

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E CICLAGEM DE NUTRIENTES
EM FRAGMENTO DE MATA CILIAR EM BOTUCATU, SP.**

ANA ROSA TUNDIS VITAL

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do Título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

**BOTUCATU – SP
Outubro – 2002**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E CICLAGEM DE NUTRIENTES
EM FRAGMENTO DE MATA CILIAR EM BOTUCATU, SP.**

ANA ROSA TUNDIS VITAL

Orientador: Prof. Dr. Lincoln Gehring Cardoso
Co-orientador: Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do Título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

**BOTUCATU – SP
Outubro – 2002**

Ao Professor Paulo Rodolfo Leopoldo,

O meu apreço,

O meu reconhecimento,

O meu carinho,

As minhas saudades.

(In memorian)

Ao meu esposo

Walter Humberto

Ao nosso filho

Felipe

Dedico

Aos meus pais

Osmar e Filomena

Aos meus irmãos

Simão Pedro, Joaquina e João Silvério

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que colaboraram direta e indiretamente para a execução deste trabalho, e especialmente:

Ao Prof. Dr. Paulo Rodolfo Leopoldo (in memorian), pela confiança depositada, pela contribuição, sugestões e amizade;

Ao Prof. Dr. Lincoln Gehring Cardoso, meu orientador, primeiro pela “adoção”, orientação, confiança, amizade e o apoio na hora precisa;

Ao Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini, meu co-orientador, pelas valiosas sugestões, confiança depositada e amizade;

Ao Prof. Dr. João Francisco Escobedo (UNESP, FCA/Departamento de Recursos Naturais, Botucatu) pelo auxílio incondicional;

Ao Prof. Dr. Walter de Paula Lima (USP, “ESALQ”/Engenharia Florestal, Piracicaba), pela atenção e sugestões valiosas;

Ao Dr. Wolfran Karl Franken (MCT-INPA/Geociências), pela amizade, incentivo e disponibilidade de tempo, sempre que solicitado;

À Prof. Renata Cristina Batista Fonseca (UNESP, FCA/Departamento de Recursos Naturais e Ciências Florestais, Botucatu), pelo apoio nos trabalhos de campo e pela amizade;

Ao Curso de Pós-Graduação “Energia na Agricultura”, em nome dos Coordenadores Prof. Dr. Kleber Pereira Lanças e Prof. Dr. Sérgio Hugo Benez, bem como os demais membros do Conselho do Curso, pelo apoio constante;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo suporte financeiro;

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, que me permitiu afastamento, em tempo integral, para a elaboração dessa tese;

Ao CNPq, pela bolsa de doutorado concedida;

Ao José Carlos Coelho, do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas (UNESP, FCA/Departamento de Recursos Naturais e Ciência do Solo, Botucatu) e aos funcionários da Biblioteca, pelo pronto atendimento e colaboração;

Aos amigos do Laboratório de Recursos Hídricos/FCA-UNESP - Botucatu, Maria de Lourdes, Breda, Paulo Roberto, Ana Tereza, Lillian, e Andréa;

Aos colaboradores de campo Walter Humberto, Aparecido Agostinho Arruda, e Marcelo Zamboni Hildebrand pelas escaladas: morro acima, morro abaixo, semanalmente;

Às secretárias do Departamento de Engenharia Rural, Rosângela e Rita, pela amizade e simpatia, sempre prontas a ajudar quando solicitadas;

A elaboração desse trabalho também foi possível graças ao apoio e ajuda indireta de pessoas, não menos importantes, da família e amigos como:

Ao meu esposo, Walter Humberto, pelo apoio incondicional, estímulo e acima de tudo, paciência e companheirismo;

Ao meu filho Felipe, que chegou no decorrer deste trabalho e que, pacientemente compartilhava com minhas atividades no intervalo das mamadas e trocas de fraldas;

Aos meus Pais Osmar e Filomena que passaram-me uma base forte e confiante para vencer os desafios que a vida oferece, os meus agradecimentos.

Aos amigos da PG como Leuda, Izabel, Renato e Cristina;

Aos amigos, João Francisco, Vera Lúcia e Stella Justo pela amizade, acolhida e presteza durante nossa estada na cidade de Botucatu.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS	VII
LISTA DE FIGURAS	XI
1. RESUMO	1
2. SUMMARY	4
3. INTRODUÇÃO	7
4. REVISÃO DE LITERATURA	9
4.1 Zona ripária	9
4.2 Aspectos hidrológicos	10
4.2.1 Repartição da chuva	14
4.3 Fluxo de nutrientes	20
4.4 Ciclagem de nutrientes	24
5. MATERIAL E MÉTODOS	34
5.1 Descrição da área experimental	34
5.1.1 Localização	34
5.1.2 Clima	37
5.1.3 Geologia e geomorfologia	37
5.1.4 Solos	38
5.1.5 Declividade	38
5.1.6 Vegetação	38
5.1.7 Análise da vegetação	39
5.2 Variáveis estudadas	40

5.2.1 Precipitação total	42
5.2.2 Precipitação interna	42
5.2.3. Escoamento pelo tronco	44
5.2.4 Interceptação	46
5.2.5 Escoamento superficial	46
5.2.6 Retenção de água pela manta	47
5.2.7 Nível freático	48
5.2.8 Umidade do solo	48
5.2.9 Análise do solo	48
5.2.9.1 Análise física	49
5.2.9.2 Análise química	49
5.2.10 Água do riacho	49
5.2.11 Armazenamento temporário de água de chuva no ecossistema	49
5.2.12 Armazenamento temporário de água no solo	51
5.2.13 Deposição de serapilheira	51
5.2.13.1 Quantificação de nutrientes na serapilheira	52
5.2.13.2 Eficiência de utilização de nutrientes	53
5.2.14 Ciclagem de nutrientes	53
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
6.1 Caracterização da área	55
6.1.1 Levantamento fitossociológico	55
6.1.2 Análise do solo	55
6.2 Armazenamento temporário de água de chuva no ecossistema	57

6.3 Perdas por interceptação	59
6.4 Escoamento superficial	70
6.5 Infiltração	73
6.6 Nível freático	74
6.7 Umidade do solo	75
6.8 Água que passa pela manta	77
6.9 Armazenamento temporário de água no solo	79
6.10 Fluxo de nutrientes na precipitação total, precipitação interna, escoamento pelo tronco, água que passa pela manta, água do lençol freático e água do riacho	80
6.11 Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes	90
6.11.1 Produção de serapilheira	90
6.11.2 Nutrientes na serapilheira	93
6.11.2.1 Concentração de nutrientes na serapilheira	93
6.11.2.2 Estimativa da transferência de nutrientes através da serapilheira produzida e eficiência de utilização de nutrientes	95
6.11.3 Serapilheira acumulada e taxa de decomposição	99
7. CONCLUSÕES	101
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 - Valores médios de densidade (d), expressos em g/cm^3 e análises granulométricas, expressos em %	56
2 – Valores de análises químicas de solos da área experimental	56
3 - Valores mensais da precipitação total (PT), escoamento superficial (Es) e armazenamento temporário no ecossistema (Sa), expressos em milímetros e porcentagem	57
4 - Valores absolutos e percentuais médios mensais de precipitação total (PT), escoamento pelo tronco (Et) e precipitação interna (PI), bem como os valores médios calculados de precipitação efetiva (Pe) e perdas por interceptação (I) e porcentagem	60
5 – Valores absolutos e percentuais médios mensais e totais mensais do escoamento pelo tronco no subbosque	64
6 – Valores absolutos, em mm, e percentuais médios mensais do escoamento pelo tronco (Ets) e diâmetro à altura do peito (DAP) obtidos em plantas do subbosque	66
7 – Valores absolutos, em mm, e percentuais médios do escoamento pelo tronco (Et) e diâmetro à altura do peito (DAP) obtidos em árvores do estrato superior	67
8 – Valores referentes à precipitação total, no ano, e suas repartições em milímetros e percentuais médios	69

9 – Valores absolutos, em mm, e percentuais médios do escoamento superficial em função da precipitação mensal (PT)	71
10 – Valores referentes à precipitação total (PT), escoamento superficial (Es), interceptação (I) e infiltração (If), expressos em milímetros e porcentagem	73
11 – Valores médios mensais do nível freático durante o período experimental	75
12 – Teores médios de umidade, com base no peso seco, nos intervalos de profundidades de 0-10, 11-20, 21-30, 31-50, 51-100 cm, expressos em porcentagem	76
13 – Água que passa pela manta, em relação a precipitação efetiva (Pe)	77
14 – Valores médios mensais do armazenamento temporário de água no solo (h) em diferentes profundidades, expressos em milímetros	79
15 – Valores médios da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (mg L^{-1}), na água da chuva (PT) e suas repartições: precipitação interna (PI) e escoamento pelo tronco (Et), no período: outubro de 2000 a setembro de 2001	81
16 – Valores médios da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (mg L^{-1}), na água da chuva (PT), do escoamento pelo tronco de árvores do subbosque (Ets), escoamento superficial (Es), água que passa pela manta e água do lençol freático (Lf), no período: outubro de 2000 a setembro de 2001	81
17 - Valores médios da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (mg L^{-1}), na água do riacho da “bica” nos pontos: antes (1), em frente (2) e após a área experimental (3) no período: outubro de 2000 a setembro de 2001	83
18 – Concentrações médias (mg L^{-1}) de algumas espécies químicas encontradas nas amostras de água em diferentes ecossistemas	84

19 – Valores médios mensais da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (kg ha^{-1}), na água de chuva no período: outubro de 2000 a setembro de 2001	86
20 – Valores médios mensais da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (kg ha^{-1}), na água de precipitação interna no período: outubro de 2000 a setembro de 2001	87
21 – Valor médio anual da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (kg ha^{-1}), na água de escoamento pelo tronco de árvores do dossel superior (Et) no período: outubro de 2000 a setembro de 2001	88
22 - Valor médio anual da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (kg ha^{-1}), na água de escoamento pelo tronco de árvores do subbosque no período: outubro de 2000 a setembro de 2001	89
23 - Valores médios mensais da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (kg ha^{-1}), na água que passa pela manta no período: outubro de 2000 a setembro de 2001	90
24 – Dados de deposição de serapilheira no decorrer do período experimental em estudo, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$	91
25 – Dados de deposição de serapilheira em diversas formações florestais, em $\text{t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$	93
26 – Concentração média de macronutrientes, na serapilheira, em 12 meses consecutivos de estudo (g kg^{-1} de serapilheira)	94
27 – Transferência de N, P, K, Ca e Mg pela serapilheira ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), na área em estudo	96

28 – Transferência de macronutrientes para o solo através da queda de serapilheira em diferentes formações florestais ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)	99
29 – Valores de K (constante de deposição) para ecossistemas florestais	100
30 – Taxa de decomposição (K), tempo médio de renovação ($1/K$) e tempo necessário para decomposição de 50% e 95% da serapilheira	100

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 – Limites do Município de Botucatu e Localização da Fazenda Experimental Edgardia na Bacia do Rio Capivara	35
2 – Planta da Fazenda Experimental Edgardia apresentando parte da microbacia do Rio Capivara, ocupação do solo e localização da área experimental	36
3 – Vista da mata ciliar da área experimental	39
4 – Croqui da distribuição dos dispositivos para tomada de dados	41
5 – Modelo de interceptômetro construído	43
6 - Sistema coletor de água escoada pelo tronco do estrato superior	45
7 - Sistema coletor de água escoada pelo tronco do subbosque	45
8 - Sistema coletor de água que passa pela manta	47
9 - Sistema de coletor de serapilheira produzida	52
10 – Curva da regressão dos valores de precipitação interna (PI) em função da precipitação total (PT)	62
11 – Curva de regressão dos valores do escoamento pelo tronco (Et) em função da precipitação total (PT)	62
12 - Curva de regressão dos valores da perda por interceptação (I) em função da precipitação total (PT)	63
13 - Curva de regressão dos valores do escoamento pelo tronco do subbosque (Ets) em função da precipitação total (PT)	65

14 - Curva de regressão dos valores do escoamento pelo tronco (E_t) em função do diâmetro à altura do peito (DAP)	68
15 - Curva de regressão dos valores do escoamento pelo tronco (E_{ts}) em função do diâmetro à altura do peito (DAP)	68
16 - Curva de regressão dos valores do escoamento superficial (E_s) em função da precipitação efetiva (P_e)	72
17 - Curva de regressão dos valores da infiltração (I_f) em função da precipitação total (P_T)	74
18 - Curva de regressão dos valores da água que passa pela manta em função da precipitação efetiva (P_e)	78
19 – Total de N e Ca transferidos pela serapilheira	98
20 – Total de P, K e Mg transferidos pela serapilheira	98

1. RESUMO

O presente trabalho foi realizado em uma zona ripária no período de outubro de 2000 a setembro de 2001, no interior de uma parcela representativa de mata ciliar com vegetação do tipo Floresta Estacional Semidecidual, localizado em uma Área de Proteção Ambiental (APA), na região Centro-sul do Estado de São Paulo, pertencente à Fazenda Experimental Edgardia da FCA/UNESP, Campus de Botucatu, São Paulo. Foram quantificados parâmetros como precipitação total incidente, interceptação, precipitação interna, escoamento pelo tronco do estrato superior e do subbosque, escoamento superficial, retenção de água que passa pela camada de matéria orgânica (manta), concentração de macronutrientes na água do riacho, produção, taxa de decomposição e caracterização química da matéria orgânica.

O estudo foi realizado em uma parcela de 50 x 50 m, na qual, foram instalados 24 pluviômetros no interior da parcela e um pluviômetro localizado a céu aberto, bem como sistemas coletores da água escoada pelos troncos de árvores do estrato superior e subbosque, sistema de coletor de água escoada superficialmente e água que passa através da

manta, poços de observação de água subterrânea e coletores de serapilheira, com acompanhamento mensal de umidade do solo a diferentes profundidades. O presente trabalho teve como objetivo quantificar as perdas por interceptação, suas respectivas repartições e variáveis relacionadas ao ciclo hidrológico e aspectos da ciclagem de nutrientes no referido ecossistema.

O armazenamento temporário de água de chuva pelo ecossistema foi bastante elevado representando, em média, 99,5% da precipitação total; as perdas de água de chuva por interceptação, escoada pelo tronco, precipitação interna e precipitação efetiva corresponderam, respectivamente, em média, a 18,0%, 0,1%, 81,9% e 82,0% da precipitação total; o escoamento pelo tronco da vegetação do subbosque foi relativamente superior ao quantificado na cobertura principal, em média, 1,2% da precipitação total; a parcela de chuva que escoou superficialmente correspondeu, em média, a 0,5% da precipitação incidente; o volume de água que efetivamente infiltrou no solo foi, em média, 82,3% da precipitação total e o volume de água que passa através da manta representou, em média, 47,2% da precipitação total e 56,9% da precipitação efetiva.

Os fluxos médios de nutrientes, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para precipitação, precipitação interna e escoamento pelo tronco, foram respectivamente: N 127,5; 159,7; 153,8; K 7,64; 32,57; 53,21; Ca 8,76; 4,09; 6,41; Mg 0,96; 4,61; 4,31; Na 0,95; 0,64; 1,29.

A produção total de serapilheira, foi de $10.646,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A transferência total estimada de macronutrientes foi de $217,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de N; $11,56 \text{ kg ha}^{-1}$ de P; $52,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de K; $199,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca e $38,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg. A serapilheira acumulada foi estimada em $6.227,3 \text{ kg ha}^{-1}$, com uma constante de deposição (K) de 1,71 e o tempo

necessário para o desaparecimento de 50% e 95% da serapilheira foram, respectivamente, 150 e 639 dias.

HYDROLOGICAL DESCRIPTION AND CYCLING OF NUTRIENTS IN FRAGMENT OF
RIPARIAN FOREST IN BOTUCATU, SP. Botucatu, 2002. 117 p. Tese (Doutorado em
Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade
Estadual Paulista.

Author: ANA ROSA TUNDIS VITAL

Adviser: LINCOLN GEHRING CARDOSO

Co- Adviser: IRAÊ AMARAL GUERRINI

2. SUMMARY

The present work was carried in a riparian zone from October 2000 to September 2001 inside a representative plot of a riparian forest, of Semi-Decidua Seasonal Forest, located in an area of Environmental Protection (APA), in the middle southern region of São Paulo state, property of Edgardia Experimental Farm of the Agronomic Science College, UNESP, campus of Botucatu,, São Paulo state. The following

parameters were quantified: total rainfall, interception, internal precipitation, stem drainage from top strata and sub-vegetation, superficial drain, water retention in the litter (organic matter), concentration of macro-nutrients in the stream water, production, rate of decomposition, and chemical composition of the organic matter.

The study was done in a parcel of land of 50 x 50 meters, in which were installed 24 rain gauges inside the plot, and one pluviometer under open sky conditions, as well as systems of collection of stem drained of the upper and lower layers of trees and plants, a system of surface water collection, and collection systems of water from litter fall, and of groundwater water at different depths. The present work was aimed at quantifying the losses by interception, their respective shares and variables related to the hydrological cycles, and of aspects of the cycling of nutrients in this ecosystem.

The temporary stocking of rain-water by the ecosystem was quite high, representing, on average, 99.5% of total rainfall; the interception rates by stem fall, through-fall, and effective rainfall was, respectively, on average, 18.0%, 0.1%, 81.9%, and 82.0% of total precipitation; the stem drainage of the lower vegetation was slightly higher than that measured from the upper tree layer, about 0.5% of total rainfall; the quantity of total rainfall that ran off superficially was on the average about 0.5% of measured rainfall; the volume of water that effectively infiltrated into the soil was, on average, 82.3% of total rainfall; and the volume of water that passed through the litter fall represented, on average, 47.2% of total rainfall.

The average flow of nutrients, in $\text{kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, for rainfall, through fall, and stem drainage were, respectively: N 127.5; 159.7; 153.8; K 7.64; 32.57; 53.21; Ca 8.76; 4.09, 6.41; Mg 0.96; 4.61; 4.31; Na 0.95; 0.64; 1.29.

Total production of litter was of 10,646.0 kg ha⁻¹ year⁻¹. The total transference of macro-nutrients was of 217.8 kg ha⁻¹ of N; 11.6 kg ha⁻¹ of P; 52.8 kg ha⁻¹ of K; 199.8 kg ha⁻¹ of Ca; and 38,7 kg ha⁻¹ of Mg. The accumulated litter was estimated as 6,227.3 kg ha⁻¹, instantaneous decomposition rate (K) 1.71, and necessary time for 50% and 95% litter disappearance was 150 and 639 days, respectively.

Keywords: riparian forest, stem flow, through fall, nutrient cycling, litter fall.

3. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos têm um papel significativo no desenvolvimento econômico e social.

Os estudos sobre o ciclo da água são de grande relevância, pois além de ser essencial à manutenção da vida, a água constitui-se ainda em um dos principais agentes de transporte de material entre os compartimentos de cada ecossistema e destes para o ambiente em geral (Delitti, 1989).

Neste sentido, inúmeros trabalhos têm sido desenvolvidos em bacias hidrográficas nos mais diversos pontos do nosso planeta. Principalmente nas últimas décadas, uma atenção especial tem sido dada à uma porção da bacia hidrográfica, as zonas ripárias, as quais, são as interfaces entre os ecossistemas aquático e terrestre.

As zonas ripárias apresentam características próprias e incluem, principalmente, as margens e as cabeceiras de drenagem dos cursos d'água, a mata ciliar, bem como o conjunto das interações ripárias, constituindo-se assim, no ecossistema ripário.

Portanto, a busca do conhecimento para o manejo sustentável dos recursos naturais de ecossistemas muito sensíveis como o ripário, deve caminhar no sentido integral. A alteração da vegetação ripária, certamente desencadeará mudanças nos processos do ecossistema ripário, visto que, a vegetação ripária ocupa uma das mais dinâmicas áreas da paisagem e a sua distribuição e composição, refletem ambas histórias de perturbações fluviais e não fluviais.

Desta forma, o conhecimento e o domínio das características hidrológicas constituem, sem dúvida, fator de fundamental importância para a proteção, restauração e o manejo das zonas ripárias.

Como parte dessa complexidade dependem também as relações ecológicas das zonas ripárias, em termos de inúmeras interações e processos vitais para a manutenção do ecossistema aquático, tais como o suprimento de resíduos vegetais responsáveis por importantes processos biofísicos, o suprimento de matéria orgânica particulada e dissolvida, essenciais para a nutrição de organismos aquáticos, o desempenho de sua função de filtragem biológica de nutrientes provenientes dos terrenos mais elevados da microbacia.

Assim como não existe muita informação detalhada sobre a ciclagem de nutrientes em florestas tropicais, essa constatação torna-se ainda mais marcante, especificamente em matas ciliares.

Desde que um dos fatores mais importantes da caracterização do ecossistema ripário diz respeito às relações hidrológicas, o objetivo do presente trabalho são quantificar as perdas por interceptação, suas respectivas repartições e variáveis relacionadas ao ciclo hidrológico e aspectos da ciclagem de nutrientes no referido ecossistema.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Zona ripária

Na bacia hidrográfica, existe uma área muito sensível e imprescindível para o bom funcionamento e manutenção da integridade física e qualidade da água produzida, trata-se da zona ripária.

A zona ripária, que inclui principalmente as margens e as cabeceiras de drenagem dos cursos d'água, a mata ciliar e o conjunto das interações ripárias, constituem o ecossistema ripário, o qual, desempenha um dos mais importantes serviços ambientais, que é a manutenção dos recursos hídricos, em termos de vazão e qualidade da água, assim como do ecossistema aquático. Caracteriza-se como um habitat de extrema dinâmica, diversidade e complexidade (Gregory et al., 1992; Lima, 2001; Simões, 2001; Henry, 2001). As zonas ripárias constituem a interface entre os ecossistemas terrestres e aquáticos, regulando o fluxo de energia e de matéria entre estes sistemas. Representam parte importante na microbacia, tanto do ponto de vista hidrológico quanto ecológico, em termos de conservação da

biodiversidade (Kageyama et al., 1995). São ecótonos caracterizados por enorme variabilidade de fatores ambientais, processos ecológicos e comunidades vegetais e esta complexidade é fundamental para a delimitação do ecossistema ripário (Gregory et al., 1992). A zona ripária não apresenta limites simétricos e regulares ao longo da microbacia e a caracterização desse ecossistema não é tarefa fácil (Gregory et al., 1992; Naiman, 1997; Lima & Zakia, 2000; Lima, 2001).

O ecossistema ripário é o resultado final de interações complexas entre a hidrologia, geomorfologia, solos, luz, microclima, fogo e toda uma série de processos ecológicos (Lima, 2001). Esse ecossistema é o que mais recebe e mais contribui com a liberação de água em toda a bacia, já que a mesma passa por ele, para posteriormente atingir o rio.

Mesmo em face de tamanha importância, os ecossistemas ripários são os mais utilizados e degradados pelo homem.

O interesse, os estudos e o conhecimento sobre matas ciliares vêm sendo intensificados de forma marcante nos últimos anos. Isto já é um grande passo mas, devido a sua complexidade, há de se pensar que o ecossistema ripário deva ser preservado e protegido como um todo e não apenas em partes isoladas (Lima, 2001).

De acordo com Davide (1999), as matas ciliares desempenham importantes funções e seus efeitos não são apenas locais mas refletem na qualidade de vida de toda a população sob influência de uma bacia hidrográfica.

4.2. Aspectos hidrológicos

A importância da mata ciliar como controlador hidrológico e parte integrante da rede de drenagem de uma bacia, torna-se cada vez mais evidente na literatura específica que descreve esse ecossistema. A vegetação ripária é responsável por grande parte do regime ambiental do ecossistema aquático (Franklin, 1992; Likens, 1992, Lima & Zákia, 2000). Por outro lado, na realidade, a zona ripária pode ser considerada como um subsistema do próprio ecossistema aquático.

Apesar do reconhecimento da importância das matas ripárias nesse aspecto e da Legislação Brasileira ser bastante preventiva, existem poucos estudos sobre a eficiência de retenção e as larguras necessárias em climas tropicais (Simões, 2001). De acordo com o Código Florestal Brasileiro (Farias & Lima, 1990) Lei nº. 4771 de 15 de setembro de 1965, modificada pelas Leis nº. 7803/89 e 7875/89, estabelecem as larguras de proteção a florestas e demais formas de vegetação natural situadas ao longo dos cursos de água: para rios de até 10 m, 10 a 50 m, 50 a 200 m, e 200 a 600 m de largura, a largura mínima de proteção é de 30 m, 50 m, 100 m, 200 m, respectivamente; ao redor de lagoas, lagos ou reservatórios de águas naturais ou artificiais: 30 m em áreas urbanas, 50 m em áreas rurais para corpos de água com até 20 ha de superfície, 100 m em áreas rurais para corpos de água com mais de 20 ha de superfície e 100 m para represas hidrelétricas; nas nascentes, ainda que intermitentes e nos “olhos d’água” raio mínimo de 50 m.

Do ponto de vista de sua delimitação espacial, em tese, os limites da zona ripária estendem-se lateralmente até o alcance máximo das áreas saturadas da microbacia, incluindo aí o processo natural de expansão de suas cabeceiras de drenagem durante períodos chuvosos.

Simões (2001) analisando a integração entre um modelo de simulação hidrológica e Sistema de Informação Geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias concluiu que, a largura de 30 m, estabelecida como mínima para rios de até 10 m de largura pelo Código Florestal Brasileiro (Lei 4771/65), atingiu as eficiências máximas de 46,5% para o escoamento e 32,4% para o pico do escoamento. Embora a largura de 30 m seja adequada para a proteção física dos cursos d' água, não o é em termos ecológicos (Zákia, 1998).

Neste sentido, a alteração da vegetação ripária, certamente desencadeará mudanças nos processos desse ecossistema, e portanto em seus serviços ambientais.

A vegetação ripária (matas ciliares, florestas de galeria, florestas beiradeiras, etc.) constitui uma amostragem interessante, em termos de composição florística, biodiversidade, estrutura e funcionalidade, de interação com os processos geomorfológicos fluviais que propiciam o suporte ecológico para o seu desenvolvimento. A composição de espécies arbóreas e arbustivas apresenta enorme variação de área para área, o que torna muito difícil uma definição de sua composição florística (Naiman & Décamps, 1997; Ab'Saber, 2000; Rodrigues & Nave, 2000; Durigan et al., 2000). Essa variabilidade é função da integração complexa de vários fatores, mas a literatura sugere que a hidrologia, principalmente sua interação com a geologia local é o fator preponderante, principalmente na escala da microbacia (Lima & Zakia, 2000).

Um princípio básico em hidrologia florestal é o de que a produção de água e o regime fluviométrico de uma bacia hidrográfica são significativamente influenciados pela presença da cobertura florestal.

Por outro lado, (Jacomine, 2000), em trabalho relacionado aos principais solos sob matas ciliares no Brasil, constatou que nas áreas ribeirinhas aos cursos d'água, sob as formações ciliares, são encontrados diversos tipos de solos, os quais variam essencialmente em função do maior ou menor grau de hidromorfismo que acontece nestes terrenos ou pela ausência deste aspecto.

A queda de precipitação sobre vales ou terrenos montanhosos pode seguir diversos caminhos no movimento colina em direção aos cursos de água. No entanto o tipo, extensão e condições da vegetação exerce uma marcada influência nos modelos de deposição e quantidade das precipitações pluviais que alcançam a superfície do solo (Brooks et al., 1991; Huber & Oyarzún, 1992). Toda modificação de uma cobertura florestal decorrente da intervenção do homem ou conseqüência do seu desenvolvimento natural afeta a quantidade de água que chega ao solo e sua reserva (Lima & Nicolielo, 1983).

Portanto, a vegetação ciliar é parte integrante da rede de drenagem da bacia hidrográfica, desempenhando importante papel nos mecanismos pelos quais a bacia reage à ocorrência da precipitação, contribuindo nos processos de interceptação, liberação de água para o escoamento direto, armazenamento temporário de água das precipitações pelo ecossistema, retardando o movimento de água da chuva em direção ao curso de água e favorecendo o aumento da infiltração. Conseqüentemente, a mata ciliar pode desempenhar importantes funções hidrológicas, tais como proteção à zona ripária, filtragem de sedimentos e nutrientes, controle do aporte de nutrientes, impedindo a lixiviação de agrotóxicos para os cursos de água, controle de erosão das ribanceiras dos canais, controle da alteração da temperatura do ecossistema aquático, qualidade da água e manutenção do volume de água do

reservatório (Delitti, 1989; Lima, 1989; Machado, 1989; Reichardt, 1989; Lima, 1998; Simões, 2001).

Reversamente, a mata ciliar é também o resultado dos fatores hidrológicos na microbacia (Mantovani, 1989; Reichardt, 1989; Zakia, 1998) uma vez que, a dinâmica da zona ripária decorre da própria hidrologia dos cursos d' água, caracterizada por uma contínua e incessante variação em termos de regime de vazão, de erosão dos canais, de seca, de chuva, de microclima, etc. (Naiman & Décamps, 1997; Lima & Zákia, 2000).

Para o entendimento das funções hidrológicas da floresta são necessários a definição e o estudo cuidadoso das variáveis envolvidas no balanço hídrico de uma bacia de drenagem, bem como a interação dessas variáveis no ecossistema.

4.2.1. Repartição da chuva

A quantidade e distribuição espacial de chuva que alcança o piso florestal (precipitação efetiva) depende do tamanho e da forma da abertura do dossel superior, da área foliar total, do número de camadas da vegetação e da intensidade de precipitação (Brooks et al., 1991).

Leopoldo & Conte (1985), quantificando a interceptação da água de chuva em maciços florestais com características de cerradão, observaram os seguintes valores: 80,5% de precipitação interna, 2,9% de escoamento ao longo do tronco e 16,6% para a interceptação.

Jordan & Heuvelop (1981), em experimento realizado em floresta tropical úmida na Amazônia Venezuelana, obtiveram os seguintes resultados, sob precipitação

média anual de 3.664 mm: 87% de precipitação interna e 8% de escoamento pelo tronco. Estes dados estão de acordo com os encontrados por Marques et al. (1977).

Castro et al. (1983), quantificando a água de chuva por uma mata secundária, na região de Viçosa, Minas Gerais, constataram que a precipitação interna apresentou cerca de 87,4% da precipitação em aberto, ao passo que o escoamento pelo tronco foi de 0,2%.

Franken et al. (1982) conduzindo experimento na Reserva Florestal Ducke, sob floresta de terra-firma na Amazônia Central, constataram que a precipitação interna, escoamento pelo tronco e perda por interceptação, representaram 80,2; 0,0 e 19,8% da precipitação incidente. Verificaram também que os valores médios da precipitação interna, dados em milímetros, apresentou uma elevação com o aumento do total da chuva. A porcentagem de perda por interceptação tende a diminuir com o aumento da altura de chuva até determinados valores, após o que, há uma certa tendência em tornar-se constante.

Huber & Oyarzún (1992) estimaram as perdas por interceptação da copa e litter em uma floresta sempre verde do sul do Chile em 29,3% e 8,3% das precipitações que caem sobre as copas. Os referidos autores verificaram ainda valores de 69,2% para precipitação direta, 1,4% de escoamento pelo tronco e capacidade de saturação da copa e troncos de 2,1 mm e 5,1 mm, respectivamente.

Em ecossistema caracterizado como do tipo “cerradão”, localizando-se na Região Central do Estado de São Paulo, Lima (1998) observou que do total de chuva que atinge a cobertura florestal de um ecossistema ripário, apenas 62,4% chegam ao piso florestal, dos quais 0,9% escoado pelo tronco e 61,5% através de precipitação interna, enquanto que o

restante, 37,6%, são interceptados pelos galhos, folhas, retornando à atmosfera por evaporação.

Cicco et al. (1986/88), em experimento realizado na floresta natural secundária no Parque Estadual da Serra do Mar, obtiveram os seguintes valores: 80,65; 1,12 e 18,23%, referentes à precipitação interna, ao escoamento pelo tronco e à interceptação pela cobertura, respectivamente.

Lloyd, & Marques Filho (1988) realizando observações na Reserva Florestal Ducke, floresta amazônica, obtiveram os seguintes resultados: precipitação interna de $91 (\pm 2\%)$, escoamento pelo tronco de $1,8 (\pm 1\%)$ e perdas por interceptação de $7,2 (\pm 3\%)$.

O escoamento pelo tronco é dependente de uma série de fatores, além da quantidade e intensidade das chuvas, como a rugosidade do tronco, características morfológicas do vegetal, idade do povoamento, diâmetro do tronco e da posição da espécie dentro do ecossistema (Franken et al., 1982). Estes autores constataram uma tendência crescente até precipitações de 40,0 mm, para precipitações superiores os valores foram flutuantes variando de 0,7% e 1,6% da precipitação total.

De acordo com Kelman & Roulet (1990), árvores jovens do extrato inferior e arbustos, podem ser mais efetivos no escoamento pelo tronco. Verificaram também que essa camada inferior contribui cerca de dez vezes mais do que a camada superior na quantidade de água escoada pelo tronco. Lloyd & Marques Filho (1988) verificaram que árvores com copas do extrato superior, fazendo parte da cobertura principal, ou abaixo, muitas vezes tem maior escoamento pelo tronco do que árvores emergentes de grande diâmetro.

O escoamento pelo tronco, geralmente, é menor do que 2% da precipitação total anual, o qual é afetado pelo posicionamento dos galhos, arquitetura das

copas e rugosidade da casca (Brooks et al., 1991). Segundo este autor, embora o escoamento pelo tronco não represente uma grande quantidade, em termos de estoque anual de água, este processo pode ser um importante mecanismo de manutenção de umidade no solo, pois o escoamento pelo tronco concentra a água em uma pequena área próxima à base do tronco da árvore; esta água pode escoar rapidamente e penetrar profundamente no solo através dos canais das raízes.

Lima (1976), em povoamentos homogêneos de eucaliptos (*Eucalyptus saligna*) e pinheiros (*Pinus caribaea*), com seis anos de idade, verificou uma perda por interceptação de 12,2% e 6,6%, precipitação interna de 83,6% e 90,5% e escoamento pelo tronco de 4,2% e 3,0%, respectivamente.

Leopoldo (1981), em trabalho desenvolvido na Floresta Amazônica verificou que, em média, os valores da parcela interceptada, precipitação interna e escoamento pelo tronco, corresponderam a 25%, 74% e 0,4%, respectivamente. O mesmo autor constatou que o escoamento superficial correspondeu a 26% da precipitação total.

A atuação da cobertura florestal no ciclo hidrológico é condicionada pelo retardamento da água em direção aos cursos de água por meio de processos de interceptação, que permitem a reciclagem de água pela atmosfera, retenção por parte do solo, absorção, transpiração e percolação (Castro et al., 1983).

A parcela de água de chuva que representa a perda por interceptação é um importante componente do ciclo hidrológico, no caso da região Amazônica, dada a extensão da cobertura florestal, deve responder com a introdução de consideráveis quantidades de massa de vapor d' água na atmosfera, as quais através de sua reciclagem atuam no equilíbrio hídrico na região (Franken et al., 1982).

Huber & Oyarzún (1990) constataram que as perdas por interceptação são influenciadas pela intensidade das precipitações, pela cobertura das copas, características dos troncos e condições meteorológicas (Jackson, 1975). Huber & Oyarzún (1992) enfatizam que precipitações de baixa intensidade e longa duração proporcionam elevados valores de interceptação e a medida que aumentam a intensidade das precipitações, diminui o tempo do início do escoamento pelo tronco.

Pela bibliografia consultada pôde-se concluir que a interceptação, precipitação interna e escoamento pelo tronco são parâmetros de valores muito variáveis dentro de um mesmo ecossistema, talvez em decorrência da interferência de outros fatores como: grau de umidade da cobertura, velocidade do vento e intervalos de chuvas. Lima (1998) concluiu que os valores médios absolutos de precipitação interna, escoamento pelo tronco, precipitação efetiva e perda por interceptação aumentaram com a elevação da intensidade da precipitação incidente.

A interceptação poderá causar uma diminuição do total de água de chuva que atinge o solo e conseqüentemente uma redução do escoamento superficial (Price, 1982; Castro et al., 1983), permitindo que uma grande parte da água que chega ao piso florestal seja retida e infiltrada (Franken & Leopoldo, 1986/1987). Quando ocorre qualquer modificação nas características da cobertura do solo, além das alterações nas variáveis do balanço energético, verifica-se mudanças na dinâmica do escoamento, com conseqüência direta no processo evaporativo (Villa Nova et al., 1976).

Leopoldo et al. (1982), Leopoldo et al. (1984) e Franken & Leopoldo (1984) observaram, respectivamente, uma interceptação de 18,7%, 25,6% e 25,6% e um

escoamento superficial de 19,3%, 25,9% e 25,9%, para três diferentes estudos, em floresta de Terra Firme na Amazônia.

A quantidade e a rapidez do escoamento direto produzido por uma dada chuva dependem fortemente de certos atributos da bacia hidrográfica, como área, declividade, rede de drenagem, solo, etc., assim como das condições de umidade antecedente. Segundo Likens (1984), o escoamento superficial é um pré-requisito para a erosão de uma paisagem. De acordo com Lima (1989) e Lima (1998), quanto maior a altura de chuva incidente, maior o volume escoado superficialmente. Este volume corresponde a 6,6% da precipitação total (Lima, 1998).

Assim, o escoamento direto tem uma condição especial de transições entre o solo, a água e gradiente de umidade de solo, determinando uma vegetação diferenciada, ou mata ripária (Mantovani, 1989; Reichardt, 1989; Zakia, 1998). Esta mata é mesófila, de qualquer grau de deciduidade (Mantovani, 1989).

O escoamento superficial das águas de chuva pode causar transporte horizontal não só de matéria orgânica em solução, mas também de finas partículas em suspensão, das regiões mais altas para os vales, rios, lagos e oceanos (Lima, 1998). As características dos canais e dos rios refletem variações geomorfológicas, gradientes climáticos, perturbações naturais em escala espacial e temporal, e a característica dinâmica da zona ripária (Naiman et al., 1992; Likens, 1984).

Franken & Leopoldo (1986/87), em ensaio conduzido na Reserva Florestal Ducke, constataram um escoamento total de 32,3% da chuva, sendo 2,8% sob a forma de escoamento superficial direto.

O processo pela qual a água entra pela superfície do solo é chamado de infiltração. A taxa líquida pela qual a precipitação passa pela superfície do solo depende de várias condições dessa superfície e de suas características físicas (Brooks et al., 1991). Quem define e regula a entrada da água no solo é o processo de infiltração, ou seja, um processo da superfície; já, o movimento da água no interior do perfil é denominado percolação. Os dois processos estão intimamente relacionados, visto que a infiltração não pode continuar sem a percolação da água infiltrada. Quando as taxas de precipitação excedem a capacidade de infiltração, ocorre o escoamento superficial ou acumulação de água sobre o solo.

A água drenada através do solo tem uma oportunidade muito maior do que o escoamento superficial de interagir com a matéria orgânica e vários minerais no perfil do solo (Likens, 1984).

O conteúdo de umidade do solo tende a aumentar sistematicamente na direção do declive, criando zonas de saturação ou de encharcamento superficial nos terrenos mais baixos, ao longo das margens da rede de drenagem (Lima 1989; Reichardt, 1989).

4.3. Fluxo de nutrientes

A composição química das chuvas, sua alteração após o contato com a vegetação e demais aspectos da dinâmica de nutrientes na água, vem sendo pesquisados em diversos países, em diferentes tipos florestais. Pode-se citar, os estudos realizados por (Flinn et al., 1979; Golley et al., 1978; Lima, 1976; Lima, 1998).

Lima & Zakia (2000) explicam que “nas condições de clima úmido, durante uma chuva, a área da microbacia que contribui para a formação do deflúvio resume-se aos terrenos que margeiam a rede de drenagem, sendo que as porções mais altas da encosta a

água da chuva tendem principalmente a infiltrar-se e escoar até o canal mais próximo através de processo subsuperficial”. Com o prolongamento das chuvas, as áreas que margeiam os rios tendem a se expandir ou devido à expansão da rede de drenagem ou pela contribuição de áreas saturadas ou de solos mais rasos, o que explica o conceito de “área variável de afluência”.

De acordo com Reichardt (1989), em geral, a parte que mais limita o fluxo de água é o solo, o qual tem capacidade de reter e armazená-la por um certo tempo. Ainda, segundo este autor, o solo é um reservatório de água “sem fundo” que não pode reter toda a água que recebe.

A química da precipitação pode ser alterada consideravelmente com a passagem da água através de um ecossistema terrestre da bacia hidrográfica. Ambas as concentrações absolutas e os modelos sazonais das concentrações podem ser alterados à medida em que a precipitação passa através da vegetação e do solo (Likens, 1984; Simões, 2001).

Para fluxo de nutrientes em Floresta Natural Secundária (Mata Atlântica) na Serra do Mar, São Paulo, os valores encontrados na precipitação, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para três diferentes anos consecutivos, foram: K 3,66, 7,19 e 5,43; Ca 4,06, 1,68 e 2,87; Mg 1,25, 0,90 e 1,08; Na 12,02, 11,56 e 11,79, respectivamente (Arcova et al., 1985; Arcova & Cicco, 1987). No mesmo estudo, estes mesmos autores observaram os seguintes valores para precipitação interna: K 92,13, 67,56 e 79,85; Ca 12,37, 10,73 e 11,55; Mg 8,48, 5,98 7,23; Na 29,03, 12,27 e 20,65, bem como para o escoamento pelo tronco: K 3,55, 1,67 e 2,61; Ca 0,32, 0,17 e 0,25; Mg 0,15, 0,14 e 0,15; Na 0,46, 0,17 e 0,32 para os três anos de estudo.

Em uma microbacia reflorestada com *Eucalyptus* no Vale do Paraíba, Estado de São Paulo, (Vital et al., 1999) encontraram na água da chuva valores médios anuais, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de: NO_3^- 9,7; K 4,4; Ca 7,4; Mg 2,0 e Na 4,8.

Franken et al. (1985), em estudos desenvolvidos na região Amazônica, determinaram as concentrações dos principais íons na água da chuva, da água da lavagem da floresta e da água escoada pelo igarapé Barro Branco. Segundo os autores, a contribuição da precipitação em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ foram as seguintes: Na = 8,4 e K = 2,4 e que não foram detectados os íons Ca e Mg na água da chuva. Observaram ainda que o aporte de Ca e Mg ao piso florestal se dá por meio da lavagem das folhas, dos ramos e do tronco das árvores da floresta, e foram, respectivamente, os seguintes: 1,0 e 7,8 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Arcova & Cicco (1987) em estudo sobre o fluxo de nutrientes através da precipitação, precipitação interna e escoamento pelo tronco em Floresta Natural secundária no Parque Estadual da Serra do Mar observou maiores concentrações médias na água de escoamento pelo tronco, seguido da precipitação interna. O fluxo através da precipitação interna foi o mais significativo, representando aproximadamente 91% de K, 79% de Ca, 85% de Mg, 63% de Na e 69% de P do total de nutrientes que chegam ao piso florestal através das águas das chuvas. A precipitação apresentou a seguinte ordem de dominância dos nutrientes: Na > K > Ca > Mg > P. Após atravessar o dossel florestal, a concentração mineral média do arrastado foi dominada pelo potássio seguindo a ordem decrescente: K > Na > Ca > Mg > P.

As maiores quantidades de potássio, sódio e cálcio no escoamento pelo tronco e precipitação interna são esperados, conforme verificado por (Golley et al., 1978).

Vital (1999) estudando os efeitos do corte raso de plantação de *Eucalyptus* no balanço hídrico e na ciclagem de nutrientes em uma microbacia, constatou na

água do deflúvio uma concentração, em mg L^{-1} de: NO_3 0,57; K 2,02; Ca 2,01; Mg 0,64; Fe 2,26 e Na 2,46 antes do corte e NO_3 0,80; K 1,78; Ca 3,46; Mg 0,76; Fe 3,26 e Na 2,21 após o corte.

Segundo a autora, é de se esperar que de um modo geral, as perdas de nutrientes fossem mais elevadas após à colheita, caso não houvesse a permanência da mata ciliar na microbacia. A importância da mata ciliar, neste sentido, já foi comprovada, dentre outros autores, em trabalhos desenvolvidos por (Lowrance et al., 1984 e Bruijnzeel, 1990).

A legislação sobre recursos hídricos em vigor não prevê limites máximos permitidos para os elementos potássio, cálcio e magnésio, dentre outros (Conte & Leopoldo, 2001). Para o Rio Pardo, principal fonte de abastecimento de água para a cidade de Botucatu - SP, os autores encontraram valores extremos, de: 1,23 e 0,86 mg L^{-1} para K, 1,02 e 0,54 mg L^{-1} para Ca e 0,85 e 0,55 mg L^{-1} para Mg.

Em pesquisa sobre a qualidade da água do rio Piracicaba, (Martinelli et al., 1983), concluíram que esse importante curso de água do Estado de São Paulo encontra-se deteriorado devido a constantes despejos de esgotos doméstico e industrial. As análises das amostras evidenciaram concentrações decrescentes do Na para o Mg, na seguinte ordem: Na, Ca e Mg. Destes, Ca e Na apresentaram concentrações que variam inversamente com a vazão. O K e o Mg não tem relação com a vazão. Os autores recomendam, porém, estudos das formações geológicas da bacia e dos efluentes que são despejados no Piracicaba.

Conte (1992), em programa de coleta e análise de amostras de água realizado na bacia hidrográfica do Ribeirão Lavapés, que recebe todo esgoto da cidade de Botucatu – SP, determinou as concentrações das principais espécies químicas, dentre as quais os macronutrientes. Os resultados obtidos mostram grandes variações nas concentrações das

espécies químicas estudadas. Observou valores extremos, como: 8,80 a 46,20 mg L⁻¹ para Ca e 0,70 a 62,30 mg L⁻¹ para Na.

De acordo com a Cetesb (1987), de maneira geral, os corpos de água superficiais apresentam variações quanto às concentrações dos seus constituintes nos diferentes pontos de uma seção transversal, bem como ao longo do eixo longitudinal de deslocamento. Variações podem ainda ocorrer, ao longo do tempo, num mesmo ponto, de forma aleatória ou cíclica, em função das características das contribuições recebidas ou das variáveis meteorológicas.

O' Loughlin (1994), monitorando a qualidade da água em microbacias na Nova Zelândia, observou que os cursos d' água que drenam florestas naturais maduras não perturbadas possuem alta qualidade de água, com baixa concentração de nutrientes dissolvidos, sólidos em suspensão e organismos microbiológicos.

A mobilização de nutrientes de uma bacia não obedece rigorosamente uma ordem de saída através do deflúvio. Por exemplo, Guthrie et al. (1978) encontrou a seguinte ordem: Fe > K > Mg > > Ca. Por outro lado, Ranzini (1990) encontrou a seguinte ordem decrescente: Fe > Ca > Na > Mg para uma microbacia e Na > K > Mg > Fe para outra, de duas bacias situadas na mesma área.

Por outro lado, Franken et al. (1985) concluíram que as perdas pela água drenada pelo igarapé Barro Branco mostraram-se muito pequenas, indicando uma eficiente reciclagem de nutrientes realizada pela floresta. Essa observação ressalta o papel que a mata ciliar pode desempenhar no equilíbrio ecológico de uma bacia hidrográfica.

4.4. Ciclagem de nutrientes

Aliado ao estudo hidrológico, um dos aspectos mais estudados é a ciclagem de nutrientes, que segundo (Odum, 1983) é a circulação dos elementos químicos na biosfera em vias características e destes novamente ao ambiente, sendo o movimento dos elementos e compostos orgânicos essenciais a vida.

Poggiani (1985) e Poggiani & Schumacher (2000) sugerem o reconhecimento dos seguintes ciclos dentro dos sistemas: a) geoquímicos, que abrangem relações de importação e exportação, b) ciclos biogeoquímicos, que abrangem as relações solo-planta e, c) ciclos bioquímicos, que abrangem as relações de transferência internas ou translocação de nutrientes dentro das árvores.

Delitti (1999) comenta que o conhecimento dessa ciclagem entre os diversos compartimentos dos ecossistemas e deste para os ambientes circuncidantes pode contribuir para a elucidação entre os seres vivos e o meio, já que são fundamentais para a manutenção da integridade dos diversos sistemas ecológicos.

As principais fontes de entrada de nutrientes no ecossistema florestal se dão, através da chuva, deposição de poeira e aerossóis, por fixação de microorganismos acima e abaixo do solo, resíduos orgânicos e urbanos ou agroindustriais, adubação mineral e, exceto para o nitrogênio, por intemperismo da rocha matriz (Poggiani, 1985). A entrada de nutrientes pela precipitação varia de acordo com a localização e de acordo com as condições climáticas do ecossistema.

As perdas, por sua vez, ocorrem através do escoamento superficial da água, da lixiviação profunda, volatilização, do deflúvio, e, evidentemente, pela exploração florestal (Vital, 1999). Restrito a matas ciliares, este processo pode ocorrer com o arrastamento da serapilheira pela água dos rios em áreas inundáveis Pagano & Durigan (2000).

Os fluxos de entrada e saída de nutrientes em florestas naturais, situadas em áreas não perturbadas, tendem a manter um balanço equilibrado (Likens, et al., 1977).

Os fatores que afetam a forma e a ciclagem de nutrientes estão intimamente ligados às condições climáticas e fenológicas, bem como aos aspectos ambientais e aos poluentes. Estes poluentes constituem elementos que alteram o ciclo biogeoquímico, incorporando-se na cadeia alimentar do ecossistema florestal como componentes tóxicos e indesejáveis (Poggiani & Schumacher, 2000).

Segundo os mesmos autores, a ciclagem de nutrientes em florestas pode ser analisada através da compartimentalização da biomassa acumulada nos diferentes estratos e a quantificação das taxas de nutrientes que se movimentam entre seus compartimentos, através da produção de serapilheira, sua decomposição, lixiviação e outros.

A interação da água de chuva com a vegetação provoca uma alteração química resultando num carregamento de nutrientes para a serapilheira (Arcova & Cicco, 1987). Desta forma a água da chuva, a água de precipitação interna e a de escoamento tronco constituem-se em fator de adição de nutrientes ao solo, sendo processo importante no fluxo e na ciclagem interna de nutrientes em ecossistemas florestais.

A produção de serapilheira é parte do processo de retorno de matéria orgânica e de nutrientes para o solo florestal, sendo considerada o meio mais importante de transferência de elementos essenciais da vegetação para o solo.

Especialmente para matas ciliares situadas no Estado de São Paulo, as informações são insuficientes e se restringem a poucos trabalhos (Pagano & Durigan, 2000).

Quanto à deposição de serapilheira, o padrão anual é bastante diversificado, desde a queda total do material em curto período de tempo, em florestas decíduas, até o fluxo contínuo de detritos da biomassa aérea para o solo, em florestas sempre verdes (Delitti, 1989). Em geral, se observa um aumento da deposição da serapilheira até a idade em que as árvores atingem a maturidade ou fecham as suas copas. Após este ponto pode ocorrer um ligeiro decréscimo ou uma estabilização (Bray & Ghoran, 1964).

A média anual de queda de serapilheira da biomassa acima do solo aumenta das florestas boreais para os trópicos (Waring & Schlesinger, 1985). Sua periodicidade varia de espécie para espécie, sendo que os fatores climáticos influenciam significativamente nesse fenômeno (Schumacher, 1992).

No Brasil, as informações a respeito da ciclagem de nutrientes minerais em matas ciliares são ainda muito escassas. Porém, estudos dessa natureza podem ser encontrados para os mais diversos ecossistemas florestais.

Pagano e Durigan (2000) estudando aspectos da ciclagem de nutrientes em matas ciliares do oeste do Estado de São Paulo, concluíram que a produção de serapilheira tem apresentado dois padrões bem distintos: um, onde os maiores picos ocorrem no inverno que é caracterizado pela ocorrência de dias mais curtos e baixa precipitação (floresta estacional semidecidual, mata ciliar, cerrado), enquanto que a segunda tem como principal característica os maiores picos ocorrendo na época chuvosa e temperatura mais elevada (floresta atlântica).

Luizão & Schubart (1987) estudando a produção de serapilheira em terra-firme na Amazônia Central observaram que a maior produção foi durante o período seco do ano.

Em floresta de altitude e Floresta Mesófila Semidecidual, Morellato (1992) também observou que a serapilheira caiu continuamente ao longo do ano, mas foi maior na estação seca, em agosto e setembro.

Porém, Cunha et al. (1993) e Brun et al. (1999) estudando a dinâmica de nutrientes em Floresta Estacional Decidual, em áreas distintas no Estado do Rio Grande do Sul, observaram que a estação de maior deposição de serapilheira e nutrientes foi na primavera quando as precipitações foram abundantes e a temperatura média mensal estava em elevação.

Em um fragmento florestal do tipo Floresta Estacional Semidecidual Submontana em Piracicaba – SP, Oliveira (1997) encontrou uma produção de serapilheira de 14.715,97 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e o retorno dos macronutrientes na serapilheira encontram-se na seguinte ordem: Ca, N, K, Mg e P.

Pagano & Durigan (2000), analisando os resultados obtidos em experimentos realizados simultaneamente em cinco ambientes distintos de mata ciliar, em relação à estrutura florestal e à disponibilidade de água no solo, em três municípios da região oeste do estado de São Paulo encontraram os seguintes valores para a produção de serapilheira, em (kg ha⁻¹): 6.398, 9.744 e 11.126 para solos secos e 5.348 e 8.827 para solos úmidos.

Brun et al. (1999) estudando a deposição de serapilheira e devolução de nutrientes em três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul encontraram uma produção anual (kg ha⁻¹) de 9.707,8 para floresta madura, 7.409,7 para floresta secundária e 6.578,4 para capoeirão e a devolução estimada de nutrientes para floresta madura, floresta secundária e capoeirão foram, respectivamente, 153, 110,4 e 89,5

(kg ha⁻¹) para N, 6,5, 6,0 e 4,8 kg ha⁻¹ para P, 63,7, 36,5 e 30,9 kg ha⁻¹ para K, 185,8, 94,0 e 102,5 kg ha⁻¹ para Ca e 23,6, 18,3 e 21,5 kg ha⁻¹ para Mg.

A composição química da manta determina a qualidade do material bem como alimento e substrato para decompositores.

Cunha (1997), avaliando a deposição de serapilheira e outros aspectos da ciclagem de nutrientes, em diferentes etapas de regeneração (sucessão) de uma Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul, estimou uma produção média de serapilheira de: 5,8 t ha⁻¹ ano⁻¹, 8,0 t ha⁻¹ ano⁻¹ e 9,5 t ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, para capoeira, capoeirão e mata; a ordem de magnitude da transferência de nutrientes para o solo pela serapilheira em povoamentos de capoeira, capoeirão e mata foi semelhante: Ca>N>K>Mg>P.

Morelato (1992) estudou a produção e acúmulo de serapilheira em duas florestas no interior do Estado de São Paulo, uma floresta de altitude e uma Floresta Mesófila Semidecídua. As produções de serapilheira foram respectivamente 7 e 8,6 t ha⁻¹ ano⁻¹.

Em estudo sobre a dinâmica nutricional em Floresta Estacional Decidual (Cunha et al. 1993) encontraram uma produção anual de serapilheira de 7,76 t ha⁻¹ com deposição anual no solo florestal de 206 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, 11,2 de P, 37,8 de K, 269,2 de Ca e 29,9 de Mg. A quantidade média de serapilheira acumulada sobre o solo foi de 6,7 t ha⁻¹, a taxa de decomposição igual a 1,16 e o tempo necessário para o desaparecimento de 50% da serapilheira igual a 7 meses.

Outro aspecto importante é a quantidade de nutrientes presente na serapilheira. Essa camada de resíduos vegetais ou a matéria orgânica do solo é resultante da acumulação e decomposição de restos vegetais ou animais, sendo o material vegetal o de

maior importância para a ciclagem. Cada parte de uma árvore apresenta diferentes concentrações de elementos químicos em seus tecidos, o que irá refletir na quantidade de nutrientes conforme a produção de cada compartimento na serapilheira (Vital, 1999). Observa-se, geralmente, um gradiente com a seguinte tendência quanto a concentração de nutrientes: folhas > casca > ramos > lenho. Schumacher (1992) comenta que a quantidade de nutrientes presentes na serapilheira irá depender da espécie, da capacidade de translocação do nutriente antes da senescência, do tipo de solo e da proporção de folhas em relação aos demais componentes.

A serapilheira acumulada sobre o solo das florestas tem um papel importante na dinâmica destes ecossistemas, pois as transformações que ocorrem neste compartimento são responsáveis pela maior parcela do fluxo de energia dentro do sistema ao qual está associada a ciclagem dos nutrientes (Delitti, 1989; Waring & Schlesinger, 1985). Por outro lado, (Delitti, 1989 e Lima, 1998) consideram a contribuição da camada de resíduos vegetais sobre o solo (serapilheira) como fator limitante da perda de umidade na superfície e como atenuante de forças erosivas, como as chuvas, por exemplo.

O estudo dos fluxos de nutrientes minerais é um dos mais importantes instrumentos utilizados na análise de ecossistemas.

A acumulação de serapilheira é variável de acordo com o ecossistema considerado e seu estágio sucessional (Delitti, 1989). Em se tratando de mata ciliar, essa acumulação está relacionada ao teor de umidade e da fertilidade do solo que as suportam, apresentando resultados diferentes mesmo sendo essas matas situadas muito próximas entre si e apresentando as mesmas condições climáticas (Pagano & Durigan, 2000). Normalmente, os componentes da serapilheira acumulam-se sobre o solo até que a decomposição se inicie.

Segundo Pagano & Durigan (2000) há alguns processos de transferência importantes, exclusivos de matas ciliares: o primeiro é a entrada de sedimentos a partir das áreas adjacentes, transportados pelas águas das chuvas ou do rio, sendo retidos pela faixa florestal que atua como filtro, o segundo, trata-se da entrada de nutrientes também através do fluxo lateral do lençol freático, transportando nutrientes das partes mais elevadas para a faixa ciliar.

A decomposição, assim como a deposição de matéria orgânica, e o retorno de nutrientes ao solo florestal são os três aspectos básicos da ciclagem de nutrientes. Estudos sobre a ciclagem de nutrientes são de fundamental importância para uma melhor compreensão da auto-sustentabilidade dos ecossistemas, cujos aspectos ecológicos são ainda pouco conhecidos.

A velocidade da decomposição da serapilheira em florestas naturais ou reflorestamentos depende em parte da própria constituição química do material vegetal. Mas, sobretudo taxa de decomposição em um ecossistema florestal é grandemente determinada pelos fatores climáticos como temperatura e umidade, sendo a temperatura de importância primária (Waring & Schlesinger, 1985; Schumacher, 1992). De acordo com (Jordan, 1985) a taxa de decomposição desse material é maior nos trópicos.

Os mecanismos de absorção, estoque, transferência e perda de elementos na floresta são explicados pelo comportamento coletivo dos organismos vivos que compõe a comunidade florestal (Golley, 1983).

Quanto maior a diversidade da mesofauna, bactérias e fungos decompositores, maior é a velocidade de decomposição da serapilheira e mais rápido é o retorno dos nutrientes para a vegetação. Ambientes com maior umidade e temperatura

fornecem condições favoráveis para um maior número de espécies decompositoras, sendo que nestes ambientes o acúmulo de serapilheira é menor devido à alta atividade dessas espécies.

Deste modo, a decomposição é um elo crítico que torna os nutrientes disponíveis para circular no ciclo intrassistêmico de um ecossistema florestal (Waring & Schlesinger, 1985).

Acredita-se que a microflora é responsável por mais ou menos 80% do fluxo de energia dentro dos sistemas decompositores, com uma contribuição relativamente menor dos detritívoros (Oliveira, 1997). O efeito direto da maioria dos animais na decomposição de serapilheira em floresta é muito menor do que a microflora e fatores abióticos, como a lixiviação.

Segundo (Waring & Schlesinger, 1985) as taxas de decomposição são rápidas, se existe pouco acúmulo de serapilheira na superfície e os coeficientes de decomposição para a condição de equilíbrio dinâmico (K), são maiores que 1,0.

Em geral, as florestas tropicais produzem em torno de 5 t ano⁻¹ como “input” ao sistema decompositor. A conversão dessa matéria orgânica para húmus ocorre a uma taxa de 30 a 50% ao ano. Os padrões temporais nas taxas anuais e diárias de queda da serapilheira e decomposição da matéria orgânica refletem a variação ambiental da região (Golley, 1983).

A rápida transformação da serapilheira, produzida continuamente ao longo do ano, assegura uma continuidade do suprimento anual de nutrientes. Isto é particularmente importante para elementos como o N e P, os quais apresentam taxas de mineralização semelhantes às taxas de decomposição da matéria orgânica (Jordan, 1985).

Os ecossistemas ripários são, portanto, áreas que devem estar sempre em boas condições de proteção, com cobertura vegetal adequada, a fim de que o funcionamento hidrológico do sistema todo, ou seja, da bacia hidrográfica, permaneça harmônico (Lima, 1989).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Descrição da Área Experimental

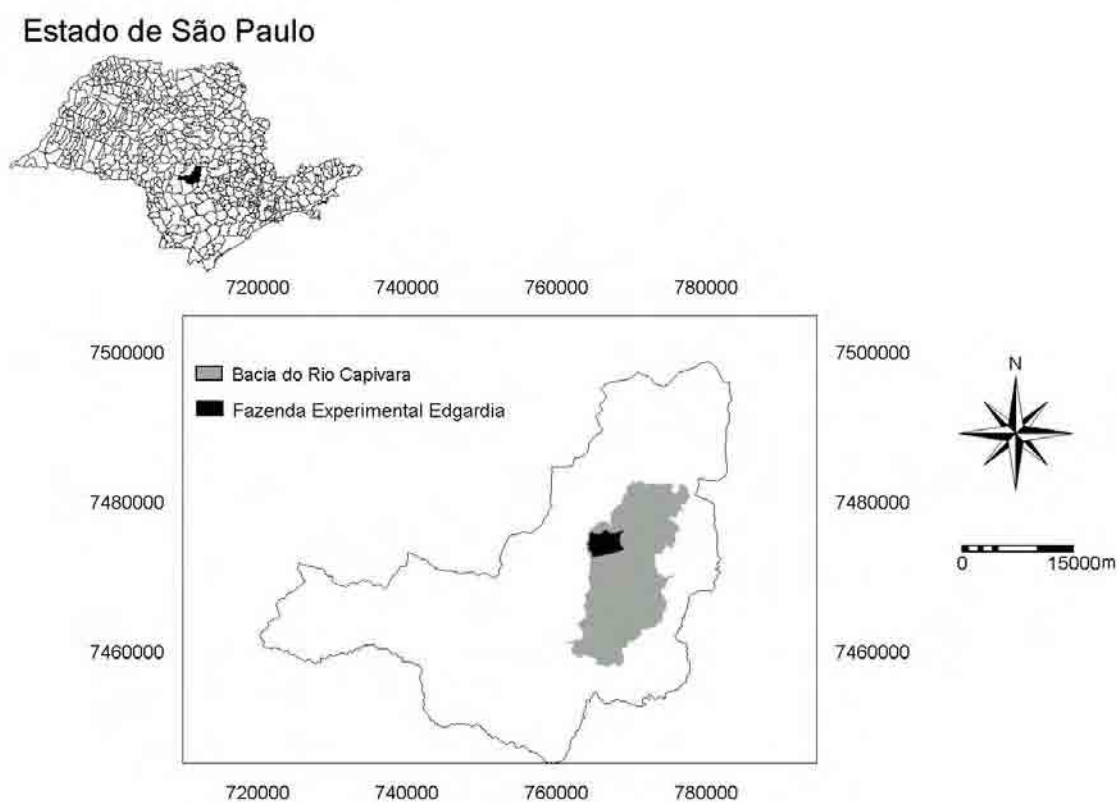
5.1.1. Localização

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental Edgardia pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu, Estado de São Paulo. Essa Fazenda dispõe de área de aproximadamente 1200 ha (Figura 1). Possui altitude que varia de 725 m a 475 m, segundo Carvalho et al. (1991), sendo que a área experimental foi implantada em um trecho de Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 1992), chamada de Mata do Bexiguento, com aproximadamente 303 ha (Figura 2), situada nas coordenadas de 22° 48' 51" S e 48° 24' 15" W de Greenwich.

A microbacia onde foi desenvolvido o experimento possui, 10,8 ha de cultura agrícola, 263,6 ha de Floresta Estacional Semidecidual, 67,8 ha de pastagem, 6,9 ha de pastagem e árvores esparsas, 11,1 ha de solo nu e 1,3 ha de várzea, representando, respectivamente, 3%; 72,9%; 18,8%; 2%; 3,1% e 0,4% (Jorge et al., 2002) (Figura 2). Inicialmente foi demarcada uma parcela de 50 x 50m localizada à margem direita e com

distância de 5 m do riacho da “bica”, afluente do Rio Capivara, com cobertura florestal bem preservada, para instalação da estrutura essencial à coleta de dados.

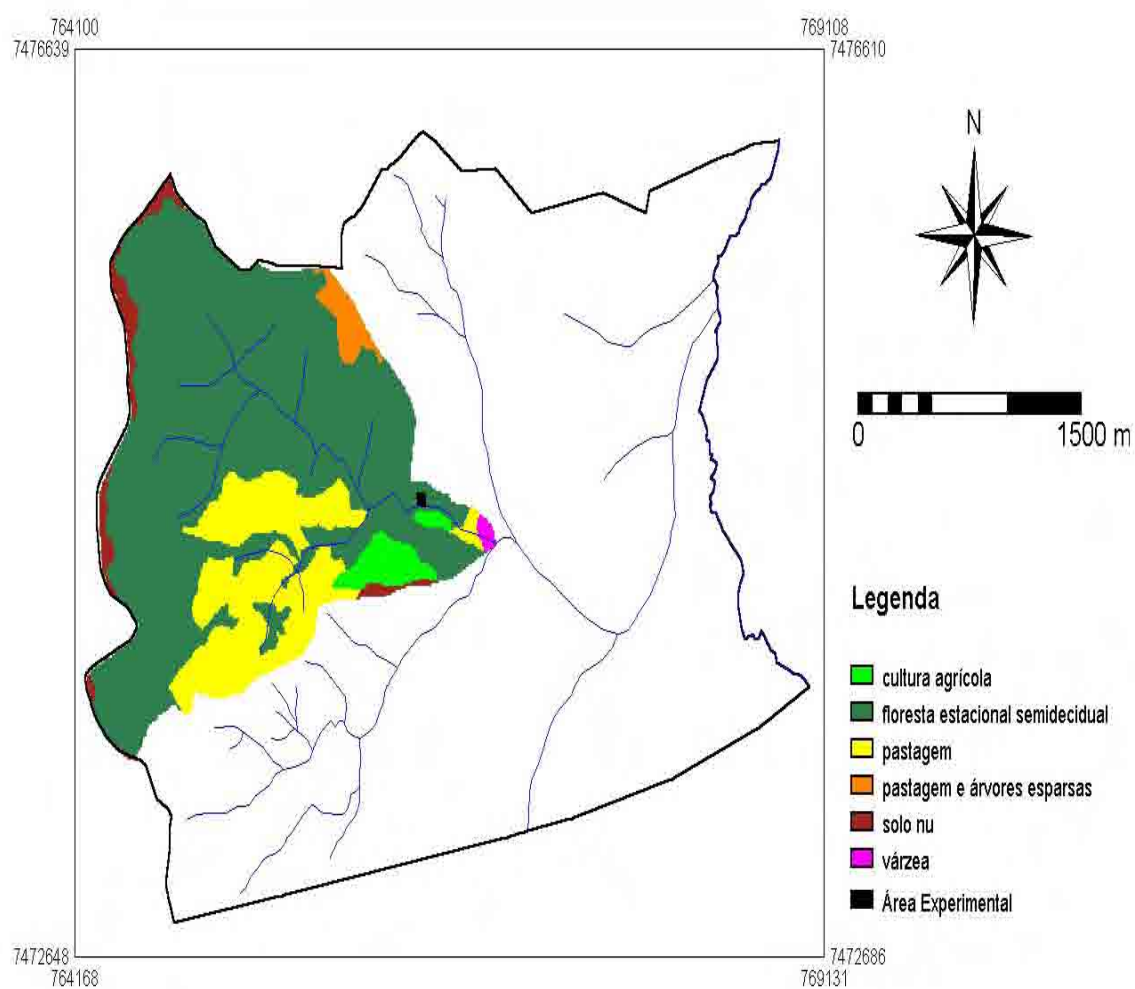
Antes do início das coletas de dados e após a escolha da área experimental, foram feitos o levantamento fitossociológico e a coleta de material para a caracterização do solo.



*Fonte: Jorge et al. (2002)

Coord. UTM. Fossos 22 (M.C.F. 51° WG); 23 (M.C.F. 45° WG).

Figura 1. Limites do Município de Botucatu e Localização da Fazenda Experimental Edgardia na Bacia do Rio Capivara.



*Fonte: Jorge et al. (2002)

Coord. UTM. Fuso 22. M.C.F. 51° WG.

Figura 2. Planta da Fazenda Experimental Edgardia apresentando parte da microbacia do Rio Capivara, ocupação do solo e localização da área experimental.

A fase experimental teve início em outubro de 2000 e seu término em setembro de 2001, perfazendo um ano completo.

5.1.2. Clima

A região possui uma precipitação média anual de 1.516 mm (Carvalho et al. 1991), com temperatura máxima média de 23°C e a temperatura mínima média de 17°C, resultando em uma temperatura média de 20°C.

Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfa, que corresponde ao clima Temperado (Mesotérmico), região constantemente úmida, tendo quatro ou mais meses com temperaturas médias superiores a 10°C, cuja temperatura do mês mais quente é igual ou superior a 22°C (Martins, 1999).

5.1.3. Geologia e geomorfologia

A geologia da região remonta à Era Mesosóica pertencente ao grupo São Bento, correspondendo ao Triássico Inferior e ao Jurássico, incluindo as Formações Serra Geral, Botucatu e Pirambóia, além de sedimentos aluviais referidos ao Holoceno. As formações Botucatu e Pirambóia são constituídas, respectivamente, por arenitos eólicos e eólico-fluviais, de granulação fina a média, com coloração avermelhada. (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981; Carvalho et al., 1991).

Na Fazenda Experimental Edgardia são encontradas duas províncias geomorfológicas: as Cuestas Basálticas, referentes às ocorrências de rochas eruptivas bases e seus produtos de alteração, e a Depressão Periférica, compreendendo a área de presença de arenitos e de sedimentos aluviais (Carvalho et al., 1991).

5.1.4. Solos

O solo da área onde foi instalada a parcela experimental é do tipo Neossolo Litólico próximo ao Neossolo Flúvico (solos aluviais) (EMBRAPA, 1999).

5.1.5. Declividade

Para a determinação da declividade média da área, foi utilizado um nível de precisão NI 050, marca Carl Zeiss, Jena, mira graduada, estacas e trena. Em função da existência de vegetação densa, e no intuito de não suprimir qualquer indivíduo vegetal, os alinhamentos para tomada de desníveis foram aplicados com diferentes distâncias horizontais, no sentido do lançante do terreno, procurando cobrir locais que apresentassem as variações do relevo geral da área experimental. As declividades variaram de um mínimo de 23,3% à um máximo de 52,4%, resultando em um valor médio de 35,0%.

5.1.6. Vegetação

A área experimental apresenta uma cobertura de mata ciliar, cujas características fisionômicas da vegetação natural enquadraram-se no tipo Floresta Estacional Semidecidual (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1992) ou do tipo Floresta Mesófila Semidecídua (Rizzini, 1979), ocorrendo na área de transição da Depressão Periférica para Cuesta Basáltica. A mata ciliar da parcela experimental é do tipo Floresta Estacional Semidecidual (Figura 3).

5.2.1. Precipitação total

A precipitação total foi determinada por meio de um pluviômetro com área de captação de $175,1 \text{ cm}^2$, instalado em local aberto, a uma distância de aproximadamente 250 m da bordadura da parcela experimental, e nivelado a 0,90 m do solo.

Embora os padrões normais da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) sejam de 1,5 m do solo, esse pluviômetro foi instalado a 0,90 m levando em consideração a mesma altura dos interceptômetros localizados no interior da mata. Este equipamento, bem como aqueles utilizados na determinação da precipitação interna, foram construídos no Departamento de Engenharia Rural da FCA, utilizando-se tubos de PVC de 150 mm de diâmetro, redução de PVC de 150 para 100 mm e funil plástico. Tais equipamentos foram calibrados em função da medição obtida com pluviômetro oficial tipo “Ville de Paris”, com 400 cm^2 de superfície, não se detectando diferença significativa, sob o ponto de vista estatístico, entre os resultados apresentados pelos mesmos (Leopoldo*, 1999).

5.2.2. Precipitação interna

Para a determinação da precipitação interna, foram utilizados 25 pluviômetros com superfície de captação média de $175,1 \text{ cm}^2$. Foram instalados no interior da mata ciliar, nivelados e colocados a uma altura de 0,90 m do solo, determinando uma distribuição sistemática, em malha de 30 x 20 m (Figura 5). Após cada semana os coletores tiveram a sua posição inicial alterada, sendo movimentados em cerca de 1,00 m no sentido

* Leopoldo, P.R. (Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Engenharia Rural. Botucatu, São Paulo, Brasil). Comunicação verbal, 1999.

longitudinal ou transversal, da malha, alternadamente. As leituras dos interceptômetros, e do pluviômetro foram semanais.



Figura 5. Modelo de interceptômetro construído.

5.2.3. Escoamento pelo tronco

Para a quantificação do escoamento pelo tronco foram selecionadas 20 árvores representativas do extrato superior, as quais foram envolvidas por um segmento de mangueira plástica de uma polegada, cortadas no sentido longitudinal, constituindo-se em calhas destinadas à captação do montante escoado. As calhas foram fixadas sob a forma de espiral, acompanhando a circunferência dos troncos das árvores, sendo a vedação do contato mangueira-tronco obtida, utilizando-se massa adesiva própria para calafetação. Assim a água de chuva captada era conduzida até o funil plástico, fixado no tronco da árvore, canalizada por mangueira para um recipiente armazenador (Lima, 1976; Leopoldo & Conte, 1985; Lima, 1998) (Figura 6). O escoamento pelo tronco foi estimado em milímetro de água, pela média do volume armazenado nos reservatórios e um fator de conversão igual a $113,64 \text{ m}^2$, ou seja, em função de sua densidade populacional a qual foi estimada dividindo-se os valores do tamanho da área experimental pelas vinte árvores que se destacam no dossel superior.

Aferiu-se, também, o volume de água de chuva do escoamento pelo tronco em 10 plantas do subbosque. Cada tronco foi envolvido, a uma altura de 1,30 m da superfície do solo, com Resina: resina epoxi modelada no formato de uma calha. O sistema armazenador utilizado foi o mesmo já descrito para as árvores representativas do extrato superior (Figura 7).

Para cada altura de chuva semanal foi calculada a média aritmética do volume de água coletado das plantas e transformado em milímetro de altura de água em função da área média das copas. A área da copa das plantas do subbosque foi obtida por meio de projeção vertical.



Figura 6. Sistema coletor de água escoada pelo tronco do estrato superior



Figura 7. Sistema coletor de água escoada pelo tronco do subbosque.

5.2.4. Interceptação

Após a obtenção dos dados, foram estimadas as perdas por interceptação empregando-se a equação definida por Helvey & Patric (1965):

$$I = PT - (PI + Et) \quad \dots\dots\dots (1)$$

Onde,

I = perda por interceptação (mm);

PT = precipitação total (mm);

PI = precipitação interna (mm);

Et = escoamento pelo tronco (mm).

5.2.5. Escoamento superficial

A quantificação do escoamento superficial foi obtida pela construção de um sistema coletor em uma área de 36m², instalado aleatoriamente no interior da mata da área experimental. Na parte superior e nas bordaduras do coletor a delimitação foi feita através da utilização de tábuas. Na extremidade inferior foi colocada uma calha de PVC de 6" (150 mm), objetivando-se coletar o volume de água escoado superficialmente e, conseqüentemente, conduzi-lo para um reservatório, onde foram realizadas as respectivas leituras, semanalmente.

Os valores coletados, em mililitros, foram transformados em milímetros de altura de água em função da área do sistema coletor.

5.2.6. Retenção de água pela manta

Foram utilizados 4 coletores de 0,50 m² de superfície, com altura equivalente à camada da manta sob o solo, com fundo de tela de náilon com malha de 1 mm, ao nível do solo. Esses coletores continham ainda uma superfície plástica, impermeável, formando um tipo de bandeja coletora da água que passa através da manta, e era canalizada para um recipiente plástico onde se realizava a respectiva leitura, semanalmente (Figura 8).

Os valores coletados, em mililitros, foram transformados em milímetro de alturas de água em função da área do sistema coletor, estimando-se a quantidade retida através da diferença entre a precipitação efetiva e aquela armazenada pelas bandejas.



Figura 8. Sistema coletor de água que passa pela manta.

5.2.7. Nível freático

A coleta de dados do nível do lençol freático foi realizada através de um Medidor de nível graduado em três poços com 3 m de profundidade, perfurados com eqüidistância de 6m, sendo o primeiro perfurado à 10 m do nível normal do riacho da “bica” da área experimental.

5.2.8. Umidade do solo

Para a determinação da umidade do solo, foram também coletadas, ao acaso, 5 amostras quinzenais de solo em 5 pontos diferentes ao acaso, localizados no interior da área definida pelos interceptômetros, nas seguintes profundidades: 0-10, 11-20, 21-30, 31-50 e 51-100 cm, com auxílio de um trado. Após a coleta, as amostras acondicionadas em latas de alumínio vedadas, foram conduzidas ao laboratório de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP para a determinação da umidade. As amostras, após a pesagem, foram submetidas a uma temperatura de 105°C, em estufa, por um período de 30 horas (Lima, 1979). Após esse período, determinou-se o peso seco das amostras para o cálculo do teor de umidade.

Amostras indeformadas do solo foram também coletadas através de tubos de ferro, com volume igual a 100 cm³, visando a determinação da densidade. A coleta das amostras foi realizada nos seguintes intervalos de profundidades: 0-10, 11-15, 16-25, 26-40 e 80 cm. Os valores da densidade, nas referidas profundidades, foram obtidos por meio da relação entre o peso seco de cada amostra e o volume do cilindro.

5.2.9. Análise do solo

Foram também coletadas, ao acaso, na área experimental, 3 amostras de solo com a ajuda de um trado, nos intervalos de 0-10 cm, 11-20 cm, 21-30 cm, 31-50 cm e 51-100 cm de profundidade para análises físicas e químicas.

5.2.9.1. Análise física

As análises físicas do solo (densidade, granulometria e textura), foram realizadas segundo a metodologia da EMBRAPA (1997).

5.2.9.2. Análise química

A metodologia utilizada para as análises químicas do solo foi segundo RAIJ et al. (2001).

5.2.10. Água do riacho

Além disso, foram coletadas amostras de água do riacho da “bica” localizado próximo à área experimental. Essas amostras, coletadas em 3 pontos distintos (antes, na parcela e depois), foram analisadas quinzenalmente para a obtenção da concentração dos macronutrientes nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e do elemento sódio, com o objetivo de comparar com dados existentes na literatura.

5.2.11. Armazenamento temporário de água de chuva no ecossistema

Considerando-se a parcela experimental, o armazenamento temporário da água de chuva no ecossistema foi calculado pela seguinte equação:

$$Sa = PT - Es \quad \dots\dots\dots (2)$$

Onde,

Sa = armazenamento temporário de água de chuva no ecossistema, mm;

PT = precipitação total, mm;

Es = escoamento superficial, mm.

As leituras do volume de água da precipitação total, precipitação interna, escoamento pelo tronco, escoamento superficial e água que passa pela camada de matéria orgânica (manta) foram semanais com o auxílio de uma proveta graduada onde, após as leituras, era retirada a amostra. No caso da precipitação interna, em cada coleta, a água retirada dos interceptômetros era colocada em um galão para homogeneização, antes da retirada das amostras. A água subterrânea e do riacho da “bica” localizado próximo à área experimental foram coletadas quinzenalmente. As amostras foram acondicionadas utilizando-se frascos de polietileno com capacidade para 200 ml. Os frascos eram lavados no laboratório com solução de HCL 10% e enxaguadas várias vezes com água corrente, seguida de três enxaguadas com água destilada. Após as coletas as amostras foram transportadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Recursos Naturais e Ciência do Solo, da FCA/UNESP, Campus de Botucatu – SP, onde foram feitas as análises químicas.

Os teores de nitrogênio na água da precipitação total, precipitação interna, escoamento pelo tronco, água que passa pela manta, água dos poços de observação do nível freático e água do riacho foram determinados pelo método micro-Kjeldahl. Os elementos potássio, cálcio e magnésio foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica, utilizando equipamento marca PERKIN ELMER modelo 2380.

5.2.12. Armazenamento temporário de água no solo

A quantidade de água de chuva retida temporariamente no solo foi estimada pela seguinte relação:

$$H = \left(\frac{Ua}{10}\right).H.Da \quad \dots\dots\dots (3)$$

Onde,

H = armazenamento temporário de água no solo, mm;

Ua = teor gravimétrico de umidade (%);

H = profundidade da camada, cm;

Da = densidade do solo, g/cm³.

5.2.13. Deposição de serapilheira

Foram utilizados 4 coletores de 1 m² de superfície, altura de 10 cm, com fundo de tela de náilon com malha de 1 mm, a 30 cm de altura do solo. Esses coletores foram instalados individualmente, distribuídos de forma casualizada em parcelas de 100 m² (Figura 9). Para estimar a quantidade de serapilheira produzida, foram realizadas 12 coletas, com intervalo de 30 dias, de outubro de 2000 a setembro de 2001. A coleta da serapilheira acumulada em cada um dos coletores de 1 m² foi recolhida, pesada e embalada em sacos plásticos numerados, e seca em sacos de papel em estufa à temperatura média de 60°C, pesando-os após a referida secagem em balança analítica (precisão de 0,01g). A partir desses dados, pôde-se estimar as médias mensal e anual de serapilheira produzida.



Figura 9. Sistema de coletor de serapilheira produzida.

5.2.13.1. Quantificação de nutrientes na serapilheira

Depois de pesado, o material da serapilheira foi moído em moinho tipo Wiley, sendo o pó resultante levado novamente à estufa, e seco a 50°C para posterior análise química em laboratório.

Os elementos determinados envolveram os macronutrientes: nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), Cálcio (Ca) e magnésio (Mg). As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Recursos Naturais e Ciência do Solo, da FCA/UNESP, Campus de Botucatu – SP.

O N foi determinado pelo método Semi-micro-Kjeldahl através da extração – digestão ácida quente sulfúrica. Os elementos P, K, Ca e Mg foram quantificados

por espectrofotometria de absorção atômica, através da extração nítrico-perclórica. (Malavolta et al., 1989).

A deposição de nutrientes foi obtida multiplicando-se a biomassa seca depositada (serapilheira) pela concentração média determinada, em laboratório, para cada elemento.

5.2.13.2. Eficiência de utilização de nutrientes

A eficiência de utilização de nutrientes foi calculada para os elementos N, P, Ca e Mg da serapilheira. A eficiência de utilização de nutrientes foi estimada através da relação entre a biomassa de serapilheira produzida e a quantidade de nutrientes transferidos por esta biomassa, como proposto por Vitousek (1982).

5.2.14. Ciclagem de nutrientes

A serapilheira acumulada sobre o solo foi estimada em coletas bimensais com início em novembro de 2000 a setembro de 2001, totalizando seis coletas no decorrer do período experimental, onde foi coletada uma amostra por parcela, utilizando-se um quadrado de madeira de 0,25 m². Para obtenção dessas amostras, foi coletada toda a manta existente sobre o solo, secando-se o material coletado em estufa a uma temperatura de 60°C.

A taxa de decomposição da serrapilheira foi estimada a partir da equação proposta por Olson (1963):

$$\frac{L}{X_{ss}} = K \dots\dots\dots (4)$$

Onde,

L = quantidade de serrapilheira produzida anualmente (g/m^2);

X_{ss} = Média anual de serrapilheira acumulada sobre o solo (g/m^2);

K = constante de decomposição para condição de equilíbrio dinâmico.

Calculou-se também, a partir do valor K , o tempo médio de renovação, estimado por $1/K$.

Foram calculados ainda os tempos necessários para o desaparecimento de 50% e 95% da serrapilheira, segundo Shanks & Olson (1961):

$$T_{0,5} = e^{-kt_{0,5}}, \text{ ou } t_{0,5} = 0,693 / K \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$T_{0,05} = 3/K \quad \dots\dots\dots (6)$$

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Caracterização da área

6.1.1. Levantamento fitossociológico

Das quatorze famílias mais comuns encontradas na área experimental, onze estão inseridas nas espécies arbustivas-arbóres amostradas em mais de 24% dos 43 levantamentos florísticos e fitossociológicos de floresta ciliar do Brasil extra Amazônico, em trabalho descrito por Rodrigues & Nave (2000). Dessas quatorze famílias, três e onze foram determinadas à nível de gênero e espécie, respectivamente.

6.1.2. Análise do solo

O Quadro 1 apresenta os resultados da determinação da densidade do solo (d) e análises granulométricas, para as diferentes profundidades do perfil.

As análises granulométricas do solo da área experimental indicam ser um solo bastante arenoso no perfil estudado. Em função de sua própria origem, são solos muito heterogêneos quanto à granulometria, estrutura, consistência e propriedades químicas

(Jacomine, 2000). Os resultados de densidade mostram uma tendência de aumento em função da profundidade até 25 cm, de 25 a 80 cm os valores obtidos não mostram essa mesma tendência. (Quadro 1).

Quadro 1. Valores médios de densidade (d), expressos em g/cm^3 e análises granulométricas, expressos em %.

Densidade do Solo		Análises granulométricas do Solo					
Profundidade	d	Profundidade	Areia total	Argila	Silte	Arg. Nat.	Textura
(cm)	(g/cm^3)	(cm)	(%)	(%)	(%)	(%)	do Solo
10	1,44	0-10	84	13	3	5	Arenoso
15	1,63	11-20	85	11	4	5	Arenoso
25	1,64	21-30	86	11	3	7	Arenoso
40	1,42	31-50	84	13	3	9	Arenoso
80	1,54	51-100	90	9	1	5	Arenoso

De acordo com Raij et al. (2001), a análise química para a avaliação da fertilidade do solo indica ser um solo ácido, pobre em matéria orgânica, com baixos teores de P e K, teor médio de Mg e alto para Ca (Quadro 2).

Quadro 2. Valores de análises químicas de solos da área experimental.

Profundidade	pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
(cm)	CaCl ₂	g/dm^3	mg/dm^3	$(\text{mmol}_c/\text{dm}^3)$						
0 – 10	4,2	11	10	34	0,6	14	5	19	53	35
11 – 20	4,2	12	7	121	0,5	11	4	15	137	11
21 – 30	4,3	6	7	16	0,5	9	4	13	30	45
31 – 50	4,0	4	10	29	0,7	10	6	16	46	36
51 – 100	4,1	4	7	16	0,5	9	6	15	32	48

Segundo Jacomine (2000), do mesmo modo que as propriedades físicas, as propriedades químicas também são muito heterogêneas, tendo-se constatado solos ácidos, com baixa saturação por bases e, por vezes, com alta saturação com alumínio.

6.2. Armazenamento temporário de água de chuva no ecossistema

Os resultados do armazenamento temporário de água da chuva no ecossistema podem ser observados no Quadro 3.

Quadro 3. Valores mensais da precipitação total (PT), escoamento superficial (Es) e armazenamento temporário no ecossistema (Sa), expressos em milímetros e porcentagem.

Mês	PT		Es		Sa	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
Outubro/2000	14,0	100	0,01	0,07	13,99	99,93
Novembro/2000	147,1	100	1,02	0,69	146,08	99,31
Dezembro/2000	197,6	100	2,04	1,03	195,56	98,97
Janeiro/2001	256,4	100	1,77	0,69	254,63	99,31
Fevereiro/2001	271,3	100	1,46	0,54	269,84	99,46
Março/2001	116,0	100	0,74	0,64	115,26	99,36
Abril/2001	20,4	100	0,18	0,88	20,22	99,12
Maio/2001	74,0	100	0,30	0,41	73,66	99,54
Junho/2001	32,3	100	0,05	0,15	32,25	99,85
Julho/2001	60,0	100	0,10	0,17	59,87	99,78
Agosto/2001	21,7	100	0,06	0,28	21,64	99,72
Setembro/2001	83,4	100	0,46	0,55	82,94	99,45
Total no ano	1.294,1	100	8,20	0,51	1.285,87	99,49

O volume de água, que fica temporariamente retido no ecossistema é, por conseguinte, resultante da interceptação da vegetação, armazenamento superficial, bem como da infiltração.

A quantidade de água de chuva armazenada temporariamente no ecossistema (Quadro 3), correspondeu a uma grande parcela da precipitação total, 1.285,87 mm, enquanto que cerca de 8,20 mm, restante, foram perdidos por meio do escoamento superficial. Em termos percentuais, o armazenamento correspondeu aproximadamente 99,5% da precipitação incidente. Leopoldo et al. (1995) em experimento conduzido na floresta Amazônica, obtiveram uma porcentagem de 97%. Para uma área de mata ciliar com vegetação característica do tipo “cerradão”, Lima (1998) observou que esse armazenamento correspondeu a 93,4% da precipitação total. Estas observações estão de acordo com aquelas obtidas por Leopoldo (1981), Franken et al. (1982), Leopoldo & Conte (1985), Cicco et al. (1986/88) e Lima (1998).

Com base nos valores obtidos do armazenamento temporário de água das precipitações pelo ecossistema, pôde-se constatar a efetiva proteção exercida pela vegetação ripária.

O solo possui mecanismos variados para estocagem de água dependendo da profundidade, estrutura, composição, etc. Essa capacidade de estocagem está diretamente relacionada com os processos de evaporação e transpiração (evapotranspiração) desempenhados, principalmente, pela vegetação. Caso essa vegetação fosse retirada, é de se esperar uma mudança na capacidade de estocagem de água desse solo, em função de uma maior exposição do mesmo, proporcionando uma maior perda de umidade e um aumento no escoamento superficial.

6.3. Perdas por interceptação

Durante o período experimental, 01/10/2000 a 30/09/2001, foram obtidos dados de precipitação total (PT), precipitação interna (PI) e escoamento pelo tronco da cobertura dominante (Et) e do subboscque (Ets), referente a 36 medições de alturas de chuvas.

No Quadro 4 são apresentados os valores médios mensais das repartições da precipitação total, em milímetro e percentagens.

A precipitação efetiva, ou seja, a quantidade de água de chuva que atingiu o piso florestal diretamente ou através de gotejamento, foi resultante da soma da precipitação interna e escoamento pelo tronco.

Através dos resultados mostrados no Quadro 4, pôde-se constatar que os valores médios absolutos de precipitação interna (PI), escoamento pelo tronco (Et) e a precipitação efetiva (Pe) aumentaram com a elevação do volume da precipitação incidente. Observa-se que no escoamento pelo tronco não houve registros de valores elevados do volume escoado nos meses onde o volume de água é menor. A precipitação interna apresentou valores bem expressivos, quase equiparados aos da altura de água registrada na precipitação efetiva. As perdas por interceptação (I) não apresentaram, no geral, a mesma tendência do Et, PI e Pe em relação à precipitação total, uma vez que, nos meses de fevereiro e julho os valores observados mostraram-se inferiores àqueles esperados. Os valores encontrados para precipitação total, precipitação interna e infiltração estão de acordo com aqueles obtidos por Franken et al. (1982), Leopoldo & Conte (1985) e Cicco et al. (1986/88).

Quadro 4. Valores absolutos e percentuais médios mensais de precipitação total (PT), escoamento pelo tronco (Et) e precipitação interna (PI), bem como os valores médios calculados de precipitação efetiva (Pe) e perdas por interceptação (I) e percentagens.

Mês	PT		Et		PI		Pe		I	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
Outubro/2000	14,0	100	0,01	0,07	12,00	85,71	12,01	85,79	1,99	14,21
Novembro/2000	147,1	100	0,23	0,16	124,01	84,30	124,24	84,46	22,86	15,54
Dezembro/2000	197,6	100	0,26	0,13	158,16	80,04	158,42	80,17	39,18	19,83
Janeiro/2001	256,4	100	0,30	0,12	209,53	81,72	209,83	81,84	46,57	18,16
Fevereiro/2001	271,3	100	0,32	0,12	227,64	83,91	227,96	84,03	43,34	15,97
Março/2001	116,0	100	0,13	0,11	97,96	84,45	98,09	84,56	17,91	15,44
Abril/2001	20,4	100	0,02	0,10	15,94	78,14	15,96	78,24	4,44	21,76
Maio/2001	74,0	100	0,05	0,07	58,31	78,80	58,36	78,86	15,64	21,14
Junho/2001	32,3	100	0,02	0,06	18,58	57,52	18,60	57,59	13,70	42,41
Julho/2001	60,0	100	0,04	0,07	53,55	89,25	53,59	89,32	6,41	10,68
Agosto/2001	21,7	100	0,01	0,05	18,54	85,44	18,55	85,48	3,15	14,52
Setembro/2001	83,4	100	0,08	0,10	77,65	93,11	77,73	93,20	5,65	6,80
Total no Ano	1.294,1	100	1,46	0,10	1.071,86	81,87	1.073,34	81,96	220,86	18,04

Observa-se que a quantidade de água de chuva que escoou pelo tronco foi muito pequena em relação à precipitação total, representando até 0,1% na condição de volume máximo escoado (Quadro 4). Leopoldo (1982), Leopoldo & Conte (1985), Lloyd & Marques Filho (1988), Lima (1998) também constataram quantidades mínimas do fluxo escoado pelo tronco.

É possível que a pequena parcela de água de chuva escoada pelo tronco deva estar relacionada com as características das espécies da floresta estacional semidecidual. A abundância de plantas trepadeiras e cipós que contornam os troncos devem proporcionar o desvio da água, além da sobreposição das copas, possivelmente, facilitando o gotejamento através dos galhos e folhas. A presença de árvores com cascas mais espessas, apresentando fendas, nódulos e algumas vezes tortuosas e inclinadas, também podem representar um obstáculo para o escoamento. Não se descarta também a possibilidade da evaporação da parte do fluxo em função da presença de líquens.

De acordo com os valores apresentados no Quadro 4, constatou-se que os maiores percentuais de perdas por interceptação não ocorreram nos meses mais chuvosos, de chuvas intensas e duradouras, mas sim nos meses de baixa altura de chuva precipitada.

As Figuras 10, 11 e 12 foram obtidas pela relação entre os valores individuais da precipitação interna, escoamento pelo tronco e perdas por interceptação com a precipitação total, em milímetros.

De acordo com a curva de regressão apresentada na Figura 10, constatou-se, por meio do coeficiente de determinação, que cerca de 99,7% da precipitação interna pode ser explicada pela precipitação total.

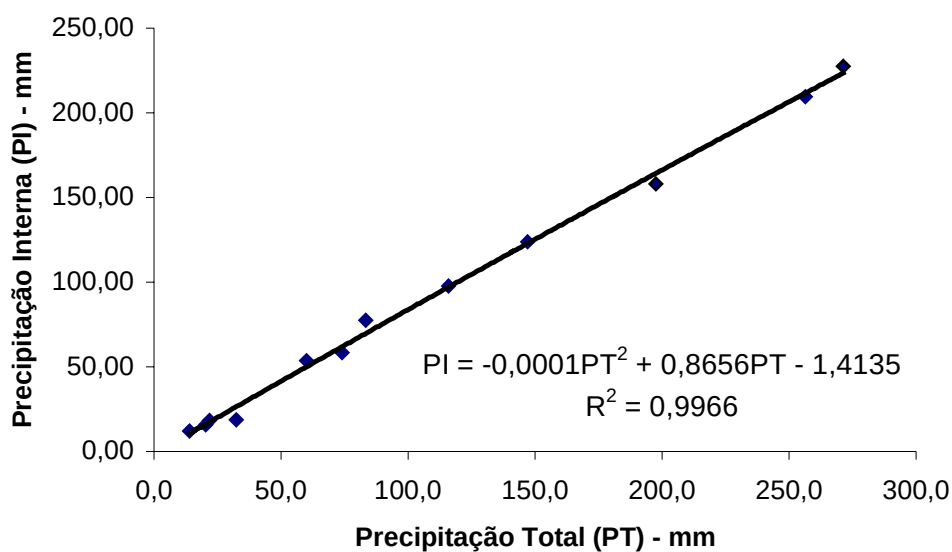


Figura 10. Curva de regressão dos valores de precipitação interna (PI) em função da precipitação total (PT).

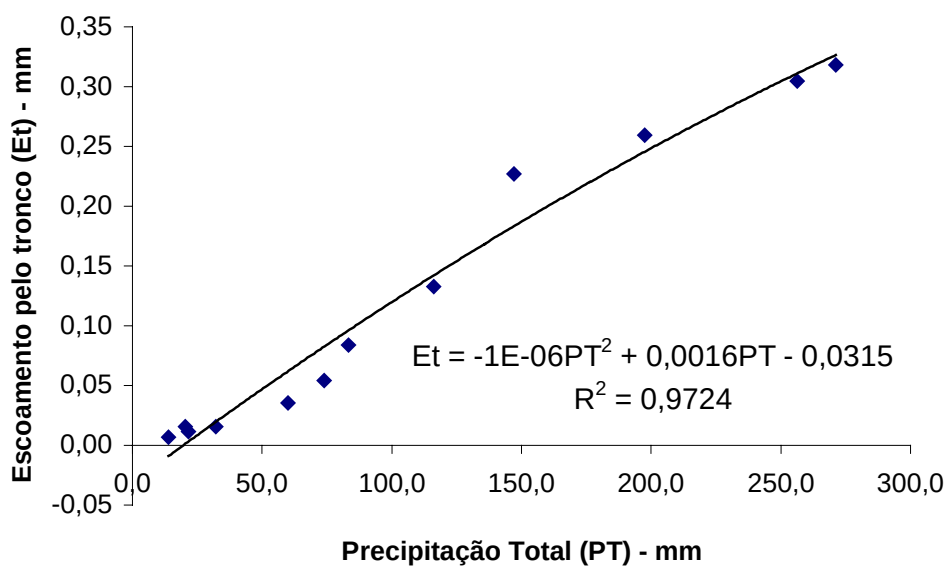


Figura 11. Curva de regressão dos valores do escoamento pelo tronco (Et) em função da precipitação total (PT).

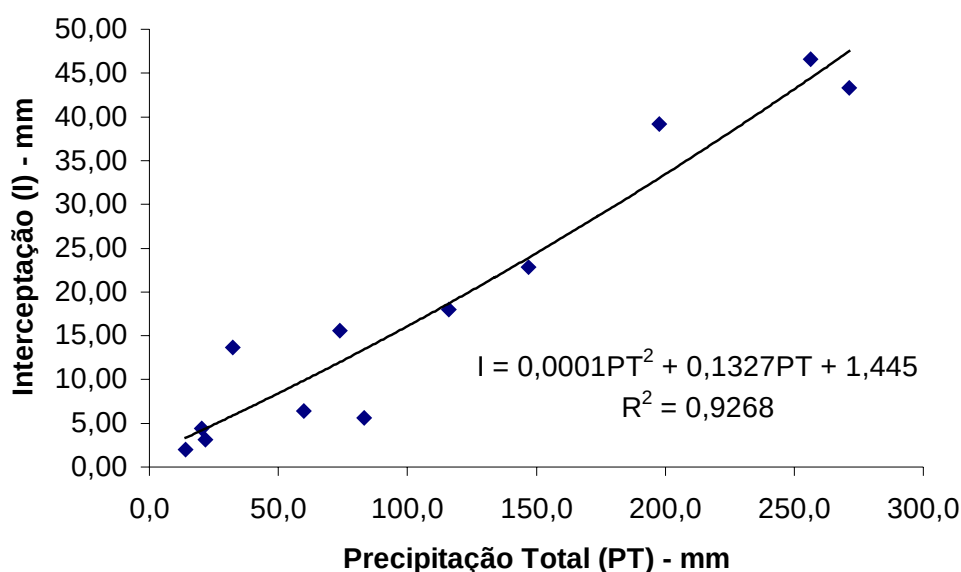


Figura 12. Curva de regressão dos valores da perda por interceptação (I) em função da precipitação total (PT).

Por meio da regressão linear, Figura 11, verifica-se que a capacidade de retenção de água no tronco (Et) é bem relacionada com a precipitação total (PT).

A Figura 12 apresenta a boa relação entre os valores das perdas por interceptação e precipitação total, em milímetros. Através de um ajuste entre tais valores, verificou-se que a regressão que melhor representa o processo é a equação potencial.

Os valores de R^2 revelam que embora os três coeficientes de determinação foram superiores a 90%, o maior valor observado foi para a precipitação interna, seguida de escoamento pelo tronco e por último pela interceptação, quando relacionada à precipitação total.

No Quadro 5 pode-se observar os valores de volume de água que representa o escoamento pelo tronco nas plantas selecionadas do subbosque (Ets), expressos em milímetros e percentuais, em relação a altura de chuva mensal.

Observa-se que de forma análoga ao observado no estrato superior, os valores absolutos do fluxo escoado pelo tronco no subbosque foram maiores quanto maior os valores da precipitação incidente sobre a cobertura florestal. (Quadro 5)

Quadro 5. Valores absolutos e percentuais médios mensais e totais mensais do escoamento pelo tronco no subbosque.

Mês	PT	Ets	Ets
	(mm)	(mm)	(%)
Outubro/2000	14,0	0,17	1,21
Novembro/2000	147,1	1,27	0,86
Dezembro/2000	197,6	1,38	0,70
Janeiro/2001	256,4	1,36	0,53
Fevereiro/2001	271,3	4,26	1,57
Março/2001	116,0	2,27	1,96
Abril/2001	20,4	0,74	3,63
Maio/2001	74,0	1,28	1,73
Junho/2001	32,3	0,31	0,96
Julho/2001	60,0	0,76	1,27
Agosto/2001	21,7	0,40	1,84
Setembro/2001	83,4	1,62	1,94

A relação entre os valores do escoamento pelo tronco da vegetação do subbosque e a precipitação total, em milímetros, é mostrada na Figura 13. O coeficiente da

regressão linear (r^2) indica que um ajuste entre os parâmetros pôde ser explicado somente em 56% de sua totalidade em função da precipitação total.

Comparando-se o volume médio do escoamento pelo tronco do sub-bosque, em milímetros, com os respectivos diâmetros a altura do peito (DAP), em centímetros das plantas selecionadas no subbosque (Quadro 6) não foi possível observar uma relação direta entre os referidos parâmetros.

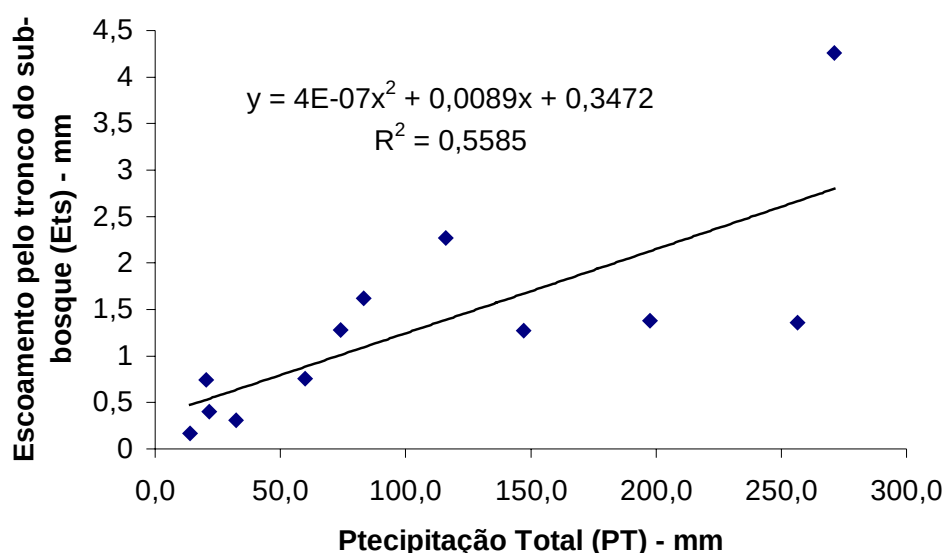


Figura 13. Curva de regressão dos valores do escoamento pelo tronco do subbosque (Ets) em função da precipitação (PT).

Confrontando-se os dados das árvores do extrato superior, fluxo escoado e DAPs, Quadro 7 não se observou, também, qualquer relação entre os parâmetros. Esta observação está de acordo com Lima (1998).

Por meio da equação de regressão quadrática, definida pela relação entre o volume escoado pelo tronco e o DAP das árvores do extrato superior (Figura 14) e do subbosque (Figura 15), obtiveram-se coeficientes de determinação (r^2) de 58 e 57%, respectivamente.

A relação entre os valores do escoamento pelo tronco da vegetação do sub-bosque e a precipitação total, em milímetros, encontra-se no Quadro 6.

Quadro 6. Valores absolutos, em mm, e percentuais médios mensais do escoamento pelo tronco (Ets) e diâmetros à altura do peito (DAP) obtidos em plantas do subbosque.

Observação	DAP	Ets	Ets
	(cm)	(mm)	(%)
01	1,1	17,71	1,4
02	1,2	19,36	1,5
03	1,4	15,10	1,2
04	1,4	23,38	1,8
05	2,2	21,77	1,7
06	2,9	12,74	1,0
07	3,5	13,51	1,0
08	4,5	18,65	1,4
09	5,1	8,94	0,7
10	5,7	7,11	0,5

Kellman & Roulet (1990) observaram correlação negativa entre os parâmetros volume escoado pelo tronco e o DAP das árvores. Entretanto, Vieira & Palmier (1997) verificaram uma relação direta entre a quantidade de água de chuva escoada pelo tronco e o diâmetro da árvore.

Observa-se que, de forma análoga ao observado no estrato superior, os valores absolutos do fluxo escoado pelo tronco no subbosque foram maiores quanto maior os valores das precipitações incidentes sobre a cobertura (Quadro 6).

Quadro 7. Valores absolutos, em mm, e percentuais médios do escoamento pelo tronco (Et) e diâmetros à altura do peito (DAP) obtidos em árvores do estrato superior.

Observação	DAP	Et	Et
	(cm)	(mm)	(%)
01	13,7	1,79	0,1
02	17,2	1,62	0,1
03	17,5	2,11	0,2
04	20,7	1,31	0,2
05	22,0	1,46	0,1
06	22,3	0,56	0,1
07	23,2	1,56	0,2
08	24,2	0,89	0,1
09	28,0	0,94	0,1
10	28,0	1,19	0,1
11	29,3	0,89	0,1
12	29,3	1,01	0,1
13	29,4	1,51	0,1
14	31,8	0,60	0,1
15	32,1	0,95	0,1
16	41,4	1,62	0,1
17	45,8	2,37	0,2
18	47,7	2,73	0,1
19	47,7	2,54	0,1
20	49,3	1,45	0,0

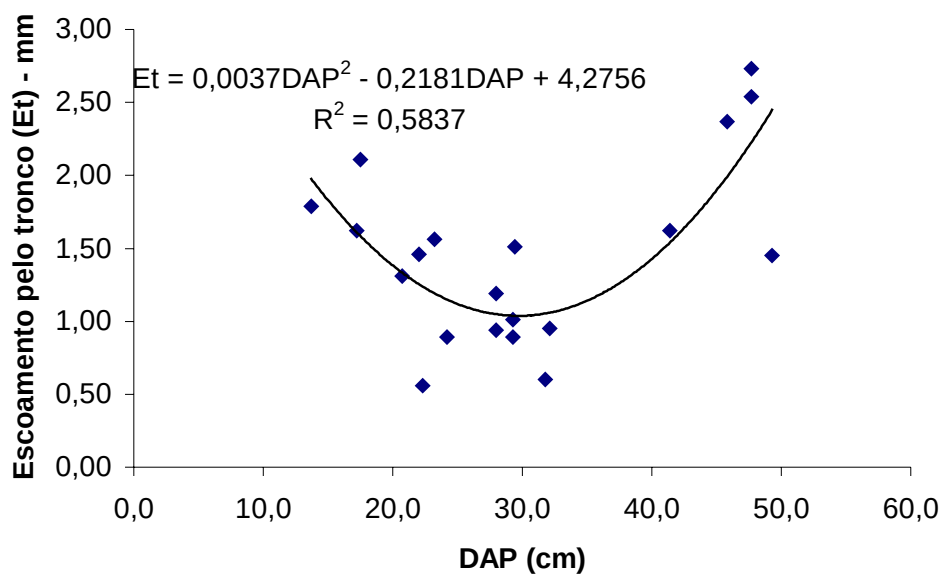


Figura 14. Curva de regressão dos valores do escoamento pelo tronco (Et) em função do diâmetro à altura do peito (DAP).

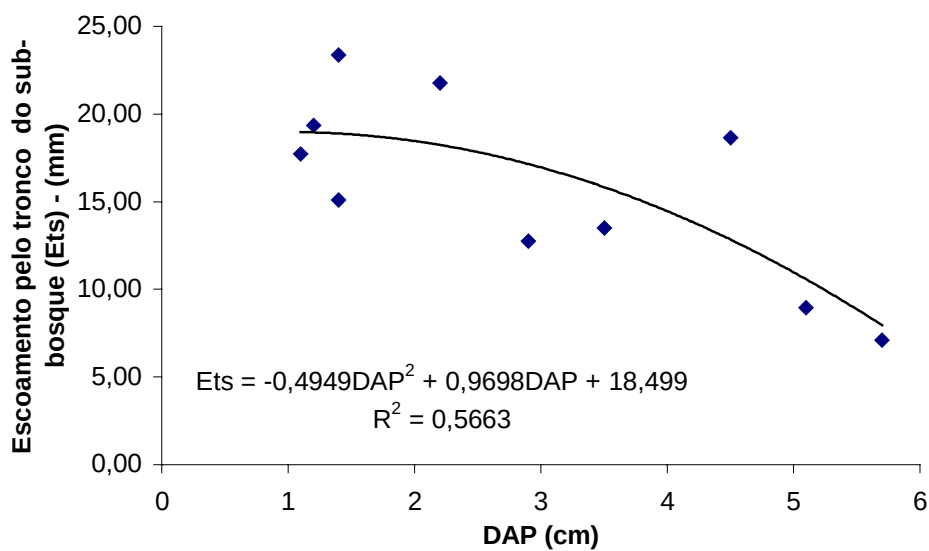


Figura 15. Curva de regressão dos valores do escoamento pelo tronco (Ets) em função do diâmetro à altura do peito (DAP).

Para facilidade de observação, no Quadros 8 estão relacionados os valores globais da precipitação total e suas respectivas repartições, expressos em milímetros, bem como os percentuais obtidos durante todo o período experimental. Estes valores permitem verificar que, dos 1.294,1 mm precipitados, 1,46 e 15,82 mm correspondem à parcela de água escoada pelo tronco do estrato superior e no subbosque, respectivamente, 1.071,86 mm à precipitação interna, 1.073,34 à precipitação efetiva e 220,86 mm à parcela perdida por interceptação.

Quadro 8. Valores referentes à precipitação total, no ano, e suas repartições, em milímetros e percentuais médios.

	PT	Et	Ets	PI	Pe	I
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Milímetros (mm)	1.294,1	1,46	15,82	1.071,86	1.073,34	220,86
Porcentagem (%)	100	0,10	1,22	81,87	81,96	18,04

Em termos percentuais médios, o escoamento pelo tronco, a precipitação interna, a precipitação efetiva e a interceptação representam 0,1%, 81,9%, 81,9% e 18,0%, respectivamente, da precipitação total (Quadro 8).

Fica evidente que do total de chuva que atingiu a cobertura vegetal, apenas 81,9% chegaram ao piso florestal, enquanto que do restante, 18,0% foram interceptados por galhos, folhas, retornando à atmosfera por evaporação na forma de vapor de água (Quadro 8).

Os resultados encontram-se em conformidade com o intervalo previsto na literatura (Lima, 1998; Franken et al., 1982; Lloyd & Marques Filho, 1988; Cicco et al., 1986/88; Castro et al., 1983).

Lima & Nicolielo (1983), em cobertura com *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* e em uma reserva de cerrado, na região de Agudos, São Paulo, verificaram uma precipitação efetiva média dentro das florestas de pinheiros tropicais de 88% e de 72,7% no cerrado.

A porcentagem média do escoamento pelo tronco no sub-bosque correspondeu a 1,2% da precipitação total. Este volume representa aproximadamente 12 vezes o obtido para o escoamento pelo tronco da cobertura do estrato superior. Helvey & Patric (1965), Kelman & Roulet (1990) e Lima (1998) também constataram uma maior contribuição do escoamento pelo tronco do subbosque, comparativamente com o obtido do estrato superior.

6.4. Escoamento superficial

Para complementação do Quadro 3 e uma melhor visualização, o Quadro 9 apresenta os valores absolutos e percentuais médios do escoamento superficial, mensurado semanalmente.

Verificou-se que, em termos médios absolutos o volume de água de chuva escoado superficialmente mostrou-se, obviamente, ser dependente da quantidade de chuva precipitada no mês, ou seja, quanto maior a altura de chuva, maior o volume escoado superficialmente (Quadro 9).

A maior porcentagem de volume escoado superficialmente, 1,0%, foi registrada em dezembro.

Quadro 9. Valores absolutos, em mm, e percentuais médios do escoamento superficial em função da precipitação mensal (PT).

Mês	PT	Es	Es
	(mm)	(mm)	(%)
Outubro/2000	14,0	0,01	0,07
Novembro/2000	147,1	1,02	0,69
Dezembro/2000	197,6	2,04	1,03
Janeiro/2001	256,4	1,77	0,69
Fevereiro/2001	271,3	1,46	0,54
Março/2001	116,0	0,74	0,64
Abril/2001	20,4	0,18	0,88
Maió/2001	74,0	0,30	0,41
Junho/2001	32,3	0,05	0,15
Julho/2001	60,0	0,10	0,17
Agosto/2001	21,7	0,06	0,28
Setembro/2001	83,4	0,46	0,55
Total no ano	1.294,1	8,20	0,51

Do total de chuva precipitada sobre a cobertura vegetal (1.294,1 mm), apenas 8,20 mm corresponderam ao escoamento superficial, ou seja, 0,5% (Quadro 3 e 9). Esse resultado apresenta um valor muito baixo, quando comparado com os citados na literatura consultada. Possivelmente, a manta do solo da área experimental tenha desenvolvido um importante papel na retenção e absorção da água escoada superficialmente. Por exemplo, (Franken & Leopoldo, 1986/87; Lima, 1998; Leopoldo et al., 1995) para Floresta de Terra Firme na Amazônia, encontraram, respectivamente, os valores de 2,8, 1,7 e 3,0%.

Segundo Likens (1984), o escoamento superficial é mais comum em regiões áridas e semiáridas, em áreas onde a superfície do solo é congelada, ou em áreas úmidas onde a vegetação ou estrutura do solo tenha sido perturbada.

A Figura 16 foi obtida a partir da utilização dos valores, em milímetros, do volume escoado superficialmente e da precipitação efetiva. A curva de regressão quadrática resultante das respectivas observações do volume escoado superficialmente e da precipitação efetiva apresentou um coeficiente de determinação que conseguiu explicar em 73% de sua totalidade em função da precipitação que efetivamente atingiu o piso florestal.

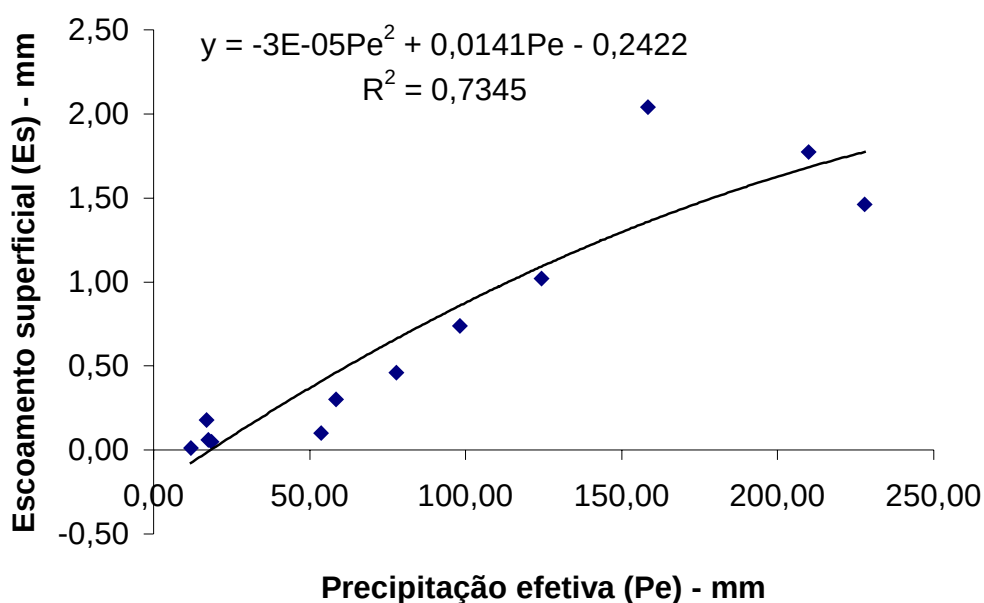


Figura 16. Curva de regressão dos valores do escoamento superficial (Es) em função da precipitação efetiva (Pe).

6.5. Infiltração

De acordo com os valores apresentados no Quadro 10, verifica-se que a quantidade de água infiltrada no solo aumentou com a elevação da precipitação incidente. Particularmente na área em questão, a infiltração foi bastante significativa, representando cerca de 82,3% da precipitação total.

Quadro 10. Valores referentes à precipitação total (PT), escoamento superficial (Es), interceptação (I) e infiltração (If), expressos em milímetros e porcentagem.

Mês	PT	Es	I	If
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Outubro	14,0	0,01	1,99	12,00
Novembro	147,1	1,02	22,86	123,22
Dezembro	197,6	2,04	39,18	156,38
Janeiro	256,4	1,77	46,57	208,06
Fevereiro	271,3	1,46	43,34	226,49
Março	116,0	0,74	17,91	97,35
Abril	20,4	0,18	4,44	15,78
Maio	74,0	0,30	15,64	58,06
Junho	32,3	0,05	13,70	18,55
Julho	60,0	0,10	6,41	53,49
Agosto	21,7	0,06	3,15	18,49
Setembro	83,4	0,46	5,67	77,27
Total no Ano	1.294,1	8,20	220,86	1.065,14
	(100 %)	(0,5 %)	(17,1%)	(82,3 %)

Por meio da equação linear, vista na Figura 17, originada em função dos valores de precipitação total e quantidade de água de chuva infiltrada, obteve-se um índice

de determinação que explica a infiltração em 99,7% de sua totalidade em função da precipitação total.

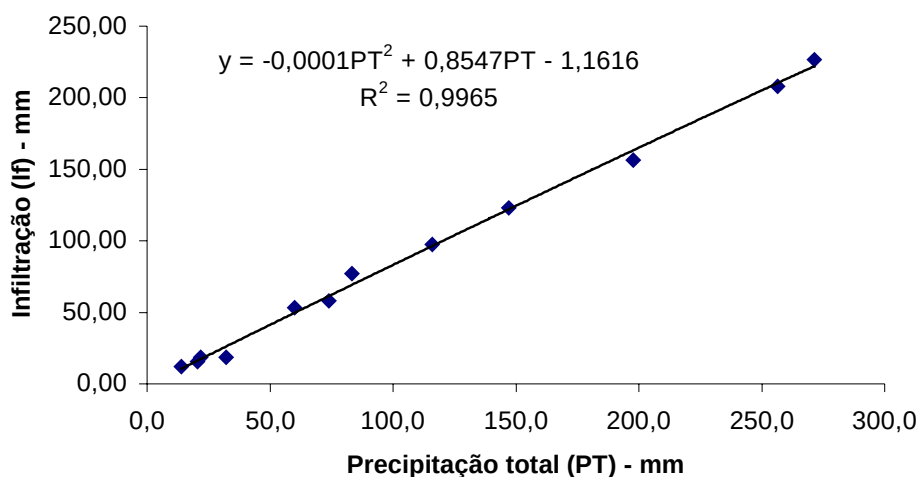


Figura 17. Curva de regressão dos valores da infiltração (If) em função da precipitação total (PT).

Mediante as observações, pode-se sugerir que a vegetação que constitui a mata ciliar desta localidade contribui de maneira significativa para o retardamento do movimento de água da chuva em direção ao curso de água, favorecendo o aumento da infiltração e, conseqüentemente, reduzindo a erosão do solo e assoreamento do leito, bem como da manutenção do volume de água do reservatório.

6.6. Nível freático

O lençol freático apresentou níveis superficiais característicos de zona riparia: os valores mais baixos (lençol freático mais próximo da superfície) foram registrados no período de chuva e valores mais altos no período seco, ou seja, 0,84 m (Quadro 11).

Quadro 11. Valores médios mensais do nível freático durante todo o período experimental.

Mês	PT	Freático
	(mm)	(m)
Outubro/2000	14,0	0,84
Novembro/2000	147,1	0,77
Dezembro/2000	197,6	0,73
Janeiro/2001	256,4	0,71
Fevereiro/2001	271,3	0,32
Março/2001	116,0	0,52
Abril/2001	20,4	0,71
Mai/2001	74,0	0,73
Junho/2001	32,3	0,76
Julho/2001	60,0	0,76
Agosto/2001	21,7	0,75
Setembro/2001	83,4	0,76

6.7. Umidade do solo

Os teores médios de umidade nas profundidades de 0-10, 11-20, 21-30, 31-50 e 51-100 cm, com base no peso seco, podem ser visualizados no Quadro 12.

Quadro 12. Teores médios de umidade, com base no peso seco, nos intervalos de profundidades: 0-10, 11-20, 21-30, 31-50 e 51-100 cm, expressos em porcentagem.

Mês	Umidade (%)				
	Profundidade (cm)				
	0 - 10	11 - 20	21 - 30	31 - 50	51 - 100
Outubro/2000	11,3	13,3	11,2	13,1	12,0
Novembro/2000	18,3	16,0	16,0	15,5	13,0
Dezembro/2000	23,7	19,3	18,7	23,4	19,5
Janeiro/2001	20,1	18,0	19,3	17,1	17,0
Fevereiro/2001	27,6	26,2	22,2	23,7	23,1
Março/2001	22,9	19,1	17,8	20,8	17,9
Abril/2001	17,5	16,3	14,6	17,8	17,0
Maio/2001	16,8	22,8	16,1	15,0	14,6
Junho/2001	13,2	12,8	12,8	12,6	12,5
Julho/2001	12,5	13,7	10,3	10,2	9,4
Agosto/2001	15,5	12,0	12,0	11,2	12,7
Setembro/2001	16,4	16,1	14,2	16,3	13,4
Média	18,0	17,1	15,4	16,4	15,2

A porcentagem média anual do teor de umidade no solo permaneceu mais elevada na camada superficial, ou seja, no intervalo de 0-10 cm. De acordo com os teores médios de umidade, nas profundidades de 0–10 cm, Quadro 12, o solo da área experimental é bem drenado, permanecendo úmido durante todo o período do ano. Jacomine (2000) estudando solos sob matas ciliares, similares ao da área deste estudo, comenta que esses tipos de solos estão relacionados com as matas de galerias menos úmidas muitas delas estacionais

(semidecíduas). Segundo o mesmo autor, esse solo corresponde às áreas de terraços ou várzeas mais enxutas, não sujeitas a encharcamento, exceto por eventuais inundações.

6.8. Água que passa pela manta

Os valores coletados, em mililitros, foram transformados em milímetro de altura de água em função do sistema coletor, onde, posteriormente, foi estimada a quantidade de água retida através da diferença entre a precipitação efetiva e aquela armazenada na bandeja coletora. Os resultados se encontram no Quadro 13.

Quadro 13. Água que passa através da manta, em relação à precipitação efetiva (Pe).

Mês	Pe	Água que passa através da manta	
	(mm)	(mm)	(%)
Outubro/2000	12,01	4,51	37,6
Novembro/2000	124,24	62,79	50,5
Dezembro/2000	158,42	69,65	44,0
Janeiro/2001	209,83	172,42	82,2
Fevereiro/2001	227,96	185,90	81,5
Março/2001	98,09	52,27	53,3
Abril/2001	16,96	6,28	37,0
Maio/2001	58,36	10,41	17,8
Junho/2001	18,60	2,78	15,0
Julho/2001	53,59	9,99	18,6
Agosto/2001	18,55	3,05	17,4
Setembro/2001	77,73	30,61	39,4
Total	1.074,34	610,66	56,9

O volume de água que passa através da manta acompanhou a variação da precipitação efetiva, ou seja, quanto maior a altura de água precipitada no mês, maior o volume de água que passa através da manta, representando 57% da precipitação efetiva.

A Figura 18 foi obtida a partir da utilização dos valores, em milímetros, da precipitação efetiva e da água que atravessa a camada de matéria orgânica no solo, ou seja, da manta. A curva de regressão linear resultante das respectivas observações da precipitação efetiva e da água que atravessa a manta apresentou um coeficiente de determinação que conseguiu explicar em 91,5 % de sua totalidade em função da precipitação que efetivamente atingiu o piso florestal.

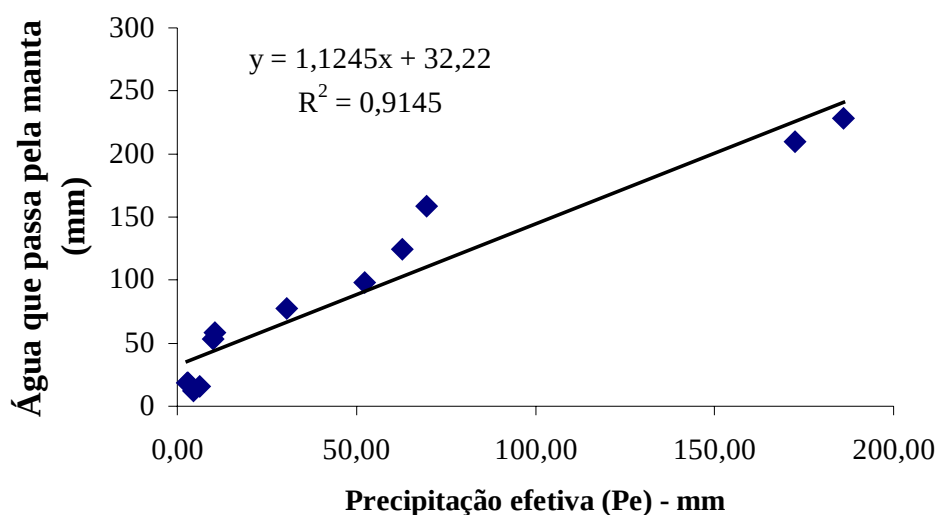


Figura 18. Curva de regressão dos valores da água que passa pela manta em função da precipitação efetiva.

6.9 Armazenamento temporário de água no solo

Pelos resultados mensais de armazenamento temporário de água no solo, apresentados no Quadro 14, foi possível verificar uma grande variação na quantidade de água armazenada temporariamente nas diversas camadas do perfil do solo.

Quadro 14. Valores médios mensais do armazenamento temporário de água no solo (h) em diferentes profundidades, expressos em milímetros.

Prof. (cm)	h(mm)											
	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
0-10	16,3	26,4	34,1	28,9	39,7	33,0	25,2	24,2	19,0	18,0	22,3	23,6
11-20	21,7	26,1	31,5	29,3	42,7	31,1	26,6	37,2	20,9	22,3	19,6	26,2
21-30	18,4	26,2	30,7	31,7	36,4	29,2	23,9	26,4	21,0	16,9	19,7	23,3
31-50	37,2	44,0	66,5	48,6	67,3	59,1	50,6	42,6	35,8	29,0	31,8	46,3
51-100	92,4	100,1	150,2	130,9	177,9	137,8	130,9	111,7	96,3	72,4	97,8	103,2
Total	185,9	222,8	312,9	269,4	364,0	290,2	257,2	242,0	192,9	158,6	191,2	222,6

A camada referente a profundidade de 51-100 cm apresentou valores mais elevados, comparativamente com as camadas superficiais, que apresentaram valores inferiores. Confrontando esses valores com os observados no Quadro 11 (valores médios mensais do nível freático), verifica-se que o nível do lençol freático encontra-se, principalmente, nas camadas do perfil do solo entre 71 a 77 cm de profundidade. Portanto, os valores encontrados no Quadro 11 ratificam os valores observados do nível freático durante o período experimental.

6.10. Fluxo de nutrientes na precipitação total, precipitação interna, escoamento pelo tronco, água que passa pela manta, água do lençol freático e água do riacho.

Os minerais percorrem ciclos distintos dentro dos compartimentos solo, planta, água e atmosfera. Cada ecossistema tem sua forma característica de armazenar e reciclar os nutrientes entre seus compartimentos.

A água da chuva e a água que atravessa a vegetação após o contato com esta, representam um fator adicional à ciclagem de nutrientes ao sítio. Esta forma de transferência (precipitação interna e escoamento pelo tronco), adiciona elementos diretamente como nutrientes disponíveis, contribuindo sem a intervenção de qualquer processo de decomposição, no piso florestal.

O Quadro 15 mostra os valores médios da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (mg L^{-1}), na água de chuva (PT) e suas repartições: precipitação interna (PI) e escoamento pelo tronco (Et).

Observa-se um valor muito elevado para o nitrogênio na água da precipitação. Essa tendência também é mostrada para todos os parâmetros.

Na precipitação interna (PI) houve um enriquecimento para o nitrogênio, potássio e magnésio. O potássio é facilmente lixiviado através da lavagem das folhas das árvores. Possivelmente, em função da lavagem dos colóides depositos na superfície foliar, o magnésio apresentou concentração mais elevada na precipitação interna do que na precipitação. No escoamento pelos troncos, houve um ganho de nitrogênio, potássio, magnésio e sódio, porém uma perda de cálcio. O potássio, por sua vez, mostrou ser mais facilmente arrastado dos tecidos vegetais pela água da chuva (Quadro 15).

Quadro 15. Valores médios da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (mg L^{-1}), na água da chuva (PT) e suas repartições: precipitação interna (PI) e escoamento pelo tronco (Et), no período: outubro de 2000 a setembro de 2001.

Nutrientes	PT	PI	Et
	mg L^{-1}		
N	127,52	159,79	153,82
K	7,64	32,57	53,21
Ca	8,76	4,09	6,41
Mg	0,96	4,61	4,31
Na	0,95	0,64	1,29

Quadro 16. Valores médios mensais da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (mg L^{-1}), na água da chuva (PT), do escoamento pelo tronco de árvores do subboscque (Ets), escoamento superficial (Es), água que passa pela manta e água do lençol freático (Lf), no período: outubro de 2000 a setembro de 2001.

Nutrientes	PT	Ets	Es	Manta	Lf
	mg L^{-1}				
N	127,52	93,49	169,06	172,35	11,03
K	7,64	22,14	24,57	39,59	2,72
Ca	8,76	3,18	14,04	17,05	1,39
Mg	0,96	2,62	6,91	8,71	1,90
Na	0,95	1,06	0,56	1,15	2,58

Possivelmente, através do processo de lavagem das copas das árvores do dossel superior e do seu próprio dossel, a água de escoamento pelo tronco das árvores do

subbosque apresentaram um ganho de potássio, magnésio e sódio e perdas de nitrogênio e cálcio em relação a água da chuva (Quadro 16). O escoamento superficial (Es), apresenta concentrações mais elevadas para todos os nutrientes, exceto para o sódio, em relação à precipitação total. A liteira, também apresentou, sem exceções, concentrações maiores para todos os nutrientes, em relação à precipitação. Exceto para o magnésio e sódio, a água do lençol freático apresentou valores mais baixos para os demais nutrientes.

A água que infiltra na superfície do solo pode seguir vários caminhos vertical ou horizontal através do perfil do solo, ou alcançar a água subterrânea antes de ser descarregada nos canais dos rios e lagos.

As águas subterrâneas apresentam características qualitativas relacionadas com as estruturas geológicas por onde circulam e também são susceptíveis de contaminação por fontes externas de poluição.

Como referido no item Material e Métodos, foram coletadas e analisadas amostras de água em 3 pontos do riacho da “bica”, cujos resultados médios podem ser observados no Quadro 17.

Em comparação com a água de precipitação (Quadro 15), o nitrogênio, potássio e cálcio apresentam concentrações inferiores na água do riacho. Porém o magnésio e o sódio apresentam concentrações mais elevadas. Dependendo do caminho percorrido acima e o tempo de residência no solo, a química de tais águas drenadas pode ser alterada, conseqüentemente.

Uma fonte importante de nitrogênio é o despejo de esgoto doméstico, sem tratamento prévio, lançamento *in natura* nos corpos de água, manejo inadequado do solo, juntamente com irrigação e adubações “pesadas”, dentre outras (Conte, 1992).

Quadro 17. Valores médios da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (mg L^{-1}), na água do riacho da “bica” nos pontos: antes (1), em frente (2) e após a área experimental no período: outubro de 2000 a setembro de 2001.

Pontos de coleta	N	K	Ca	Mg	Na
	mg L^{-1}				
1	110,61	2,73	1,88	2,93	4,10
2	125,14	2,83	2,22	2,94	3,76
3	106,39	2,54	1,93	2,92	4,00
Média	114,05	2,70	2,01	2,93	3,95

De acordo com a mesma autora, nutrientes como potássio, cálcio e magnésio têm como origem a utilização de fertilizantes nas áreas agrícolas, a erosão de rochas e o lançamento de efluentes domésticos, de granjas e abatedouros de animais, além da decomposição da vegetação das margens ou mesmo daquelas áreas onde a vegetação fica submersa e é oxidada pela ação das bactérias (Conte, 1992).

A concentração média dos nutrientes apresentou a seguinte ordem: $\text{N} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Ca}$. A mobilização de nutrientes não obedece rigorosamente uma ordem de saída através das águas que drenam as bacias hidrográficas. Por exemplo, Ranzini (1990) encontrou a seguinte ordem: $\text{Fe} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$ para uma bacia, e $\text{Na} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Fe}$ para outra, em duas bacias adjacentes. Segundo o autor, estes resultados são devido a profundidade do solo e a declividade diferenciada entre as duas bacias.

Segundo Likens (1984), os caminhos específicos que a água percorre para os cursos d' água ou grandes lagos determina sua composição química e sua carga. Ainda

é pouco conhecido sobre as rotas específicas que a água caminha e como a sua química é alterada ao longo desse trajeto.

De acordo com CETESB (1987), na escolha do local adequado de monitoramento é importante considerar que a qualidade de um corpo de água varia conforme o local e o decorrer do tempo.

No quadro 18, está incluída uma comparação entre os valores obtidos para o presente trabalho e aquelas extraídas de Martinelli et al. (1983), Conte & Leopoldo (2001), Conte (1992), onde se tem concentrações médias de determinadas espécies químicas encontradas em diferentes cursos de água.

Quadro 18. Concentrações médias (mg L^{-1}) de algumas espécies químicas encontradas nas amostras de água em diferentes ecossistemas.

Cursos de água	K	Ca	Mg	Na	Fonte
Lavapés – SP (nascente)	0,60	2,25	0,75	1,05	Conte, 1992
Lavapés - SP (saída da bacia)	4,82	15,66	4,19	23,05	Conte, 1992
Rio Pardo - SP	1,05	0,78	0,70		Conte & Leopoldo, 2001
Piracicaba - SP	3,62	9,27	1,87	13,83	Martinelli et al. 1983
Amazonas - AM	1,00	6,50	1,00	3,10	Martinelli et al. 1983
Índia	2,32	23,08	6,29	3,73	Martinelli et al. 1983
Média Mundial	2,30	15,00	4,10	6,30	Martinelli et al. 1983
Riacho da Bica	2,70	2,01	2,93	3,95	Presente estudo

Como se observa no Quadro 18, os nutrientes potássio, cálcio, magnésio e sódio estão dentro dos valores encontrados para os rios no Estado de São Paulo.

Exceto para a concentração do potássio, os demais nutrientes, também, encontram-se dentro daqueles valores observados como média mundial.

De acordo com os Quadros 15, 16 e 17, o nitrogênio apresentou concentrações muito elevadas para a precipitação incidente e para os demais parâmetros como: precipitação interna, escoamento pelo tronco de árvores do dossel superior, escoamento pelo tronco de árvores do subbosque, escoamento superficial, água que passa pela manta, água do lençol freático e água do riacho, $127,5 \text{ mg L}^{-1}$, $159,8 \text{ mg L}^{-1}$, $153,8 \text{ mg L}^{-1}$, $93,5 \text{ mg L}^{-1}$, $169,1 \text{ mg L}^{-1}$, $172,4 \text{ mg L}^{-1}$, $11,0 \text{ mg L}^{-1}$ e $114,1 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Constatou-se que os dados semanais, para todos os parâmetros observados, também apresentaram valores elevados. Visto que todas as análises químicas, para todo o período experimental, foram feitas no mesmo laboratório e descartando-se a possibilidade de contaminação das amostras e a não ocorrência de qualquer interferência biológica, atribui-se esses valores elevados à contribuição atmosférica, como: influência das indústrias, queimadas, descargas elétricas, dentre outros.

O Quadro 19 mostra os valores médios mensais da concentração para os nutrientes N, K, Ca, Mg, e Na, em kg ha^{-1} na água de chuva durante todo o período de estudo.

Os Quadros 19 e 20 mostram uma tendência sazonal na química da precipitação, com aumento da concentração dos nutrientes com a chegada dos meses mais chuvosos.

Quadro 19. Valores médios mensais da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (kg ha^{-1}), na água de chuva no período: outubro de 2000 a setembro de 2001.

Precipitação total						
Mês	PT	N	K	Ca	Mg	Na
	(mm)	kg ha^{-1}				
OUT	14,0	6,95	0,42	0,30	0,09	0,27
NOV	147,1	180,74	2,65	1,13	0,35	0,17
DEZ	197,6	13,24	0,69	0,77	0,12	0,10
JAN	256,4	6,67	1,15	0,59	0,10	0,13
FEV	271,3	98,69	0,52	0,35	0,14	0,14
MAR	116,0	32,91	0,46	0,16	0,06	0,08
ABR	20,4	8,28	1,78	0,06	0,14	0,04
MAI	74,0	29,51	2,54	0,24	0,33	0,17
JUN	32,3	13,95	1,42	0,07	0,13	0,08
JUL	60,0	15,62	2,29	0,15	0,24	0,13
AGO	21,7	1,93	0,09	0,04	0,03	0,01
SET	83,4	52,94	0,67	0,77	0,25	0,21
Total no ano	1.294,1	461,42	14,69	4,64	1,97	1,52

O N apresentou concentrações sempre mais elevadas seguido do K, Ca, Mg e Na. Mg que na precipitação interna apresentou valores ligeiramente maiores que o Ca (Quadro 20). É observado um valor muito elevado do N, principalmente, nos meses de fevereiro, setembro e novembro na precipitação total (Quadro 19).

Com exceção do N, observa-se valores mais elevados para todos os nutrientes na água da precipitação interna, na qual, é enriquecida após a lavagem das folhas e galhos, antes de alcançar o solo (Quadro 20).

Quadro 20. Valores médios mensais da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e Na (kg ha^{-1}), na água de precipitação interna no período: outubro de 2000 a setembro de 2001.

Precipitação interna					
Mês	N	K	Ca	Mg	Na
	k ha^{-1}				
OUT	13,99	2,38	0,35	0,25	0,07
NOV	192,36	15,87	2,13	1,56	0,45
DEZ	13,17	8,78	1,49	1,44	0,12
JAN	7,48	8,17	1,01	0,76	0,06
FEV	51,83	5,92	0,80	0,87	0,22
MAR	44,85	5,47	0,54	0,72	0,12
ABR	3,25	1,27	0,10	0,15	0,01
MAI	23,21	4,47	0,48	0,80	0,10
JUN	7,94	2,18	0,24	0,37	0,03
JUL	21,40	8,48	1,43	1,72	0,16
AGO	2,62	1,12	0,11	0,18	0,01
SET	41,20	7,35	0,95	1,13	0,18
Total no ano	423,31	71,45	9,64	9,94	1,54

Após atravessar o dossel florestal, a concentração mineral média do arraste foi dominada, também pelo nitrogênio, seguindo a ordem crescente: $\text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{Na}$.

A exemplo da precipitação total (Quadro 19), também se observa valores muito altos para o nitrogênio nos meses de, fevereiro, março e novembro na precipitação interna. Para os demais nutrientes, a maior contribuição ocorreu no mês de novembro para a precipitação total e precipitação interna, ou seja, com a chegada das primeiras chuvas mais intensas (Quadros 19 e 20).

Exceto para o nitrogênio, o fluxo dos nutrientes K, Ca, Mg e Na através da precipitação interna é mais significativo.

De acordo com a literatura é esperado que na precipitação interna e no escoamento pelo tronco sejam encontradas as maiores quantidades de potássio, sódio e cálcio (Golley et al., 1978).

Quadro 21. Valor médio anual da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (kg ha^{-1}), na água de escoamento pelo tronco de árvores do dossel superior (Et) no período: outubro de 2000 a setembro de 2001.

Escoamento pelo tronco de árvores do dossel superior (Et)					
	N	K	Ca	Mg	Na
	kg ha^{-1}				
Total no ano	0,62	0,20	0,03	0,01	0,00

Quanto aos valores médios mensais dos nutrientes encontrados na Quadro 21, mostram a mesma tendência dos nutrientes mostrados nas Tabelas 19 e 20, para a precipitação total e precipitação interna, respectivamente.

O Quadro 22 apresenta os valores médios dos nutrientes, N, K, Ca, Mg e Na na água de escoamento pelo tronco de árvores do subbosque.

Comparando-se os valores médios no ano da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na das árvores do extrato superior, Quadro 21, e os valores encontrados para as árvores de subbosque, Quadro 22, observa-se que, em termos de valores médios mensais, a contribuição foi maior em 6,4 N, 4,3 K, 3,7 Ca e 9,0 vezes para Mg nas árvores de subbosque.

Quadro 22. Valor médio anual da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (kg ha^{-1}), na água de escoamento pelo tronco de árvores do subbosque no período: outubro de 2000 a setembro de 2001.

Escoamento pelo tronco de árvores do subbosque (Ets)					
	N	K	Ca	Mg	Na
	kg ha^{-1}				
Total no ano	3,94	0,85	0,11	0,09	0,03

De acordo com Gregory et al. (1992), as zonas ripárias estão localizadas dentro da bacia hidrográfica para interceptar a solução do solo, tal esta passe através da zona de raízes ripária antes de entrar no canal de drenagem.

A zona ripária pode modificar significativamente o tempo de exportação de nutrientes da bacia.

O quadro 23 mostra os valores mensais da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (kg ha^{-1}), na água que passa pela manta. É interessante notar a contribuição, principalmente do Ca e Mg.

Comparando a relação entre a contribuição total anual de nutrientes pela precipitação, houve um enriquecimento de 3,2 vezes para K; 4,5 para Ca, 5,8 para Mg e uma perda de 2,0 vezes para N e 1,6 para Na, na água que passa pela manta.

Quadro 23. Valores médios mensais da concentração dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e do elemento Na (kg ha^{-1}), na água que passa pela manta no período: outubro de 2000 a setembro de 2001.

Água que passa pela manta					
Mês	N	K	Ca	Mg	Na
	kg ha^{-1}				
OUT	3,39	1,12	0,34	0,21	0,06
NOV	103,73	15,33	5,49	3,00	0,37
DEZ	7,59	3,91	2,20	1,47	0,06
JAN	8,03	7,76	3,66	1,98	0,06
FEV	55,94	6,54	3,87	2,27	0,21
MAR	20,96	3,24	2,06	0,88	0,04
ABR	1,84	0,44	0,34	0,15	0,01
MAI	3,41	1,38	0,75	0,33	0,02
JUN	1,03	0,34	0,15	0,07	0,00
JUL	6,14	1,47	0,69	0,34	0,05
AGO	0,54	0,73	0,32	0,16	0,02
SET	18,81	4,31	0,90	0,55	0,07
Total no ano	231,41	46,56	20,77	11,40	0,96

6.11. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes

6.11.1. Produção de serapilheira

A produção de serapilheira foi estimada em $10.646,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, como pode ser visualizado no Quadro 24.

Quadro 24. Dados de deposição de serapilheira no decorrer do período experimental em estudo, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Deposição de serapilheira	
Mês	($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)
Outubro/2000	1100,0
Novembro/2000	985,0
Dezembro/2000	930,2
Janeiro/2001	675,7
Fevereiro/2001	512,4
Março/2001	798,1
Abril/2001	662,9
Maio/2001	855,0
Junho/2001	504,4
Julho/2001	1113,6
Agosto/2001	1236,1
Setembro/2001	1272,7
Total	10.646,1

A deposição de biomassa alcançou seu valor máximo em setembro, seguido de um valor bem próximo em agosto ($1.272,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $1.236,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente), demonstrando características sazonais. Julho foi o terceiro mês em deposição ($1.113,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Os meses de julho, agosto e setembro representaram, portanto, os meses com maior valor da biomassa depositada (Quadro 24). O padrão sazonal de produção de serapilheira verificado é semelhante ao proposto por Oliveira (1997) para uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana.

Os meses de agosto e setembro marcam o final da estação seca. Correspondem a respectivamente ao terceiro e quinto meses mais secos do ano e julho o quarto mês mais seco.

Segundo Golley (1983) em florestas ajustadas à estação seca, geralmente a queda da serapilheira é máxima nesse período. Meguro et al. (1979) afirma que a queda de folhas em florestas tropicais é, de modo geral, contínua mas variável, apresentando um pico máximo na estação seca.

O mês de outubro marca o início da época de chuvas; porém no decorrer do período experimental deste estudo, o mês de setembro foi o que registrou a altura de água precipitada mais elevada após o período da estação seca.

A precipitação do mês de setembro foi muito superior à precipitação do mês de outubro. A chegada das primeiras chuvas, com a ocorrência de fortes ventos pode ter sido responsável pela deposição máxima. Segundo (Brun et al., 1999; Poggiani & Schumacher, 2000), quanto à sazonalidade de deposição da serapilheira, há variações entre espécies nas regiões tropicais e subtropicais. A derrubada de folhas é causada pela senescência resultante de uma série de processos metabólicos ligados à fisiologia de cada espécie e, também, por estímulos vindos do ambiente, tais como: fotoperíodo, temperatura, estresse hídrico, dentre outros.

Pagano & Durigan (2000) encontraram que as maiores produções ocorreram no período da seca, nos meses de agosto a setembro, que corresponde ao final do inverno e meados da primavera. Este período de maior produção, todavia, não é exclusivo de matas ciliares. Ecossistemas de cerrado e de florestas estacionais semidecíduais apresentam a mesma característica.

A ausência de extremos climáticos (períodos prolongados de frio intenso e seca), aliado a diversidade florística nesta região permitem que a floresta produza serapilheira durante todo o ano.

Do ponto de vista ecológico, a queda mais uniforme de serapilheira, durante o ano, proporciona uma proteção mais efetiva.

Quadro 25. Dados de deposição de serapilheira em diversas formações florestais em $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$.

Tipo de vegetação	Deposição	Referência
Floresta Amazônica (PA)	8 - 10	Klinge, 1977
Floresta Amazônica – Platô e Vale (AM)	8,25 – 7,44	Luizão, 1989
Mata mesófila Semidecidual (SP)	14,7	Oliveira, 1997
Floresta Estacional decidual (RS)	6,6	Brun, 1999
Floresta Estacional Semidecidual (SP)	*6,40-11,13-9,74	Pagano & Durigan, 2000
Floresta Estacional Semidecidual (RS)	10,4	Cunha et al., 1997
Floresta Estacional Semidecidual (SP)	10,6	Presente estudo

*Somente folhodo

Os valores encontrados para a produção anual de serapilheira situam-se dentro da faixa encontrada para os ecossistema florestais localizados no Estado de São Paulo.

6.11.2. Nutrientes na serapilheira

6.11.2.1. Concentração de nutrientes na serapilheira

O Quadro 26 mostra as concentrações médias de N, P, K, Ca e Mg na serapilheira depositada.

Quadro 26. Concentração média de macronutrientes, na serapilheira, em 12 meses consecutivos de estudo (g kg⁻¹ de serapilheira).

Mês	N	P	K	Ca	Mg
	(g kg ⁻¹ de serapilheira)				
Outubro/2000	21,00	1,20	11,00	20,00	6,00
Novembro/2000	23,00	1,30	4,00	21,00	2,40
Dezembro/2000	23,25	1,40	4,75	21,00	3,55
Janeiro/2001	23,25	1,18	3,25	20,00	3,15
Fevereiro/2001	21,75	1,45	7,25	21,25	3,80
Março/2001	22,25	1,63	9,00	22,75	5,50
Abril/2001	21,50	1,68	9,50	21,75	5,53
Maio/2001	20,50	1,33	3,25	23,75	3,93
Junho/2001	20,50	1,48	6,50	23,50	5,15
Julho/2001	20,50	1,38	5,25	25,75	4,65
Agosto/2001	24,00	1,23	5,00	28,00	4,98
Setembro/2001	17,50	1,18	6,00	25,50	4,10

As concentrações mensais de nutrientes variam, conforme o elemento, em maior ou menor intensidade ao longo do tempo. O potássio e o cálcio foram os nutrientes que apresentaram maiores variações temporais em suas concentrações na serapilheira. Já as variações mensais dos conteúdos de N, P e Mg foram relativamente pequenas.

Os meses com maior concentração de potássio na serapilheira foram aqueles onde a precipitação pluviométrica foi mais baixa e as menores concentrações foram encontradas nos períodos de maior precipitação.

Sarruge & Haag (1974) propõem alguns padrões para as concentrações dos nutrientes fósforo, potássio, cálcio e magnésio, em plantas: de 0,1 a 1,5% da matéria seca para o fósforo, estando as mais comuns entre 0,1 a 0,3%. As demais concentrações seriam de 1 a 5% para o nitrogênio, de 0,2 a 11% para o potássio, de 0,02 a 5% para o cálcio e de 0,02 a 2,5 para o magnésio. As concentrações dos elementos mostram-se dentro dos dados citados na literatura.

O Ca é o nutriente cujas concentrações mostraram-se mais elevadas, atingindo até 28 g kg⁻¹ no mês de agosto.

6.11.2.2. Estimativa da transferência de nutrientes através da serapilheira produzida e eficiência de utilização de nutrientes

O Quadro 27 mostra a transferência anual de nutrientes pela queda de serapilheira na mata ciliar.

Devido aos processos de decomposição e lixiviação da serapilheira, os nutrientes podem ser carregados para o solo e novamente absorvidos pelo sistema radicular das árvores e das espécies do subbosque (Poggiani & Schumacher, 2000).

O retorno total estimado de macronutrientes foi de 520,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Quadro 27. Estimativa da transferência de N, P, K, Ca e Mg pela serapilheira ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), na área em estudo.

Mês	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha ano^{-1}				
Outubro/2000	25,41	1,45	13,31	24,24	7,26
Novembro/2000	22,32	1,26	3,88	20,38	2,32
Dezembro/2000	20,12	1,21	4,11	18,17	3,07
Janeiro/2001	10,25	0,54	1,49	9,13	1,44
Fevereiro/2001	5,71	0,38	1,90	5,58	1,00
Março/2001	14,17	1,04	5,73	14,49	3,50
Abril/2001	9,45	0,74	4,18	9,56	2,43
Maio/2001	14,99	0,97	2,38	17,37	2,87
Junho/2001	5,21	0,37	1,65	5,98	1,31
Julho/2001	25,11	1,70	6,51	31,94	5,77
Agosto/2001	36,67	1,87	7,64	42,78	7,60
Setembro/2001	28,34	0,03	0,01	0,19	0,13
Total	217,76	11,55	52,79	199,80	38,70
	(2,0 %)	(0,1 %)	(0,5 %)	(1,9 %)	(0,4 %)

O nitrogênio é o elemento que apresenta a maior transferência dentro da vegetação ($217,76 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) seguido do Ca ($199,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Cunha et al. (1993), observaram valor elevado para N na serapilheira. Quanto ao cálcio, o retorno é alto para a maioria das florestas tropicais estudadas, segundo Vitousek (1984).

O total de transferência para outros macronutrientes foi de $11,55 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de fósforo, $52,79 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de potássio e $38,70 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de magnésio.

O retorno dos macronutrientes na serapilheira encontra-se na seguinte ordem: $N > Ca > K > Mg > P$. O nutriente P apresenta-se como elemento limitante no ecossistema.

Os padrões de ciclagem de nutrientes diferem em relação ao tipo de solo. Solos moderadamente férteis suportam florestas que reciclam grandes quantidades de nutrientes. Florestas em solos mais pobres ciclaram quantidades menores de fósforo e cálcio, embora aparentemente pareçam ricas em nitrogênio (Vitousek & Sanford, 1986).

As Figuras 19 e 20 mostram as estimativas mensais de N, P, K, Ca e Mg pela serapilheira na floresta estudada.

A transferência de nutrientes ao solo, acompanhou a tendência de deposição da serapilheira, como pode ser constatado no Quadro 24, juntamente com as Figuras 19 e 20. Observa-se que o nitrogênio e o cálcio apresentam um valor de transferência mais elevado no final da estação seca (mês de agosto), com uma tendência de diminuição nos meses mais chuvosos. (Figura 19).

Para os nutrientes fósforo e potássio, as maiores taxas de transferência ocorreram no mês de outubro, com a chegada das primeiras chuvas.

Com exceção do N, os demais nutrientes apresentaram uma queda brusca, com a chegada das primeiras chuvas no mês de setembro, provavelmente, em função da quantidade de folhas deciduas ou senescentes (Figuras 19 e 20).

A razão entre os meses de maior e menor queda de serapilheira e/ou transferência de nutrientes fornece uma medida da variação anual ou sazonalidade verificada nesses processos (Morellato, 1992).

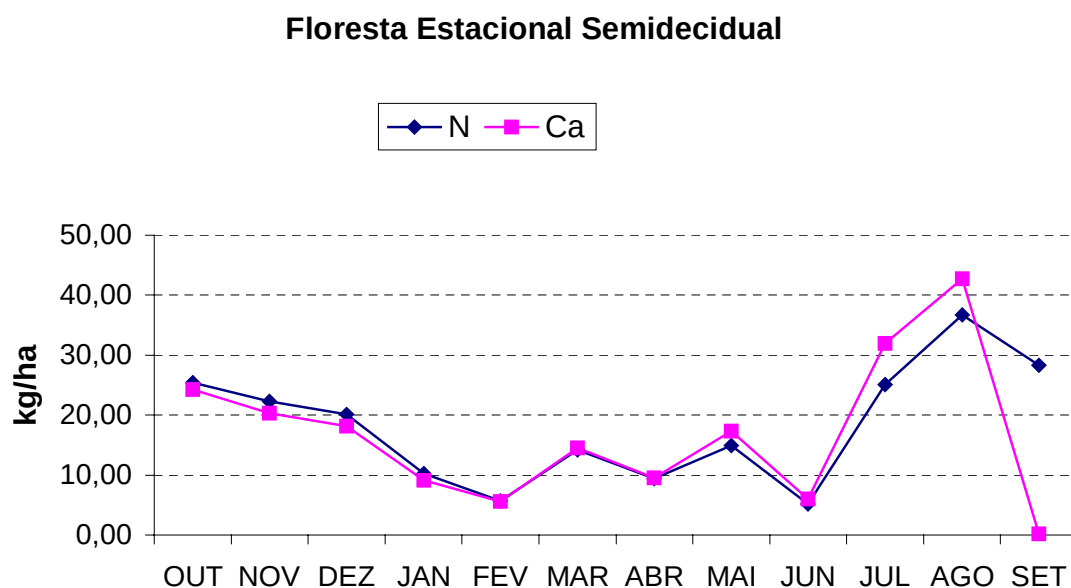


Figura 19. Total de N e Ca transferidos pela serapilheira.

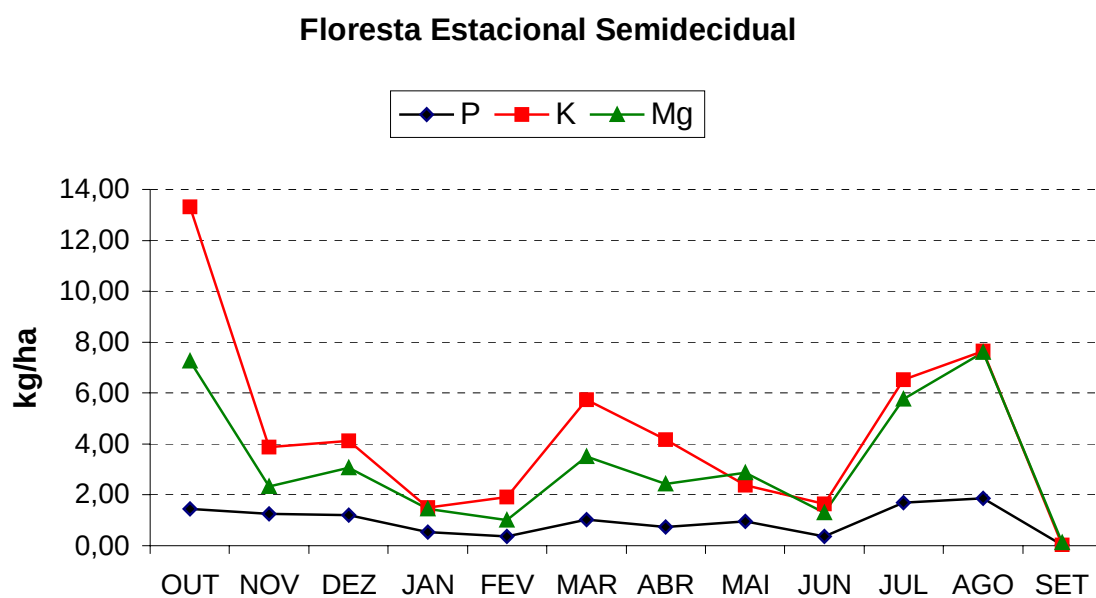


Figura 20. Total de P, K e Mg transferidos pela serapilheira.

Quadro 28. Transferência de macronutrientes para o solo através da queda de serapilheira em diferentes formações florestais ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Floresta	N	P	K	Ca	Mg	Fonte
Floresta Amazônica	117,0	3,25	19,28	47,4	23,2	Klinge, 1977
Floresta Pluvial Atlântica	128,47	2,97	13,74	56,46	13,25	Leitão F° et al. 1993
Mata Mesófila Semidecidual	261,2	16,38	100,19	703,08	64,86	Oliveira, 1997
Floresta Estacional Decidual	89,5	4,8	30,9	102,5	21,5	Brun, 1999
Floresta Estacional Semidecidual	163,72	11,47	51,16	271,03	21,77	Cunha, 1997
Floresta Estacional Semidecidual	217,76	11,55	52,79	199,80	38,70	Presente estudo

6.11.3. Serapilheira acumulada e taxa de decomposição

As coletas para a obtenção da estimativa da serapilheira acumulada e taxa de decomposição foram bi-mensais, com início na época da estação chuvosa e término no fim da época seca.

A média anual de serapilheira acumulada foi de $6.227,3 \text{ kg ha}^{-1}$, e a constante de deposição (K) 1,71 (Quadros 29 e 30).

Pagano (1989) considera alto o valor de 1,15 para a constante K. Outros autores encontraram valores ainda mais altos em seus trabalhos. Morellato (1992) encontrou uma constante de 1,6. Oliveira (1997) estudando uma Mata Mesófila Semidecídua, estimou $K = 1,9$, considerando a serapilheira como um todo.

A liberação de nutrientes pela decomposição também mostrou-se bastante variável.

O estoque médio de serapilheira acumulada estimado, foi um pouco inferior ao relatado por Cunha et al. (1993) em uma Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul ($6,7 \text{ t ha}^{-1}$) e o valor encontrado por Oliveira (1997) em uma mata Mesófila Semidecidual em São Paulo ($7.745,43 \text{ kg ha}^{-1}$). Por outro lado, os estoques de serapilheira

acumulada estimada insere-se dentro do intervalo observado em cinco Florestas Semidecíduas no Sudeste do Brasil, onde foram encontrados valores de serapilheira acumulada entre 5,5 e 8,6 t ha⁻¹ (Morellato, 1992).

Quadro 29. Valores de K (constante de deposição) para ecossistemas florestais.

Tipo de Floresta	K	Fonte
Floresta Estacional Semidecidual	1,18	Cunha, 1993
Mata Mesófila Semidecidual	1,9	Oliveira, 1997
Floresta Estacional Decidual	1,16	Cunha et al., 1997
Floresta Estacional Semidecidual	1,71	Presente estudo

Os valores calculados para o tempo médio de renovação da quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo, e o tempo necessário para o desaparecimento de 50% e 95% da serapilheira, segundo metodologia de Shanks e Olson (1961) encontram-se no Quadro 30.

Quadro 30. Taxa de decomposição (K), tempo médio de renovação (1/K) e tempo necessário para decomposição de 50% e 95% da serapilheira.

Coeficiente de Decomposição (K)	1/K (anos)	T 0,5 (anos)	T 0,05 (anos)
1,71	0,58	0,41	1,75

O tempo necessário para o desaparecimento de 50% e 95% da serapilheira foi, respectivamente, de 150 e 639 dias; confirmando uma taxa de decomposição muito rápida na área estudada.

Altos valores para a constante K, segundo (Pagano, 1989), sugerem um rápido reaproveitamento de nutrientes por parte da vegetação.

7. CONCLUSÕES

Para as condições climáticas e características vegetais da zona ripária em que foi desenvolvido o experimento e os métodos utilizados, são verificadas as seguintes conclusões:

- a) As parcelas de água de chuva que foram perdidas por interceptação, escoadas pelo tronco e precipitação interna corresponderam, em média, respectivamente, a 18,04%, 0,10% e 81,87% da precipitação total. A parcela de água de chuva que representou a precipitação efetiva, o escoamento pelo tronco da vegetação do subbosque e o escoamento superficial correspondeu, em média, respectivamente, a 81,96%, 1,22% e 0,48% da precipitação total.
- b) O conteúdo mineral da água de precipitação é substancialmente enriquecido quando passa pela parte aérea da vegetação, principalmente pelo escoamento pelo tronco para os nutrientes K, Ca e Na, seguido da precipitação interna para os nutrientes N e Mg.
- c) A quantidade média de manta sobre o solo foi de 6.227,3 kg ha⁻¹. A serapilheira apresentou uma rápida velocidade de decomposição, com um coeficiente k de 1,7. Os resultados obtidos e resumidos nestes itens demonstram, efetivamente, o importante e

significativo papel desenvolvido pelas matas ciliares no ciclo hidrológico e na ciclagem de nutrientes.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (*)

AB´SABER, A.N. O suporte geológico das florestas beiradeiras (ciliares). In: RODRIGUES, R.R., LEITÃO FILHO, H.F. (Eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. p.15-25.

ARCOVA, F.C.S., CICCIO, V. Fluxo de nutrientes através da precipitação, precipitação interna e escoamento pelo tronco em floresta natural secundária no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha – SP. *Bol. Téc. Inst. Florestal São Paulo*, v.41, n.1, p.37-58. 1987.

ARCOVA, F.C.S., CICCIO, V., LIMA, V.P. Balanço dos nutrientes Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} , K^{+1} e NO_3^{-1} em bacia hidrográfica experimental com vegetação natural no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha, SP. *IPEF*, n.31 p.61-7, dez., 1985.

(*) UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Faculdade de Ciências Agrônômicas. Normas para a elaboração de dissertações e teses, 1997. 35p.

- BRAY, J.R., GHORAN, E. Litter production in forest of the world. *Adv. Ecol. Res.*, v.2, p.101-157, 1964.
- BROOKS, K.N., FFOLLIOTT, P.F., GREGERSEN, H.M., THAMES, J.L. *Hydrology the management of watersheds*. Ames: Iowa State University Press, 1991. 391p.
- BRUIJNZEEL, L.A. *Hydrology of moist tropical forest and effects of conversion: a state of knowledge review*. Amsterdam: UNESCO, 1990. 224p.
- BRUN, E.J., SCHUMACHER, M.V., VACCARO, S. Produção de serapilheira e devolução de nutrientes em uma fase sucessional de capoeirão de uma floresta estacional decidual, no Município de Santa Tereza (RS). In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO FLORESTAL. Piracicaba. *Resumos...* Piracicaba: IPEF, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 1999. p.272-80.
- CARVALHO, W., PANOSO, L.A, MORAES, M.H. *Levantamento semidetalhado dos solos da Fazenda Experimental Edgardia, Município de Botucatu – SP*. *Bol. Cient. Fac. Cien. Agron. UNESP (Botucatu)*, n.2, 1991. 242p.
- CASTRO, P.S., VALENTE, O.F., COELHO, D.T., RAMALHO, R.S. Interceptação da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa, MG. *Rev. Árvore*, v.7, n.1 p.76-89, 1983.
- CETESB. *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. São Paulo: CETESB, 1987. 150p.

- CICCO, V., ARCOVA, F.C.S., SHIMOMICHI, P.Y., FUJIEDA, M. Interceptação das chuvas por floresta natural secundária de mata atlântica – São Paulo. *Silvicultura em São Paulo*, v.20/22, p.25-30, 1986/88.
- CONTE, M.L. *Espécies químicas dissolvidas no Ribeirão Lavapés, Botucatu – SP* Botucatu, 1992. 123p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- CONTE, M.L., LEOPOLDO, P.R. *Avaliação de recursos hídricos: Rio Pardo, um exemplo*. 1ª ed. São Paulo: Editora UNESP, 2001. 141p.
- CUNHA, G.C. *Aspectos da ciclagem de nutrientes em diferentes fases sucessionais de uma floresta estacional do Rio Grande do Sul*. Piracicaba, 1997. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências/Ciências Florestais) – Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- CUNHA, G.C., GRENDENA, L.A., DURLO, M.A., BRESSAN, D.A. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. *Ciênc. Flor.*, v.3, n.1, p.35-64, 1993.
- DAVIDE, A. C., BOTELHO, S.A. Análise crítica dos programas de recomposição de matas ciliares em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO MATA CILIAR CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1999, Belo Horizonte. *Anais...* Minas Gerais: Companhia Energética de Minas Gerais, Universidade Federal de Lavras, 1999. p.12-20.

- DELITTI, W.B.C. Ciclagem de nutrientes minerais em matas ciliares. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Fundação Cargil, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto de Botânica, 1989. p.88-98.
- DURIGAN, G., RODRIGUES, R.R., SCHIAVINI, I. A heterogeneidade ambiental definindo a metodologia de amostragem da mata ciliar. In: RODRIGUES, R.R., LEITÃO FILHO, H.F. (Eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. p.159-168.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, 1999. 412p.
- FARIAS, G.L., LIMA, M.C. *Coletânea da legislação ambiental federal/estadual*. Curitiba: Imprensa Oficial do Estado do Paraná, 1990. 535p.
- FLINN, D.W., BREN, L.J., HOPMANS, P. Soluble nutrient inputs from rain and outputs in stream water from small forested catchments. *Austr. For.*, Melbourne, v.42, n.1, p.39-49, 1979.
- FRANKEN, W., LEOPOLDO, P.R. Hydrology of catchment areas of Central-Amazonian forest streams. In: Sioli, H. (Ed.). *The Amazon. Limnology and Landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dordrecht/Boston/Lancaster: W. Junk Publishers, 1984. p.501-519.

- FRANKEN, W., LEOPOLDO, P.R. Relações entre fluxos de água subterrânea e superficial em bacia hidrográfica caracterizada por cobertura florestal Amazônica. *Acta Amazônica*, v.16/17, p.253-62, 1986/87.
- FRANKEN, W., LEOPOLDO, P.R., BERGAMIN FILHO, H. Nutrient flow through natural watters in central Amazon. *Turrialba*, Costa Rica, v. 35, n. 4, p. 383 – 93, 1985.
- FRANKEN, W., LEOPOLDO, P.R., MATSUI, E., RIBEIRO, M.N.G. Estudo da interceptação da água da chuva em cobertura florestal do tipo terra firme. *Acta Amazônica*, v. 12, p.327-31, 1982.
- FRANKLIN, J.F. Scientific basis for new perspectives in forest and streams. In: Naiman, R.J. (Ed). *Watershed management: balancing sustainability and environmental change*. Berlim: Springer-Verlag, 1992. p.25-72.
- GOLLEY, F.B. *Tropical rain forest ecosystems: structure and function*. Amsterdam: Elsevier, 1983. 392p.
- GOLLEY, F.B., MCGINNIS, J.T., CLEMENTS, R.G., CHILD, G.I., DUEVER, M.J. *Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida*. São Paulo: EPU/EDUSP, 1978. 256p.
- GREGORY, S.V., SWANSON, F.J., MCKEE, W.A., CUMINS, K.W. An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience*, v.41, p.540-51, 1991.

- GUTHRIE, H.B., ATTIWILL, P.M., LEUNING, R. Nutrient cycling in a *Ucalyptus obliqua* (L' Herit.) Forest [In Victoria]. II. A study in small catchment. *Austr. J. Bot.*, v.26, p.189-201, 1978.
- HELVEY, J.D., PATRIC, J.H. Designe criteria for interception studies. In: INTERNATIONAL. ASSOCIATION SCIENTIFIC HYDROLOGY, 1965, *proceedings...* Bulletin, 1965, v.67, p.131-7
- HENRY, R. Os ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos: conceitos, tipos, processos, importância. In: SIMPÓSIO: ECÓTONOS NAS INTERFACES DOS ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS, 2001, Botucatu. *Resumos...* Botucatu: Instituto de Biociências/UNESP, 2001. p.7.
- HUBER, A.M., OYARZÚN, C.E. Redistribución de las precipitaciones en un bosque siempreverde del sur de Chile. *Turrialba*, v.42, p.192-9, 1992.
- HUBER, A.M., OYARZÚN, C.E. Variaciones anuales en precipitacion, escurrimiento e intercepcion en un bosque adulto de *Pinus radiata*. *Turrialba*, v.40, p.503-8, 1990.
- IBGE. *Manual técnico da vegetação brasileira*. Rio de Janeiro, 1992. 123p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1981. v.1. (Relatório), 94p. (Série monografias, 5).
- JACKSON, I.J. Relationships between rainfall parameters and interception by tropical forest. *J. Hydrol.*, (Amsterdam), v.24, p.215-38, 1975.

- JACOMINE, P.K.T. Solos sob matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R. LEITÃO FILHO, H.F. (Eds.). In: *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. p.27-31.
- JORDAN, C.F. *Nutrient cycling in tropical forest ecosystems: principles and their application in management and conservation*. Chichester: John Wiley, 1985. 200p.
- JORDAN, C.F., HEUVELDOP, J. The water budget of an amazonian rain forest. *Acta Amazônica*, v.11, p.87-92, 1981.
- JORGE, L.A.B., SARTORI, M.S. Uso do solo e análise temporal da ocorrência de vegetação natural na fazenda experimental edgardia, em Botucatu – SP. *Revista Árvore*, Viçosa. 2002. (no prelo).
- KAGEYAMA, P., LIMA, W.P., ZAKIA, M.J.B., GANDARA, F.B. Microbacias experimentais para estudos ecológicos, hidrológicos e genéticos de longo prazo em Arapoti, PR. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 2, CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 46, 1995, Ribeirão Preto. *Resumos...* São Paulo: Universidade de São Paulo, Sociedade Botânica do Brasil, 1995. p328.
- KELLMAN, M., ROULET, N. Stemflow and throughfall in a tropical dry forest. *Earth Surface Proc. Landf.*, v.15, p.55-61, 1990.
- KLINGE, H. Fine litter production and nutrient return to the soil in three natural Forest stands of eastern Amazônia. *Geol. Ecol. Trop.*, v.1, p.159-67, 1977.

- LEITÃO FILHO, H. F., PAGANO, S.N., CESAR, O., TIMONI, J.L., RUEDA, J.J. *Ecologia de Mata Atlântica em Cubatão*. São Paulo: Ed. UNESP / Ed. UNICAMP, 1993. 184p.
- LEOPOLDO, P. R., CONTE, M. L. Repartição da água de chuva em cobertura vegetal com características típicas de cerradão. In: SIPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 6, 1985, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1985. v.3., p.212-20.
- LEOPOLDO, P.R. *Aspectos hidrológicos de floresta Amazônica densa na Região de Manaus: repartição da chuva e respectivas composições em isótopos estáveis*. Botucatu, 1981. 111p. Tese (Livre – Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- LEOPOLDO, P.R., FRANKEN, W.K., SALATI, E. Balanço Hídrico de pequena bacia hidrográfica em floresta amazônica de terra firme. *Acta Amazônica*, v.12, p.333-7, 1982.
- LEOPOLDO, P.R., FRANKEN, W., MATSUI, E. Hydrological aspects of the Tropical Rain Forest in Central Amazon. *Interciência*, v.9, n.3, p.125-31, 1984.
- LEOPOLDO, P.R., FRANKEN, W.K., VILLA NOVA, N.A. Real evapotranspiration through a tropical rain Forest in central Amazônia as estimated by the water balance method. *For. Ecol. Manage.*, v.73, p.185-95, 1995
- LIKENS, G.E., BORMANN, F.H., PIERCE, R.S., EATON, I.S., JOHNSON, N.M. *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. New York: Springer-Verlag, 1977. 146p.

- LIKENS, G.E. *International Association of Theoretical and Applied Limnology: Beyond the shoreline: a watershed-ecosystem approach*. Stuttgart: Verhandlungen, 1984. 480p.
- LIKENS, G.E.. *The ecosystem approach: its use and abuse*. In: OTTO KLINE (Ed.). *Excellence in ecology 3*. Ecology Institute, Germany, 1966p.
- LIMA, P.R.A. *Retenção de água por mata ciliar na região Central do estado de São Paulo*. Botucatu, 1998. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- LIMA, W. P. Intercepção da chuva em povoamentos de eucalipto e de pinheiro. *Inst. Pesqui. Est. Florest.*, v.13, p.75-90, 1976.
- LIMA, W. P. Relações hidrológicas em matas ciliares. In: SIMPÓSIO: ECÓTONOS NAS INTERFACES DOS ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS, 2001, Botucatu. *Resumos...* Botucatu: Instituto de Biociências/UNESP, 2001. p.23.
- LIMA, W. P., NICOLIELO, N. Precipitação efetiva e intercepção em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado. *Inst. Pesqui. Estud. Florest*, v.24, p.43-6, 1983.
- LIMA, W.P. Função hidrológica da mata ciliar. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989, São Paulo. *Resumos...* São Paulo: Fundação Cargil/Instituto de Botânica, 1989. p.25-42.
- LIMA, W.P. *O regime da água do solo sob florestas de pinheiros tropicais e sob vegetação de cerrado*. Piracicaba, 1979. 79p. Tese (Livre - Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- LIMA, W.P., ZAKIA, M.J.B. 2000. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R., LEITÃO FILHO, H.F. (Eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. p.33-44.
- LLOYD, C.R., MARQUES FILHO, A.O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agric. For Meteorol.*, v.42, p.63-73, 1988.
- LOWRANCE, R.R., TODD, R.L., ASMUSSEN, L.E. Nutrient cycling in na an agricultural watershed: I. Phreatic movement. *J. Environ. Qual.*, v.13, n.1, p.22-7, 1984.
- LUIZÃO, F.J. Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonian Forest. *GeoJournal*, v.19, p.407-17, 1989.
- LUIZÃO, F.J., SCHUBART, H.O.R. Litter production and decomposition in a terra-firme Forest of Central Amazônia. *Experientia*, v.43, p. 259-64, 1987.
- MACHADO, P.A.L. Legislação das matas ciliares. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989, São Paulo. *Resumos...* São Paulo: Fundação Cargil/Instituto de Botânica, 1989. p.2-10.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S. A. de *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e de Fosfato, 1989. 201p.
- MANTOVANI, W. Conceituação e fatores condicionantes. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989, São Paulo. *Resumos...* São Paulo: Fundação Cargil/Instituto de Botânica, 1989. p.11-19.

- MARQUES, J., SANTOS, J.M., VILLA NOVA, N.A., SALATI, E. Precipitable water and water vapour flux between Belém and Manaus. *Acta Amazonica*, v.7, p.355-63, 1977.
- MARTINELLI, L.A., SGRILLO, R.B., FERREIRA, J.R. Variação da concentração de algumas espécies químicas inorgânicas nas águas do Rio Piracicaba, São Paulo. *Rev. DAE*, São Paulo, v. 43, n. 132, p. 91 – 94, 1983.
- MARTINS, D. *Classificação climática Botucatu – SP*. Botucatu: Departamento de Ciências Ambientais, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999.
- MEGURO, M., VINUIZA, G.N., DELITTI, W.B.C. Ciclagem de nutrientes na mata mesófila secundária I – Produção e conteúdo de nutrientes minerais no folheto. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, n.7. p.11-31, 1979.
- MORELLATO, L.P.C. Nutrient cycling in two south-east brazilian forests I- Litterfall and litter standing crop. *J. Trop. Ecol.*, v.8, p.205-15, 1992.
- NAIMAN, R.J., BEECHIE, T.J., BENDA, L.E., BERG, D.R., BISSON, P.A., MACDONAL, L.H., O’ CONNOR, M.D., OLSON, D.L., STEEL, E.A. Fundamental elements of ecologically healthy watersheds in the Pacific Northwest Coastal coregion: *Watershed management: balancing sustainability and environmental change*. Berlim: Springer-Verlag, 1992. p.127-88.
- NAIMAN, R.J., DÉCAMPS, H. The ecology of interfaces: riparian zones. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, v.28, p.621-58, 1997.
- O’ LOUGHLIN, C. The Forest ad water relationship. *N. Z. For.*, v.39, n.3, p.26-30, 1994.

- ODUM, E.P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1983. 431p.
- OLIVEIRA, R.E. *Aspectos da dinâmica de um fragmento florestal em Piracicaba – SP: silvigênese e ciclagem de nutrientes*. Piracicaba, 1997. 79p. Dissertação (Mestrado em Ciências/Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers in ecological systems. *Ecology*, v.44, p.322-31, 1963.
- PAGANO, S.N. Nutrientes minerais no folheto produzido em mata mesófila semidecídua no município de Rio Claro, SP. *Rev. Bras. Biol.*, v.49, p.641-7, 1989.
- PAGANO, S.N., DURIGAN, G. Aspectos da ciclagem de nutrientes em matas ciliares do Oeste do Estado de São Paulo, Brasil. In: RODRIGUES, R.R., LEITÃO FILHO, H.F. (Eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. p.109-123.
- POGGIANI, F. *Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de Eucalyptus e Pinus: implicações silviculturais*. Piracicaba, 1985. 210p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- POGGIANI, F., SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J.L.M., BENEDETTI, V. (Eds.). *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF, 2000. 427p.

- PRICE, N.W. A comparison of water balance components in natural and plantation forests in el Salvador, Central America. *Turrialba*, v.32, p.399-416, 1982.
- RAIJ, B. van, ANDRADE, J.C., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p
- RANZINI, M. *Balanço hídrico, ciclagem geoquímica de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com Eucalyptus saligna Smith no Vale do Paraíba, SP*. Piracicaba, 1990. 99p. Dissertação (Mestrado em Ciências/Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- REICHARDT, K. Relações água – solo – planta em mata ciliar. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989, São Paulo. *Resumos...* São Paulo: Fundação Cargil/Instituto de Botânica, 1989. p.20-24.
- RIZZINI, C.T. *Tratamento de fitogeografia do Brasil: aspectos florísticos e estruturais*. São Paulo: HUCITEC, EDUSP, 1979. v.2, 374p.
- RODRIGUES, R.R., NAVE, A.G. 2000. Heterogeneidade florística das matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R., LEITÃO FILHO, H.F. (Eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. p.45-72.
- SARUGE, J.L., HAAG, H.P. *Análise química em plantas*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 1974. 56p.
- SCHUMACHER, M.V. Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camadulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus*

- torelliana* F. Muell. Piracicaba, 1992. 87p. Dissertação (Mestrado em Ciências/Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SHANKS, R., OLSON, J.S. 1961. First year breakdown of leaf litter in Southern Appalachian Forest. *Science*, v.134, p.194-5, 1961.
- SIMÕES, L.B. Importância das matas ripárias no controle da poluição difusa In: SIMPÓSIO: ECÓTONOS NAS INTERFACES DOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS, 2001, Botucatu. *Resumos...* Botucatu: Instituto de Biociências/UNESP, 2001. p.24.
- VIEIRA, C.P., PALMIER, L.R. Separação da precipitação em uma área florestada na região Metropolitana de Belo Horizonte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997, Vitória, *Anais...* Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. P.1-7 (n.333, editado em CD-Rom).
- VILLA NOVA, N.A, SALATI, E., MATSUI, E. Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. *Acta Amazônica*, v.6, p.215-28, 1976.
- VITAL, A.R., LIMA, W.P., CAMARGO, F.R.A. Efeito do corte raso de plantação de *Eucalyptus* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e as perdas de solo e de nutrientes em uma microbacia no Vale do Paraíba, SP. *Sci. For.*, n.55, p.5-16, 1999.
- VITOUSEK, P.M. Litterfall, nutrient cycling and nutrient in tropical forests. *Ecology*, v.65, n.1, p.285-98, 1984.
- VITOUSEK, P.M. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *Am. Naturalist*, v.119, n.4, p.553-72, 1982.

- VITOUSEK, P.M., SANFORD Jr. R.L. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, v.17, p.137-67, 1986.
- WARING, R.H., SCHLESINGER, W.H. *Forest Ecosystem: concept and management: Decomposition and forest soil development*. New York: Academic Press, 1985. 340p.
- ZAKIA, M.J.B. *Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas*. São Carlos, 1998. 98p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.