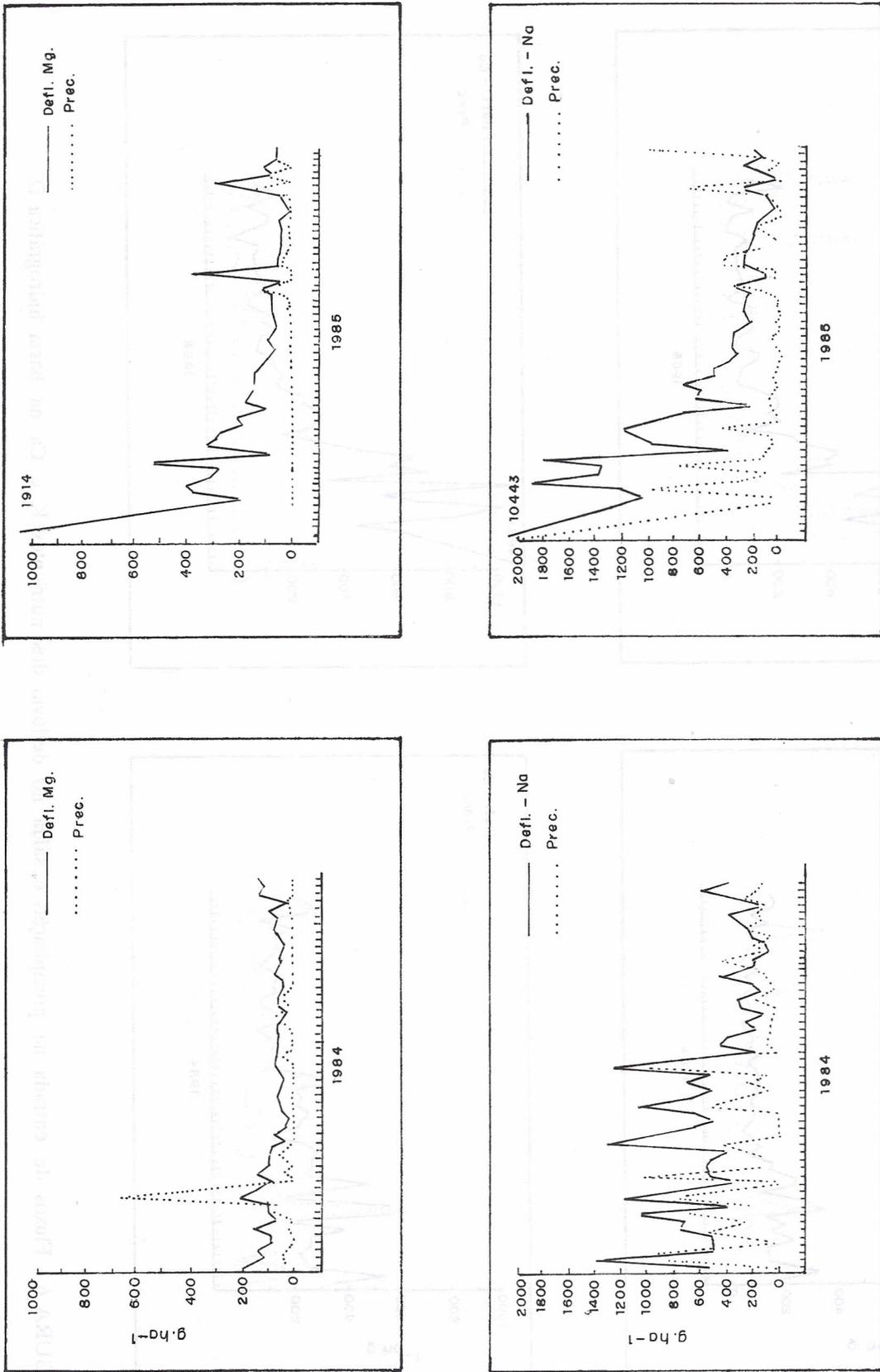


FIGURA 7 - Fluxos de entrada na precipitação e saída no deflúvio dos nutrientes Mg e Na na bacia hidrográfica D.

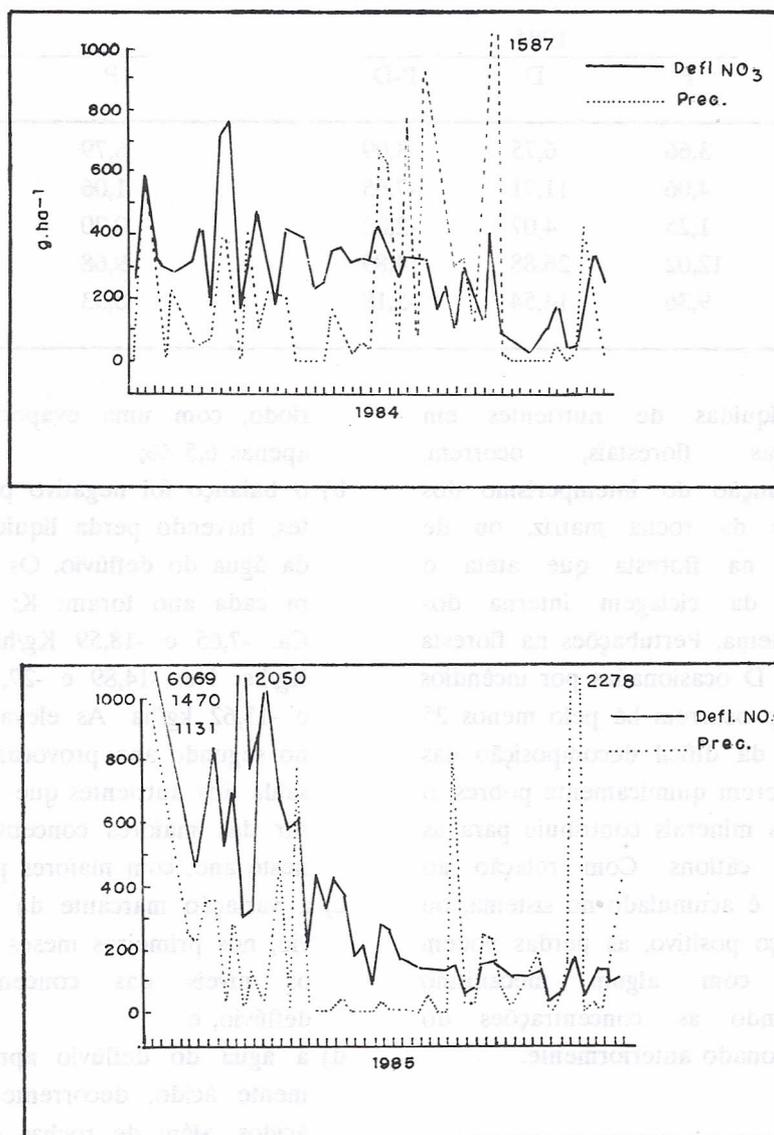


FIGURA 8 - Fluxos de entrada na precipitação e saída no deflúvio do nutriente  $\text{NO}_3$  na bacia hidrográfica D.

A TABELA 8 mostra os fluxos totais dos nutrientes para os dois anos. Grandes quantidades de nutrientes foram carreadas pelas chuvas em direção ao dossel florestal, constituindo-se em importante fonte de reposição destes elementos

para o sistema local num curto período. No entanto estas quantidades foram insuficientes para compensar as exportações pelo deflúvio, as quais foram superiores, tendo sido registradas assim perdas líquidas dos nutrientes pela bacia.

TABELA 8 - Fluxo de nutrientes na precipitação (P) e no deflúvio (D) e balanço (P-D), Kg/ha/ano, na bacia hidrográfica D.

NUTRIENTES	1984			1985		
	P	D	P-D	P	D	P-D
K	3,66	6,75	-3,09	6,79	13,91	-7,12
Ca	4,06	11,71	-7,65	1,06	19,65	-18,59
Mg	1,25	4,07	-2,82	0,70	8,90	-8,20
Na	12,02	26,88	-14,89	9,68	36,80	-27,12
NO <sub>3</sub>	9,36	14,54	-5,18	8,53	22,15	-13,62

Perdas líquidas de nutrientes em bacias hidrográficas florestais, ocorrem, normalmente, em função do intemperismo dos minerais do solo e da rocha matriz, ou de alguma perturbação na floresta que afeta o equilíbrio dinâmico da ciclagem interna dos nutrientes no ecossistema. Perturbações na floresta da bacia hidrográfica D ocasionadas por incêndios ou desmatamento não ocorrem há pelo menos 25 anos. Assim, apesar da difícil decomposição das rochas, e dos solos serem quimicamente pobres, o intemperismo de seus minerais contribuiu para as perdas líquidas dos cátions. Com relação ao nitrato, que em geral é acumulado no sistema, ou seja apresenta balanço positivo, as perdas podem estar relacionadas com algum mecanismo biológico, influenciando as concentrações do deflúvio, como mencionado anteriormente.

## 5 CONCLUSÕES

Com base nas observações verificadas durante o experimento, as seguintes considerações puderam ser feitas:

a) o ano de 1984 foi típico quanto à distribuição das chuvas e do deflúvio, e também com relação a taxa anual de evapotranspiração na bacia hidrográfica (da ordem de 30 % da precipitação). O segundo ano teve comportamento diferente do ano anterior, com elevadas taxas pluviométricas e de deflúvio no início do pe-

ríodo, com uma evapotranspiração anual de apenas 6,5 %;

- b) o balanço foi negativo para todos os nutrientes, havendo perda líquida do sistema através da água do deflúvio. Os valores estimados para cada ano foram: K: -3,09 e -7,12 Kg/ha; Ca: -7,65 e -18,59 Kg/ha; Mg: -2,82 e -8,20 Kg/ha; Na: -14,89 e -27,12 Kg/ha; NO<sub>3</sub>: -5,18 e -13,62 kg/ha. As elevadas taxas de deflúvio no segundo ano provocaram maiores fluxos de saída dos nutrientes que no primeiro ano, apesar das maiores concentrações dos nutrientes neste ano, com maiores perdas líquidas;
- c) a variação marcante da distribuição do deflúvio, nos primeiros meses de 1985, não alterou os níveis das concentrações da água do deflúvio, e
- d) a água do deflúvio apresentou caráter levemente ácido, decorrente dos solos pobres e ácidos, além de rochas de difícil intemperização da bacia. A turbidez não superou o valor de 5 FTU. A coloração das águas apresentou níveis abaixo dos permitidos para água de captação para o abastecimento público, e deveu-se a solução de materiais orgânicos provenientes da floresta. A condutividade elétrica esteve abaixo dos valores máximos registrados em bacias com boa proteção florestal e de substrato rochoso de difícil intemperização. A vegetação que acompanha o curso d'água da bacia manteve baixos níveis de temperatura da água. A máxima temperatura registrada foi 21,5°C e a máxima amplitude diária 5,5°C.

ARCOVA, F. C. S. *et al.*. Qualidade da água e dinâmica dos nutrientes em bacia hidrográfica recoberta por floresta de mata atlântica.

## 6 AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Walter de Paula Lima e às técnicas de Laboratório Renata Bisson Ercoline e Izabel Cristina Gava, do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ-USP, pelo apoio nas análises químicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. & LIMA, W. P. 1985. Balanço dos nutrientes  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+1}$ ,  $\text{K}^{+1}$  e  $\text{NO}_3^{-1}$  em bacia hidrográfica experimental com vegetação natural do Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Cunha-SP. *IPEF*, Piracicaba, (31):61-67.
- BRASIL. Leis, decretos, etc. 1990. "Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990". *Diário Oficial da União*, Brasília, 23 jan. 1990. Seção 1, p. 1651-1654. Aprova normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano no território nacional.
- BROWN, G. W. 1985. *Forestry and water quality*. Oregon State University. Bookstore Inc., Corvallis. 142p. (Second Edition)
- \_\_\_\_\_ & KRYGIER, J. T. 1970. Effects of clear-cutting on stream temperature. *Water Resources Research*, Washington, 6(4):1133-1139.
- CICCIO, V.; EMMERICH, W.; FARIA, A. J. & FUJIEDA, M. 1985a. Projeto de pesquisas hidrológicas em floresta natural na Reserva Estadual de Cunha: determinação do balanço hídrico. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: A INFLUÊNCIA DAS FLORESTAS NO MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, 11, Curitiba-PR, fev. 7-8, 1984. *Anais...* Curitiba, EMBRAPA-CNPQ. p. 135-142. (Documentos, 16)
- \_\_\_\_\_; FARIA, A. J.; ARCOVA, F. C. S. & SHIMOMICHI, P. Y. 1985b. Determinação do balanço hídrico com emprego de bacia hidrográfica experimental em mata natural secundária. In: SIMP. BRAS. DE HID. E REC. HÍD. E SIMP. INTERN. DE REC. HÍD. EM REG. METROP., 6, São Paulo-SP, nov. 11-14, 1985. *Anais...* São Paulo, Associação Brasileira de Hidro. e Rec. Hídricos p. 234-246.
- CORNISH, P. M. 1980. Water quality studies in New South Wales State Forests. 2. A South Coast forest of mixed eucalypts near Bega. *Australian Forestry*, Melbourne, 44(2):109-117.
- FELLER, M. C. 1981. Catchment nutrient budgets and geological weathering in *Eucalyptus regnans* ecosystems in Victoria. *Australian Journal of Ecology*, Canberra, 6:65-77.
- FLINN, D. W.; BREN, L. J. & HOPMANS, P. 1979. Soluble nutrient inputs from rain and outputs in stream water from small forested catchments. *Australian Forestry*, Melbourne, 42(1):39-49.
- FURIAN, S. M. & PFEIFER, R. M. 1986. Levantamento de reconhecimento do meio físico do Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Cunha-SP. *Boletim Técnico do Instituto Florestal*, São Paulo, 40(2):183-193.
- GOLLEY, F. B.; Mc GINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, G. I. & DUEVER, M. J. 1978. *Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo - EDUSP. 256p.
- GUTHRIE, H. B.; ATTIWILL, P. M. & LEUNING, R. 1978. Nutrient cycling in a *Eucalyptus obliqua* (L'Hérit.) forest. II. A study in a small catchment. *Aust. J. Bot.*, Melbourne, 26:189-201.
- HEM, H. J. 1970. *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*. Washington. 363p. Geological Survey Water Supply Paper, 1473. Washington, 363p.
- HORNBECK, J. W.; CORBET, E. S.; DUTTY, P. D. & LYCNH, J. E. 1984. Forest hydrology and watershed management. In: Wenger, K. F. (ed.). *Forestry Handbook* New York, John Wiley & Sons.
- JOHNSON, P. L. & SWANK, W. T. 1973. Studies of cation budgets in Southern

ARCOVA, F. C. S. *et al.*. Qualidade da água e dinâmica dos nutrientes em bacia hidrográfica recoberta por floresta de mata atlântica.

- Appalachians on four experimental watersheds with contrasting vegetation. *Ecology*, Durham, 54(1):70-80.
- LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H.; PIERCE, R. S.; EATON, J. S. & JOHNSON, N. M. 1977. *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. New York, Springer-Verlag. 146p.
- MOREIRA-NORDEMANN, L. M.; DANELON, O. M.; FORTI, M. C.; SANTO, C. M. E.; SARDELA, D. D.; LOPES, J. C.; MASET FILHO, B. & ABBAS, M. M. 1986. *Caracterização química das águas de chuva de Cubatão*. São José dos Campos, INPE. 68p. (3965 - RPE/515)
- PORTO, M. F. A.; BRANCO, S. M. & LUCA, S. J. 1991. Caracterização da qualidade da água. In: PORTO, R. L. L. (org.) *Hidrologia Ambiental*. São Paulo, EDUSP, Associação Brasileira de Recursos Hídricos. p. 27-66. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 3)
- PRITCHETT, W. L. 1987. Nutrient cycling in forest ecosystems. In: *Properties and management of forest soils*. 2.ed. New York, John Wiley & Sons. 510p.
- RANZINI, M. 1990. Balanço hídrico, ciclagem geoquímica de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus saligna* Smith, no Vale do Paraíba, SP. Piracicaba, ESALQ. 99p. (Dissertação de mestrado)
- SILVA FILHO, E. V.; OVALLE, A. R. C. & BROWN, I. F. 1985. Balanço de nutrientes em uma floresta tropical úmida, Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro. 22p. (Trabalho apresentado no Simpósio sobre Ciclagem de Nutrientes em Ambientes Aquáticos e Terrestres, São Carlos, SP, set. 1985)
- STRAHLER, A. N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. Amer. Geophys. Union*, Washington, 38:913-920.
- SWIFT, L. W., Jr. & MESSER, J. B. 1971. Forest cutting raise temperatures of small streams in southern Appalachians. *Journal of Soil and Water Conservation*, Baltimore, 26(3):111-116.
- TAVARES, M. F. M.; VIEIRA, B. M. & MOREIRA-NORDEMANN, L. M. 1983. *Análise química de íons de chuva de regiões naturais. Correlações com aerossóis naturais*. São José dos Campos, INPE. 27p. (Publicação INPE - 2556 - PRE/395). (Trabalho apresentado no V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Blumenau, SC, nov. 1983)
- WALLING, D. E. 1980. Water in the catchment ecosystems. In: GOWER, A. M. (ed.) *Water quality in catchment ecosystems*. New York, John Wiley & Sons. p. 1-47.