UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

VALDIR DE CICCIO

**Determinação da evapotranspiração pelos métodos dos
balanços hídrico e de cloreto e a quantificação da
interceptação das chuvas na Mata Atlântica:
São Paulo, SP e Cunha, SP.**

SÃO PAULO
2009

VALDIR DE CICCIO

**Determinação da evapotranspiração pelos métodos dos balanços hídrico e de
cloreto e a quantificação da interceptação das chuvas na Mata Atlântica:
São Paulo, SP e Cunha, SP.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências (Geografia Física).

Área de Concentração: Geografia Física
Orientador: Prof. Dr. Emerson Galvani

São Paulo
2009

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Valdir de Cicco

Determinação da evapotranspiração pelos métodos dos balanços hídrico e de cloreto e a quantificação da interceptação das chuvas na Mata Atlântica: São Paulo, SP e Cunha, SP / Valdir de Cicco; orientador Emerson Galvani. -- São Paulo, 2009.

138 p.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

1. Mata Atlântica. 2. Balanço hídrico – Cunha, SP – São Paulo, SP. 3. Evapotranspiração. 4. Interceptação das chuvas. I. Título. II. Galvani, Emerson

Cicco, V. Determinação da evapotranspiração pelos métodos dos balanços hídrico e de cloreto e a quantificação da interceptação das chuvas na Mata Atlântica: São Paulo, SP e Cunha, SP. Tese apresentada a Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Emerson Galvani (Orientador)	Instituição: DG/FFLCH/USP
Julgamento: _____	Assinatura: _____
Prof. Dra. Maria Cristina Forti	Instituição: INPE-CEA/DGE
Julgamento: _____	Assinatura: _____
Prof. Dr. Manuel Enrique Gamero Guandique	Instituição: UNESP/SOROCABA
Julgamento: _____	Assinatura: _____
Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross	Instituição: DG/FFLCH/USP
Julgamento: _____	Assinatura: _____
Prof. Dr. Ailton Luchiari	Instituição: DG/FFLCH/USP
Julgamento: _____	Assinatura: _____

Ofereço,

A meu pai Osmar, que com certeza gostaria muito de compartilhar este momento comigo e, minha mãe, Emilia, pela vida e aos seus ensinamentos, como também, pela insistência e persistência para que eu estudasse sempre.

Dedico,

A Gerusa, minha esposa, a Camilla e Larisse, minhas filhas, pela preocupação e ajuda na realização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Emerson Galvani, pelo estímulo e orientação de poder chegar até o final deste trabalho, como também conquistar sua amizade.

Ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo pela oportunidade de me receber pela segunda vez, sempre com muita atenção.

Ao Instituto Florestal pelas facilidades oferecidas e ao apoio na realização da pós-graduação.

À Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA), pelo apoio técnico e financeiro na implementação do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich, no Núcleo Cunha do Parque Estadual da Serra do Mar.

À FAPESP pelo apoio financeiro, processo 99/05204-4.

Ao amigo e pesquisador Francisco Carlos Soriano Arcova pelo incentivo na realização da pós-graduação.

A amiga e pesquisadora Maria Cristina Forti do INPE pelo estímulo, sugestões e revisão do texto.

Ao amigo e pesquisador Maurício Ranzini pela ajuda em toda fase de redação.

A amiga e professora Carla Daniela Câmara pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao amigo João Batista Amaro dos Santos pelas coletas, como também, pela disposição de sempre estar ajudando a todos, com muita determinação.

A Veralucia C. de Lima do IAG-USP pelas coletas no PEFI.

Aos estagiários da Seção de Engenharia Florestal: Lívia, Cíntia, Yuri e Rita pela alegria constante e colaboração nas várias etapas do trabalho.

Ao amigo e pesquisador Roque Cielo Filho pelo auxílio nas análises estatísticas e revisão do texto.

Ao amigo, pesquisador e companheiro na pós-graduação Gustavo Armani pela colaboração nas fotos hemisféricas e na leitura do texto.

A amiga e colega na pós-graduação Nádia Gilma Beserra de Lima pelas sugestões nas fotos hemisféricas.

A Bárbara, Sérgio, Murilo, Ivonete e Marcos, colegas da pós-graduação.

As amigas Juraci, Cleusa e Célia, responsáveis pela alimentação, cuidado e muita atenção ao longo de vários anos de minha estada no Núcleo Cunha do Parque Estadual da Serra do Mar.

Aos amigos e funcionários do Núcleo Cunha: Aderbal, Antônio Márcio (Sombra), Carlinhos, Dito, Jair, João Gó, Paulo, Toninho, Vanderlei, Zé Baixo e Zé Loca pelo companheirismo e ajuda em todos os momentos.

Aos amigos Kudoh-san, Mashima-san e Hiwatashi-san do *Forestry and Forest Products Research Institute* – Japão (FFPRI).

Minha gratidão ao grande mestre Motohisa Fujieda, pela amizade e aos seus ensinamentos de hidrologia florestal.

Ao Sebastião F. Cesar, amigo de todos os momentos.

E, por último, ao Walter Emmerich, *in memoriam*, que sem ele eu não chegaria até aqui.

EPÍGRAFE

Tudo tem seu tempo e até certas manifestações mais vigorosas e originais entram em voga ou saem de moda.

Mas a sabedoria tem uma vantagem: é eterna.

Baltasar Gracián

RESUMO

CICCO, V. **Determinação da evapotranspiração pelos métodos dos balanços hídrico e de cloreto e a quantificação da interceptação das chuvas na Mata Atlântica: São Paulo, SP e Cunha, SP.** 2009. - 138 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

O estudo teve como objetivos a quantificação da interceptação das chuvas pelas copas das árvores e a estimativa da evapotranspiração real pelos métodos dos balanços hídrico e de cloreto. Para isso, estabeleceu-se o monitoramento de duas microbacias hidrográficas experimentais localizadas na Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica), uma no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) e a outra no Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Cunha, ambas no Estado de São Paulo. As interceptações estimadas para o IAG-PEFI e para a microbacia B-Cunha foram de 21,6% e 24,0%, respectivamente. Os resultados das análises de regressão linear simples, entre a precipitação e a transprecipitação apresentaram coeficientes de determinação elevados para o IAG-PEFI (92,0%) e Cunha (88,6%), indicando que a variável independente explica maior proporção da variação da variável dependente. Para a interceptação foi aplicado o teste de correlação de Spearman (r_s), sendo de 0,5449 para o IAG-PEFI e de 0,5243 para Cunha, indicando uma moderada correlação positiva, significativa para o nível de 5%. A pequena diferença encontrada na interceptação das chuvas pelas florestas para as duas localidades pode ser explicada pelas aberturas dos dosséis, no IAG-PEFI de 34,2% e Cunha de 31,1%. No ano hídrico de 2000 na microbacia do IAG-PEFI, a precipitação e o deflúvio totais foram de 1.279,6 mm e 273,4 mm. A evapotranspiração real alcançou 1.006,2 mm, representando 78,6% da precipitação total, indicando uma baixa produção hídrica (21,4%). Para os anos hídricos de 2001, 2002 e 2003 na microbacia B-Cunha, as evapotranspirações reais alcançaram 696,4 mm (42,8%), 769,5 mm (47,7%) e 748,4 mm (44,0%), com média de 738,1 mm (44,8%), indicando uma boa produção hídrica média (55,2%). Os fluxos totais de cloreto via deposição úmida nas microbacias do IAG-PEFI e B-Cunha foram de 7,26 e 7,57 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, enquanto os fluxos totais através do rio alcançou 7,15 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e 7,96 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Os resultados mostraram que os fluxos de entrada do íon foram muito próximos, indicando que o processo de urbanização que o entorno do PEFI sofreu não está influenciando nas precipitações. Na microbacia do IAG-PEFI a evapotranspiração real foi de 1.000,1 mm, correspondendo a 78,2% da precipitação total, valor este muito próximo ao método do balanço hídrico. Na microbacia B-Cunha a evapotranspiração real para os anos hídricos de 2001, 2002 e 2003 foi de 898,6 mm (55,2%), 696,7 mm (43,2%) e 693,7 mm (40,8%), e a média para os três anos de 763,0 mm (46,3%), valor ligeiramente superior ao obtido pelo balanço hídrico. Para as duas microbacias, os fluxos das entradas e das saídas do cloreto foram praticamente iguais. Então, podemos inferir que o íon não é um produto do intemperismo, e que seu envolvimento em troca iônica ou processos biológicos atingiu o equilíbrio. Portanto, esse íon pode ser considerado conservativo. A estimativa da evapotranspiração real pelo escoamento de base do mês de junho de 2000 na microbacia do IAG-PEFI, através do método do cloreto apresentou valor de

989,0 mm (77,3%). Já, na microbacia B-Cunha para agosto do ano hídrico de 2001, a evapotranspiração real foi de 450,5 mm (27,7%), valor muito abaixo do obtido pelos outros métodos, possivelmente pelo pequeno número de amostras realizadas. Para os meses de agosto e julho dos anos de 2002 e 2003 os resultados foram satisfatórios, alcançando 707,8 mm (43,9%) e 719,4 mm (42,3%).

Palavras-chave: Balanço hídrico, balanço de cloreto, evapotranspiração real, interceptação das chuvas, Mata Atlântica.

ABSTRACT

CICCO, V. **Evapotranspiration determination by the methods of water and the chloride balances and the quantification of canopy interception in the Atlantic Forest: São Paulo, SP and Cunha, SP.** 2009. 138 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

The present study aims the quantification of the interception of the rains by the trees canopy and the determination of the real evapotranspiration by the methods of the water and the chloride balances. For that, it was established the monitory of two experimental catchments situated at Dense Ombrófila Forest (Atlantic Forest) one of them, in Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI) and the other in Parque Estadual da Serra do Mar- Cunha Nucleus both in São Paulo State. The interceptions estimated for the IAG-PEFI and for the B-Cunha catchments were of 21.6% and 24.0%, at the same time. According to the D'Agostino-Pearson test for the transformed values, of the precipitation and the transprecipitation it was verified normal distribution at the level of significance 5%. The analysis results of simple linear regression presented coefficient of elevated determination for the IAG-PEFI (92.0%) and Cunha (88.6%). The analysis through the test of D'Agostino-Pearson for the absolute values and transformed from interception do not followed normal distribution. Thus, it was applied the test of correlation of Spearman, being of 0.545 for the IAG-PEFI and the 0.524 for Cunha showing a positive moderate correlation for the level of 5% significant. The small difference found in the interception of the rains through the forests for the two locations might be explained by the canopy openings in IAG-PEFI of 34.2% and Cunha of 31.1%. During the water year of 2000 in the catchment of IAG-PEFI, the precipitation and the total streamflow were of 1,279.6 mm and 273.4 mm. The real evapotranspiration reached 1,006.2 mm, representing 78.6% from total precipitation, indicating a low water production (21.4%) For the water years of 2001, 2002 and 2003 in the B-Cunha catchments, the real evapotranspiration reached 696.4 mm (42.8%), 769.5 mm (47.7%) and 748.4 mm (44.0%), with average of 738.1 mm (44.8%), indicating a good water production (55.2%). The chloride by wet deposition total flux in the IAG-PEFI and B-Cunha catchments were of 7.26 kg.ha⁻¹.year⁻¹ and 7.57 kg.ha⁻¹.year⁻¹ and while the total flux through the streamflow were 7.15 kg.ha⁻¹.year⁻¹ and 7.96 kg.ha⁻¹.year⁻¹. The results showed that the ion enter flux were much closed, indicating that the urbanization process suffered by PEFI spilled is not influencing in the precipitations. In the IAG-PEFI catchment, the estimated real evapotranspiration was of 1,000.1 mm, that correspond the 78.2% of the total precipitation a much closed value to the water balance. In the B-Cunha catchment the estimated real evapotranspiration for the water years of 2001, 2002 and 2003 was of 898.6 mm (55.2%), 693.7 mm (43.2%) and 693.7 mm (40.8%), and the medium for the three years of 763.0 mm (46.3%), value a little superior to that obtained in the water balance. For the two catchments, the input and output chloride flux were basically the same. Then, we could infer that the ion is not a product of intemperism, and that its involvement in ionic change, or biologic process reach the balance, however, this ion may be consider conservative. The estimative of real evapotranspiration by the base flow for June 2000 in the IAG-

PEFI catchment, through the chloride method presented the value of 989.0 mm (77.3%). But in the B-Cunha catchment for August of the water year of 2001, the real evapotranspiration was of 450.5 mm (27.7%), value much lower obtained by the other methods, possible by the small number of sample realized. For the months of August and July of the 2002 and 2003 water years, the results were satisfactory, reaching 707.8 mm (43.9%) and 719.4 mm (43.3%).

Keywords: Water balance, chloride mass balance, real evapotranspiration, rain interception, Atlantic Forest.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Localização do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI).	35
FIGURA 2 -	Vista geral do PEFI (área escura) e de seu entorno obtida a partir de imagem de satélite do programa Google Earth (v3.0).	36
FIGURA 3 -	Localização do Parque Estadual da Serra do Mar, com destaque para o Núcleo Cunha.	40
FIGURA 4 -	Localização das microbacias hidrográficas experimentais A, B (em destaque) e D no Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich, Núcleo Cunha - PESM.	42
FIGURA 5 -	Carta clinográfica da microbacia hidrográfica experimental B (modificado de ARMANI, 2004).	43
FIGURA 6 -	Carta hipsométrica da microbacia hidrográfica experimental B (modificado de ARMANI, 2004).	44
FIGURA 7 -	Carta de vegetação da microbacia hidrográfica experimental B (modificado de ARMANI, 2004).	45
FIGURA 8 -	Vista do coletor do tipo <i>wet-only</i> instalado sobre a caixa d'água no IAG-PEFI.	47
FIGURA 9 -	Perfil esquemático da floresta (acima) e distribuição das copas dos indivíduos (abaixo) com dossel heterogêneo e porte alto na parcela de interceptação do IAG-PEFI (PIVELLO; PECCININI, 2002).	49
FIGURA 10 -	Vista da parcela de interceptação com os coletores de transprecipitação na microbacia hidrográfica experimental B-Cunha.	50
FIGURA 11 -	Câmera fotográfica instalada sobre tripé e equipada com lente "olho de peixe" na área de interceptação do IAG-PEFI.	52
FIGURA 12 -	Vista da estação fluviométrica na microbacia hidrográfica experimental do IAG-PEFI. À direita, o vertedouro triangular 90° e a esquerda, o vertedouro Crump.	54
FIGURA 13 -	Vista da estação fluviométrica com o vertedouro triangular 90° na microbacia experimental B-Cunha. A direita no primeiro plano, um pluviômetro e ao fundo, um pluviógrafo. À esquerda, o abrigo do linígrafo.	55
FIGURA 14 -	Fotos hemisféricas originais (acima) e selecionadas (abaixo) do IAG-PEFI (esquerda) e microbacia B-Cunha (direita).	59

FIGURA 15 - Relação entre a precipitação (azul) e a transprecipitação (amarelo) no IAG-PEFI.	70
FIGURA 16 - Relação entre os valores transformados da transprecipitação (Tr) e da precipitação (Pt) para o IAG-PEFI.....	71
FIGURA 17 - Imagem de 08/12/2008 do IAG-PEFI processada por meio de contraste. A área obstruída pelo dossel (escura) e a área de céu aberto (clara).....	73
FIGURA 18 - Relação entre a precipitação (azul) e a transprecipitação (amarelo) na microbacia B-Cunha.	78
FIGURA 19 - Relação entre o log da transprecipitação (Tr) e o log da precipitação (Pt) para a microbacia B-Cunha.....	79
FIGURA 20 - Imagem de 04/12/2008 da microbacia B-Cunha processada por meio de contraste. A área obstruída pelo dossel (escura) e a área de céu aberto (clara).....	81
FIGURA 21 - Precipitação (em azul) e deflúvio (em vermelho) mensal para o ano hídrico de 2000 na microbacia do IAG-PEFI.	83
FIGURA 22 - Precipitação (em azul) e deflúvio (em vermelho) mensal para os anos hídricos de 2001 a 2003 na microbacia B-Cunha.....	87
FIGURA 23 - Relação entre a precipitação (azul) e a concentração de cloreto na água de chuva (verde) no IAG-PEFI.	90
FIGURA 24 - Relação entre o log da precipitação e o log da concentração de cloreto na água de chuva na microbacia do IAG-PEFI.	91
FIGURA 25 - Relação entre o deflúvio (azul) e a concentração de cloreto na água do rio (verde) no IAG-PEFI.....	94
FIGURA 26 - Relação entre a precipitação (azul) e a concentração de cloreto na água de chuva (verde) na microbacia B-Cunha.	100
FIGURA 27 - Relação entre o deflúvio (azul) e a concentração de cloreto na água do rio (verde) na microbacia B-Cunha.....	106

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Local, tipo de floresta, interceptação e autores dos estudos.	25
TABELA 2 - Local, precipitação e evapotranspiração real anual.	29
TABELA 3 - Períodos de coleta, valores da precipitação (Pt), da transprecipitação (Tr) e da interceptação (I) para o IAG-PEFI.	67
TABELA 4 - Classes de precipitação, frequência e interceptação para o IAG-PEFI.	72
TABELA 5 - Períodos de coleta, valores da precipitação (Pt), da transprecipitação (Tr) e da interceptação (I) para a microbacia B-Cunha.	74
TABELA 6 - Classes de precipitação, frequência e interceptação para a microbacia B-Cunha.	80
TABELA 7 - Precipitação e deflúvio mensal para o período de 01 de setembro de 1999 a 31 de agosto de 2000 na microbacia do IAG-PEFI.	82
TABELA 8 - Precipitação e deflúvio mensal para o período de 01 de outubro de 2000 a 30 de setembro de 2003 na microbacia B-Cunha.	85
TABELA 9 - Anos hídricos e os processos hidrológicos, como a precipitação, o deflúvio e a evapotranspiração real na microbacia B-Cunha.	88
TABELA 10 - Período de coletas, precipitação, concentração de cloreto na água de chuva e a deposição úmida. Ano hídrico de 2000 na microbacia do IAG-PEFI.	89
TABELA 11 - Períodos de coletas, deflúvios, concentrações de cloreto na água do rio e os deflúvios multiplicados pelas concentrações de cloreto. Ano hídrico de 01 de setembro de 1999 a 31 de agosto de 2000, na microbacia do IAG-PEFI.	92
TABELA 12 - Período das coletas, precipitação, concentração de cloreto na água de chuva e a deposição úmida. Anos hídricos de 2001, 2002 e 2003 na microbacia B-Cunha.	96
TABELA 13 - Período das coletas, deflúvio, concentração de cloreto na água do rio e o deflúvio multiplicado pela concentração de cloreto nas águas do deflúvio na microbacia B-Cunha.	101
TABELA 14 - Anos hídricos, precipitações anuais, médias ponderadas do cloreto nas precipitações e nos deflúvios anuais e as evapotranspirações na microbacia B-Cunha.	107

TABELA 15 - Períodos do deflúvio de junho de 2000, concentração de cloreto de suas águas e o deflúvio multiplicado pela sua concentração na microbacia do IAG-PEFI.....	108
TABELA 16 - Períodos do deflúvio de agosto de 2001, concentração de cloreto de suas águas e o deflúvio multiplicado pela sua concentração na microbacia B-Cunha.....	109
TABELA 17 - Períodos do deflúvio de agosto de 2002, concentração de cloreto de suas águas e o deflúvio multiplicado pela sua concentração na microbacia B-Cunha.....	110
TABELA 18 - Períodos do deflúvio de julho de 2003, concentração de cloreto nas suas águas e o deflúvio multiplicado pela sua concentração na microbacia B-Cunha.....	111
TABELA 19 - Resultados de pesquisas sobre interceptação das chuvas na Mata Atlântica, com valores de precipitação total (Pt), transprecipitação (Tr) e interceptação (I).	112
TABELA 20 - Métodos e resultados de estimativa da evapotranspiração potencial no IAG-PEFI no período de junho de 1999 a junho de 2000. Fonte: Pereira Filho et al. (2002).....	116
TABELA 21 - Autores, métodos do balanço hídrico (BH) e de Thornthwaite e Mather (1955) (T&M), locais, períodos e estimativas da evapotranspiração para as microbacias hidrográficas experimentais A, B e D do Núcleo Cunha-PESM.....	118

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVOS E HIPÓTESES	22
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1 Interceptação das chuvas pelas copas das árvores.....	23
3.2 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço hídrico	27
3.3 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto	31
4 MATERIAL E MÉTODOS	35
4.1 Características das áreas.....	35
4.1.1 Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI)	35
4.1.2 Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha.....	40
4.2 Monitoramento das microbacias	47
4.2.1 Precipitação	47
4.2.2 Transprecipitação	49
4.2.3 Fotografia hemisférica do dossel.....	52
4.2.4 Deflúvio.....	54
4.3 Preparação das amostras e análises de cloreto	57
4.4 Tratamento dos dados	58
4.4.1 Interceptação das chuvas pela floresta	58
4.4.2 Análise da fotografia hemisférica do dossel.....	59
4.4.3 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço hídrico.....	61
4.4.4 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto.....	62
4.4.5 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto através do escoamento de base.....	63
4.4.6 Análises estatísticas	65
5 RESULTADOS.....	67

5.1	Interceptação das chuvas no IAG-PEFI	67
5.2	Interceptação das chuvas na microbacia B-Cunha	74
5.3	Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço hídrico na microbacia do IAG-PEFI	82
5.4	Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço hídrico na microbacia B-Cunha	85
5.5	Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto na microbacia do IAG-PEFI	89
5.6	Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto na microbacia B-Cunha	96
5.7	Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto através do escoamento de base, junho de 2000 na microbacia do IAG-PEFI	108
5.8	Estimativa da evapotranspiração pelo método do balanço de cloreto através do escoamento de base na microbacia B-Cunha	109
5.8.1	Agosto de 2001	109
5.8.2	Agosto de 2002 na microbacia B-Cunha	110
5.8.3	Julho de 2003 na microbacia B-Cunha	111
6	DISCUSSÃO	112
6.1	Interceptação das chuvas pela floresta	112
6.2	Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço hídrico	116
6.3	Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto	120
6.4	Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto através do escoamento de base	122
7	CONCLUSÕES	124
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126

1 INTRODUÇÃO

A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Cnumad – RIO 92) estabeleceu a Agenda 21 com ações voltadas ao desenvolvimento sustentável. O Capítulo 18 desta agenda foi dedicado exclusivamente à proteção e à importância da gestão dos recursos hídricos, como também a inclusão dos atores sociais no processo de gestão. O documento incorporou os princípios da Conferência de Dublin com relação aos recursos hídricos, Brasil (2006, p. 26), destacando-se

[...] (i) a água doce é um recurso finito e vulnerável, essencial para a manutenção da vida, para o desenvolvimento, e para o meio ambiente; (ii) o desenvolvimento e o gerenciamento da água devem envolver a participação de usuários, planejadores e encarregados da elaboração de políticas em todos os níveis, (iii) a água tem um valor econômico em todos os seus usos e deve ser reconhecida como um bem econômico.

Ainda segundo Brasil (2006, p. 101 e 102), esta Agenda, ainda contempla macrodiretrizes; (i) quanto aos aspectos instrumentais: “melhorar e consolidar o conhecimento sobre a dinâmica hidrológica, hidrogeológica e da qualidade das águas como forma de aprimorar as bases técnicas e apoiar a tomada de decisões na gestão das águas”; (ii) quanto aos aspectos transversais relacionados às ações de capacitação e de comunicação social: “desenvolver estudos e pesquisas voltados para ampliar a base atual do conhecimento, no campo dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, sob a ótica da qualidade e da quantidade”.

Nesse enfoque, a água é o recurso natural mais importante do planeta, sendo o componente fundamental da dinâmica da natureza, capaz de estimular todos os ciclos e dar sustentabilidade a vida. Três são as fases da água que fazem parte do seu ciclo, sendo a fase líquida a de maior importância por estar disponível para diversos usos. O ciclo hidrológico é impulsionado pela energia térmica solar, a força dos ventos e a força da gravidade. Seus principais componentes são a precipitação, a evaporação, a transpiração, a percolação, a infiltração e a drenagem (TUNDISI, 2003).

O crescimento populacional associado ao aumento da expectativa de vida e a

diminuição das áreas naturais, bem como a sua degradação, tornaram-se fatores importantes por causarem sérias ameaças ao homem e ao ambiente. A compreensão dos processos que levam à manutenção da biodiversidade e as mudanças de uso do solo são importantes pré-requisitos para nossa habilidade de produzir alimentos. O conhecimento desses processos é importante também para o estabelecimento de políticas públicas para o desenvolvimento sustentado de ecossistemas frágeis como são os tropicais (FORTI, 2003).

A Mata Atlântica é reconhecida como um dos cinco *hotspots* mais importantes do mundo. Este termo foi usado pela primeira vez em 1988 por Myers et al. (2000). Os *hotspots* são definidos como áreas prioritárias à conservação da biodiversidade baseado em dois fatores: o número de espécies endêmicas e o seu grau de ameaça. Em alguns *hotspots* a destruição atinge 90% da paisagem, como a Mata Atlântica, da qual restam apenas 8% (CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL, 2005).

A maior porção de remanescentes contínuos de Mata Atlântica localiza-se entre os estados do Paraná, São Paulo e o Rio de Janeiro, sendo esta uma das regiões mais ricas em diversidade biológica do bioma. Mesmo reduzida e muito fragmentada, a Mata Atlântica possui uma enorme importância, pois exerce influência direta na vida de mais de 80% da população brasileira que vive em seu domínio. Ela garante o abastecimento de água para 120 milhões de pessoas. Além de milhares de pequenos cursos d'água que afloram em seus remanescentes, a região é cortada por grandes rios (SÃO PAULO, 2006).

No mundo, o consumo de água está aumentando rapidamente. Por volta de 2025 terá um acréscimo de 40% e, em 2050, o número de pessoas que sofrerão com a escassez de água passará de 132 milhões para algo entre 1 e 2,5 bilhões. Quase dois terços da população mundial estarão com uma carência moderada ou alta de água (IFA; UNEP, 2000).

Segundo a *Food and Agriculture Organization* – FAO (2008), um em cada cinco países em desenvolvimento sofrerá com a escassez de água até 2030, comprometendo a produção mundial de alimentos. A disponibilidade de água para consumo humano no Brasil se reduzirá nos próximos anos, principalmente nas regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, atingindo mais de 40 milhões de pessoas. Neste enfoque, estudos empregando a microbacia como unidade de trabalho permite quantificar os fluxos de entrada e saída de água e, conseqüentemente, avaliar a sua integridade através dos níveis das atividades

antrópicas, e quantificar sua contribuição para o fornecimento de água em escala regional.

Amplios programas de estudos integrados em bacias hidrográficas foram empregados nos Estados Unidos e Europa já na década de 50. As diferentes redes de monitoramento são ferramentas importantes e indispensáveis para detectar e quantificar mudanças ambientais de longo tempo. As análises de séries temporais desses dados têm demonstrado que, com o conhecimento do funcionamento dos processos biogeoquímicos, é possível compreender os mecanismos das mudanças observadas e distinguir entre causas naturais e antropogênicas (MOLDAN; ČERNÝ, 1994).

No Brasil, microbacias hidrográficas foram instrumentadas em diferentes regiões com floresta natural, objetivando o monitoramento da vazão, da precipitação, da qualidade da água, da ciclagem de nutrientes e, também, para estimativa da evapotranspiração. Dentre eles, destacam-se os realizados por Castro (1980) em Mata Atlântica, Viçosa-MG; Leopoldo et al. (1982) em Floresta Amazônica de Terra Firme, Manaus-AM; Andrade (1991) em Caatinga hiperxerófitas arbustivas, Cruzeta-RN; Arcova (1996), Anido (2002) e Cicco (2004) em Mata Atlântica, Cunha-SP; Voigtlaender (2007) em Mata Atlântica, Telêmaco Borba-PR; Forti et al. (2005, 2007) em Mata Atlântica, Cunha e São Paulo-SP.

2 OBJETIVOS E HIPÓTESES

Na formulação do problema, duas questões foram importantes para a condução da pesquisa: a) a ocupação do domínio da Mata Atlântica pelo homem através da urbanização pode alterar os processos hidrológicos em remanescentes florestais? b) o monitoramento dos processos hidrológicos é complexo e caro, há uma forma mais barata, eficiente e confiável de estimar a evapotranspiração?

Para tanto, estabeleceu-se o monitoramento de duas microbacias hidrográficas localizadas na Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica). As áreas escolhidas encontram-se, respectivamente, no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), em área urbana com forte influência antrópica e no Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Cunha, em área natural, ambas no Estado de São Paulo. Os objetivos específicos dessa pesquisa foram:

- a) determinar a interceptação das chuvas pelas copas das árvores;
- b) estimar a evapotranspiração real pelos métodos dos balanços hídrico e de cloreto, e
- c) estimar a evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto através do escoamento de base.

O estudo foi proposto considerando a hipótese de que o fragmento florestal na área urbana pode estar passando por impactos negativos e, conseqüentemente, apresentar uma menor interceptação das chuvas pelas copas das árvores. A segunda hipótese foi a de que o método do balanço de cloreto pode ser empregado de forma mais efetiva e em menor tempo para estimar a evapotranspiração real.

Pretende-se que este estudo forneça subsídios científicos importantes sobre o funcionamento hidrológico dos remanescentes de Mata Atlântica nos dois locais, de forma a permitir uma melhor compreensão dos processos envolvidos, possibilitando fornecer instrumentos para a conservação, manejo e sustentabilidade dessas áreas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Intercepção das chuvas pelas copas das árvores

As florestas possuem estreita relação com o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, interferindo no movimento da água nos seus vários compartimentos. Uma das principais influências da floresta ocorre no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando se dá o primeiro fracionamento da água, onde uma parte é temporariamente retida pelo dossel e em seguida evaporada, processo este denominado de intercepção. A outra parte da chuva alcança o piso florestal na forma de gotas, chamado de precipitação interna ou de transprecipitação e, também, através do escoamento pelo tronco das árvores (ARCOVA; CICCIO; ROCHA, 2003).

A intercepção pela floresta promove uma diminuição no total de chuva que atinge o solo, portanto, é de extrema importância sua determinação no contexto do balanço hídrico de uma microbacia (LIMA, 1996).

As estimativas da intercepção para florestas tropicais variam consideravelmente, entre 4,5% a 24% da precipitação total (BRUIJNZEEL, 1990). Esta amplitude foi também confirmada por Clarke (1986/87), que revisou vários estudos sobre medidas dos processos de intercepção da água da chuva por florestas da África, América Central, América do Sul e Ásia. Os resultados não demonstraram ser indicativos de qualquer padrão consistente. Os valores encontrados não puderam ser atribuídos a erros de medição ou se efetivamente ocorriam. Também não foi possível avaliar se essas diferenças ocorreram em função das condições climáticas locais ou pela variação na estrutura das florestas. Outros fatores relevantes constatados foram às diferentes técnicas, materiais e equipamentos empregados.

Crockford e Richardson (2000) revisaram trabalhos sobre a repartição das chuvas em transprecipitação, escoamento pelo tronco e intercepção em relação aos efeitos dos tipos florestais, cobertura do solo e clima; como também a variedade e confiabilidade das técnicas de medições empregadas. A análise mostrou que foi difícil obter conclusões gerais sobre a intercepção, em especial aos tipos florestais, pois quase sempre dependia do tipo de precipitação e de outras condições meteorológicas durante o período do estudo. As características de uma floresta que

interferem na interceptação nem sempre são fáceis de identificação e quantificação, como o número de árvores por hectare, ângulo dos galhos, a uniformidade ou não da altura das copas, a natureza e a espessura dos troncos e folhas, suas formas e inclinações e, ainda, a área foliar e o índice de área foliar. A maior dificuldade nesses estudos é a determinação da transprecipitação, não sendo incomum obter resultados que ultrapassam o valor da precipitação total, causando desta forma interceptação negativa. Os autores recomendam que nos estudos de interceptação a base de dados seja consistente, isto porque as variáveis que podem influenciar a transprecipitação e o escoamento pelo tronco podem mudar, como por exemplo, a intensidade e a duração da chuva, e a velocidade e a direção do vento.

Ainda, segundo Blake (1975), a interceptação depende de vários fatores, como as características das precipitações, das chuvas antecedentes, das condições climáticas, do tipo e densidade da floresta e da estação do ano. Nas florestas tropicais a variabilidade de amostragem na mensuração da transprecipitação e, por conseguinte na interceptação, é consideravelmente maior do que comumente ocorre em estudos de florestas temperadas (LLOYD; MARQUES FILHO, 1988).

Na quantificação da transprecipitação, a metodologia é muito discutida, principalmente em relação à instalação dos pluviômetros, se estes devem ficar fixos ou periodicamente mudados de lugar. Para Holwerda, Scatena e Bruijnzeel (2006), quando as medições foram em posições fixas ou em posições aleatórias e itinerantes não se observou diferenças significativas ($p > 0,05$). Porém, segundo Wård (2007), as análises da variabilidade para os totais da transprecipitação apresentaram menor variação na abordagem itinerante (23%), em comparação com a posição fixa (48 a 49%). Um risco da instalação dos pluviômetros em posições fixas é que a variação espacial interna seja perdida, se ampla amostragem não for realizada. Lloyd e Marques Filho (1988) sugeriram que o método aleatório e itinerante seja o preferível.

Estudos de repartição das chuvas pelas copas das árvores no Brasil tiveram início com o trabalho de Lima (1976), onde a interceptação em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith foi de 12,2% e de 6,6% para *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*, ambos com 6 anos de idade, em Piracicaba, SP.

O estudo pioneiro de interceptação em vegetação natural foi o de Franken et al. (1982a) na Floresta Amazônica, alcançando 22,0% em relação à precipitação total. A Tabela 1 contém resultados de interceptação em diversas regiões e florestas

brasileiras.

TABELA 1 - Local, tipo de floresta, interceptação e autores dos estudos.

Local	Floresta	Interceptação (%)	Autor
Amazonas	Amazônica	22,0	Franken et al. (1982a)
Manaus-AM	Amazônica	19,8	Franken et al. (1982b)
Viçosa-MG	Estacional Semidecidual Tropical	12,4	Castro et al. (1983)
São Manuel-SP	Cerradão	19,5	Leopoldo e Conte (1985)
Rio de Janeiro-RJ	Reflorestamento Heterogêneo	11,4	Coelho Netto, Sanche e Peixoto (1986)
São Paulo-SP	Mata Atlântica	12,1	Cesar (1986)
Cunha-SP	Mata Atlântica	18,2	Cicco et al. (1986/88)
Manaus-AM	Amazônica	8,9	Lloyd e Marques Filho (1988)
Rio de Janeiro-RJ	Reflorestamento Heterogêneo	24,0	Miranda (1992)
Cubatão-SP	Mata Atlântica	8,9	Nalon e Vellardi (1992)
Marabá-PA	Amazônica de Terra Firme	12,9	Ubarana (1994)
Ji-Paraná-RO	Pluvial da Planície	12,5	
Ilha do Mel-PR	Litorânea: Paludosa Seca	30,0 22,0	Britez et al. (1998)
Serra do Navio-AP	Amazônica	9,0	Forti et al. (2000)
Aracruz-ES	Atlântica	23,9	Almeida e Soares (2003)
Cunha-SP	Atlântica	18,6	Arcova, Cicco e Rocha (2003)
Viçosa-MG	Estacional Semidecidual Tropical	18,3	Oliveira Júnior e Dias (2005)
INPA-AM	Amazônica Densa de Terra Firme	19,2	Ferreira, Luizão e Dallarosa (2005)
Guarapuava-PR	Ombrófila Mista	23,2	Thomaz (2005)
Rancho Grande-RO	Ombrófila Aberta	11,0	Germer, Elsenbeer e Moraes (2006)
Melgaço-PA	Amazônica de Terra Firme	21,5	Oliveira et al. (2008)

A variação dos percentuais dos estudos de interceptação das chuvas pelas copas das árvores apresentou grande amplitude, de 8,9% na Floresta Amazônica (LLOYD; MARQUES FILHO, 1988) e na Mata Atlântica (NALON; VELLARDI, 1992) a um máximo de 30% na Floresta Pluvial da Planície Litorânea Paludosa na Ilha do Mel, Paraná (BRITEZ et al., 1998). Constatou-se que dos 22 trabalhos, doze ou 54% dos resultados estão na faixa de 10% a 20% de interceptação em relação a precipitação total.

3.2 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço hídrico

A evapotranspiração é de difícil estimativa, sendo o componente do ciclo hidrológico de maior incerteza, e quando a bacia hidrográfica possui cobertura vegetal é necessário levar em consideração a sua extensão, densidade, altura e perenidade (SHUTTLEWORTH, 1988).

O balanço hídrico é um método contábil de estimativa da disponibilidade de água no solo baseado na aplicação do princípio de conservação de massa em uma área vegetada, através das entradas e saídas de água do solo. Por outro lado, a evapotranspiração é o processo de mais difícil quantificação, podendo ser estimada através de diferentes métodos, como as medidas diretas (lisímetros ou evapotranspirômetros e balanço hídrico de campo) e as indiretas, com o emprego de equações empíricas, semi-empíricas e evaporímetros (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

O termo evapotranspiração potencial foi introduzido por Thornthwaite e Wilm em 1944, sendo o processo de perda de água para a atmosfera através de uma superfície natural gramada, padrão e sem restrição hídrica para atender às necessidades da evaporação do solo e da transpiração pelas plantas. Já, a evapotranspiração real é a perda de água de uma superfície natural, em qualquer condição de umidade e de cobertura vegetal (CAMARGO; CAMARGO, 2000).

Dados seguros sobre evapotranspiração real são escassos, de difícil obtenção e caros, isto porque demandam longos períodos de observações. Porém, a evapotranspiração potencial pode ser obtida de forma mais rápida e precisa (TUCCI; BELTRAME, 1993).

Um dos mecanismos de controle para avaliar os processos hidrológicos é o monitoramento ambiental, por intermédio da instrumentação de bacias hidrográficas, largamente empregadas na atualidade. A bacia se apresenta como uma unidade funcional de trabalho, de base de gestão e de planejamento (WHITEHEAD; ROBINSON, 1993).

A bacia hidrográfica é considerada como um sistema não-isolado, devido às relações mantidas com os demais sistemas da atmosfera; e um sistema aberto, aonde ocorre trocas constantes de energia e matéria. Um sistema é considerado como uma entidade discreta e isolada para que possa ser analisado. Representa um

conjunto unitário e completo de elementos, como também das suas relações e atributos. Desta forma, o sistema estará em equilíbrio quando a importação e a exportação de energia e matéria não se alterarem (CHRISTOFOLETTI, 1979). Ressalta-se que o termo microbacia é amplamente utilizado no Brasil, nas áreas das engenharias agrônoma e florestal, destacando-se o programa de microbacias desenvolvido pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo.

A bacia hidrográfica é uma unidade de estudo, não somente para a hidrologia, mas também para a biogeoquímica, isto porque os fluxos e os processos podem ser determinados através do balanço de massas. Para a maioria das bacias, as entradas podem ser quantificadas com boa exatidão, e a evapotranspiração pode ser estimada para longos períodos, supondo que não há mudança no armazenamento de água do solo e não ocorram vazamentos (JENKINS; PETERS; RODHE, 1994).

Segundo Arcova (1996), o conhecimento das taxas anuais de evapotranspiração é de suma importância, quando da realização do balanço hídrico, uma vez que o rendimento hídrico de uma microbacia é influenciado pelo consumo total de água pela vegetação. A demanda por recursos hídricos é grande, fazendo-se necessário o conhecimento do ciclo hidrológico em uma microbacia hidrográfica, principalmente para os processos de precipitação e de evapotranspiração (HORIKOSHI; FISCH, 2007).

A vegetação, o solo, a topografia e o clima interagem de maneira complexa na determinação do regime hídrico de uma microbacia. Assim, a vegetação, através dos processos de interceptação e transpiração, determina as variações na intensidade do fluxo de água que atinge o piso florestal. Já as características físicas do solo interferem nos processos de circulação de água. A topografia se relaciona, principalmente, com a umidade e saturação do solo, como também, com algumas variáveis climáticas, como a radiação solar (DAWES et al., 1997).

Para Brooks et al. (1993), o conhecimento da relação floresta-água é relativamente limitado, principalmente pelas poucas bacias monitoradas nos ecossistemas tropicais. A implantação da infraestrutura e equipamentos, longos períodos de observação e a pouca representatividade são as principais causas dos elevados custos, e ainda pela dificuldade de extrapolação de resultados (HEWLETT; NUTTER, 1969, NEWSON; CARDER, 1989).

Os resultados de estudos de vários autores reunidos por Bruijnzeel (1990),

mostram amplitude de valores na estimativa da evapotranspiração real com o emprego de bacias hidrográficas nas florestas tropicais da América Latina, África e Sudeste Asiático (Tabela 2). Por meio de análise dos dados não se verifica tendência para as florestas de baixa e alta altitudes, isto porque a evapotranspiração real varia de 19,8% a 77,0% e de 22,3% a 63,8%, respectivamente. Para as florestas de altitude e com a presença de neblina, a evapotranspiração real é bastante reduzida, de 11,6% a 13,6% da precipitação total.

TABELA 2 - Local, precipitação e evapotranspiração real anual.

Local	Precipitação (mm)	Evapotranspiração (mm)	Evapotranspiração (%)
Tonka-Suriname ^a	2143	1630	76,1
Grégoire I-Guiana Francesa ^a	3676	1528	41,6
Grégoire II-Guiana Francesa ^a	3697	1437	38,9
Grégoire III-Guiana Francesa ^a	3751	1444	38,5
Barro Colorado - Panamá ^a	2425	1440	59,4
Guma-Serra Leoa ^a	5795	1146	19,8
Yangambi-Congo ^a	1860	1433	77,0
Angat-Filipinas ^a	3236	1232	38,1
Blue Mnts.-Jamaica ^b	3746	1998	53,3
Sierra Nevada-Colômbia ^b	1983	1265	63,8
Luquillo Mnts.-Porto Rico ^b	3725	831	22,3
Kimakia-Quênia ^b	2307	1156	50,1
Ciwidey-Indonésia ^b	3306	1170	35,4
Sierra Nevada-Colômbia ^{b, c}	2316	308	13,3
Rio Macho-Costa Rica ^{b, c}	2697	366	13,6
Mt. Data-Filipinas ^{b, c}	3382	392	11,6

(^a) floresta de baixa altitude; (^b) floresta de alta altitude; (^c) floresta de neblina.

No Brasil, os estudos da estimativa da evapotranspiração através do balanço hídrico em microbacia experimental abordando a relação floresta natural-água foram iniciados na Floresta Amazônica de Terra Firme, em uma microbacia com 130 ha localizada na Reserva Ducke. Do total precipitado, 62% foram transpirados contribuindo para uma evapotranspiração real de 80,7%, o restante 19,3% forma o escoamento total (LEOPOLDO; FRANKEN; SALATI, 1982). Já para a microbacia

Modelo, com 2.350 ha, também em Floresta Amazônica de Terra Firme, a transpiração foi de 48,5% do total precipitado, a evapotranspiração real de 74,1% e o escoamento total de 25,9% (LEOPOLDO et al., 1982).

A partir desses estudos, vários outros se seguiram, como: Cicco et al. (1985a,b); Cicco, Arcova e Shimomichi (1989); Andrade (1991), Azevedo (1995), Arcova (1996), Anido (2002), Pereira Filho et al. (2002), Cicco (2004) e Donato et al. (2008), dentre outros.

3.3 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto

O íon cloreto é o mais abundante dos halogênios, porém não participa significativamente nas reações de oxirredução, não formando solutos complexos importantes. Este íon, tanto na forma de par quanto na forma complexa está presente nas águas naturais, mas em geral as concentrações são baixas e, os complexos não são fortes o bastante para ter importância na química de águas doce. Desse modo, o íon cloreto não é adsorvido pelos minerais superficiais, disputando assim poucas funções bioquímicas vitais (HEM, 1985).

Os compostos clorados tendem a ser altamente solúvel na água e móveis nos solos, de modo que a deposição atmosférica e o transporte através dos ecossistemas terrestres são rápidos se o fluxo hidrológico estiver ocorrendo (GRAEDEL; KEENE, 1996). Esse íon não participa significativamente na formação de minerais secundários e, geralmente, são mal adsorvidos pelos solos (MOTT, 1981). Em várias bacias estudadas o cloreto resultante do intemperismo foi considerado insignificante em comparação com o oriundo da deposição atmosférica (PETERS; RATCLIFFE, 1998).

Para a vegetação e animais o cloreto é um elemento essencial e, principalmente, por sua função eletrolítica, participa na etapa da fotossíntese (KRAMER; KOZLOWSKI, 1979). Esse íon é altamente móvel nas plantas e prontamente adsorvido pelo sistema radicular e lixiviados pelas folhas (LOVETT; HUBBELL, 1991).

O cloreto tem sido amplamente utilizado como um traçador conservativo na bacia hidrográfica, uma vez que não sofre influências significativas de intemperismo químico, formação de minerais ou processos biológicos (FETH, 1981). No ecossistema florestal, o cloreto é frequentemente considerado como conservativo, no sentido de que a fonte e os dissipadores são insignificantes quando comparados às entradas e às saídas (NEAL; KIRCHNER, 2000).

Christophersen e Neal (1990), reforçam a teoria de que o cloreto é frequentemente utilizado como um traçador conservativo em estudos hidrológicos, uma vez que o íon é considerado hidrológicamente e quimicamente inerte.

Uma variedade de traçadores químicos foi usada para o entendimento dos processos do movimento da água, do seu tempo de residência e da reatividade de

materiais do ecossistema. Na maioria dos casos, a variabilidade natural de algum soluto ou parâmetro da precipitação, ou da água evoluída dos materiais de determinadas fontes, como a biota ou o solo mineral/rocha, foram usados para o entendimento da bacia hidrográfica. A mobilidade do cloreto na maioria dos sistemas resulta do fato de que não são facilmente adsorvidos sobre as superfícies, portanto, não sendo incorporados aos minerais que dão forma aos solos. Estas propriedades têm sido úteis permitindo utilizá-lo como traçador para pesquisar alguns processos hidrológicos, dentre eles, o balanço hídrico (PETERS, 1994).

Ao se aplicar um determinado método de balanço de massa, algumas considerações deverão ser levadas em conta, como as características da solução, o tamanho da bacia, a magnitude dos fluxos de entrada e saída, como também, o tempo de residência em relação aos caminhos da água que contribuem para o rio (ČERNÝ; BILLET; CRESSER, 1994).

Para ambientes com baixos teores de sólidos dissolvidos nas águas subterrâneas, a não evaporação dos minerais dos solos ou rochas e a ausência de fontes antropogênicas significantes, a entrada de cloreto deverá ser predominantemente a partir da atmosfera. Com essas propriedades, o cloreto torna-se um traçador ideal para estudos em bacias hidrográficas, como a estimativa da evapotranspiração, através das quantificações das concentrações de cloreto, na entrada, via precipitação mais deposição seca e na saída, via rio (CLAASSEN; HALM, 1996, FORTI et al., 2000).

Peters et al. (2006), afirmam que o cloreto do rio não mantém a mesma relação com outros elementos devido à troca iônica e aos processos biológicos, o que provavelmente vai influenciar a análise dos resultados. Por estas razões, o simples balanço de massa utilizando a precipitação como entrada e, a saída via rio, claramente têm limitações quanto à interpretação dos resultados das zonas costeiras ou outros sítios que são caracterizadas pelas grandes entradas de deposição atmosférica seca.

O fluxo líquido de cloreto é positivamente correlacionado com a produção de água. Esta análise tem algumas implicações importantes no que diz respeito à interpretação do balanço do íon. Os fluxos da solução são, em parte, determinados pelas condições climáticas e hidrológicas, que podem confundir a interpretação dos registros de curto prazo, isto porque esses fluxos operam em ciclos mais longos. Além disso, o efeito pode variar dependendo do tamanho da bacia e das

características hidrológicas que afetam o tempo de residência da água e da solução. Ressalta-se a importância da criação de registros de longo prazo, não só do clima e da hidrologia da bacia, mas também, das concentrações e dos balanços desse íon (PETERS et al., 2006).

O método do cloreto considera que as concentrações médias do íon nas águas que entram na bacia é aproximadamente as mesmas que saem. Portanto, para a estimativa da evapotranspiração empregando esse método, algumas condições foram impostas, dentre elas: não existir fonte litológica de cloreto, a precipitação é a única fonte do íon no sistema de escoamento do rio, não há armazenamento na zona não saturada, o cloreto é um traçador conservativo, ou seja, não é reativo, portanto, ele é transportado pela água e na evapotranspiração pode ser ignorado (CLAASSEN; HALM, 1996).

Outra condição importante para áreas florestais é o efeito da interceptação pelas copas das árvores, que deve ser quantificada e extrapolada para toda a bacia. É desejável ainda que o local não tenha efeitos significativos de atividades antrópicas (CLAASSEN; REDDY; HALM, 1986).

Nos Estados Unidos da América existe um programa denominado *The National Atmospheric Deposition Program/National Trends Network (NADP/NTN)* que atualmente coleta e emite relatórios semanais dos totais da precipitação composta e da sua composição química para mais de 200 localidades (LAMB; BOWERSOX, 2000). Essa rede propicia a realização de vários estudos, dentre eles, o de Claassen e Halm (1996), que trabalharam com o método do balanço de cloreto em 19 bacias hidrográficas localizadas no *Rocky Mountain*, nos Estados do Arizona e Idaho. Os autores ressaltaram que muito pouco esforço e despesas foram envolvidos no trabalho, podendo fornecer estimativas de evapotranspiração eficaz para bacias hidrográficas que possuem curtos períodos de registro.

Hayashi et al. (2004) conduziram estudos na bacia hidrográfica de *Scotty Creek*, localizada na parte central do rio Mackenzie, no Norte do Canadá. A evapotranspiração real anual foi estimada pelos métodos dos balanços hídrico e de cloreto. A área proporcionou condições favoráveis para a aplicação do método do cloreto, isto porque a precipitação foi a principal entrada e o rio a saída dominante do íon na bacia. Os resultados foram consistentes e indicaram que para bacias não monitoradas existe um grande potencial de aplicação do método.

No Brasil, entretanto, os dados existentes são de alguns grupos de

pesquisadores para algumas regiões e por pequenos períodos. No Estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) mantém as seguintes atividades de monitoramento, em caráter permanente: da qualidade do ar, das águas superficiais interiores, das águas subterrâneas e da balneabilidade das praias. Ressalta-se que não existe nenhuma avaliação contínua para a qualidade da água das precipitações (SÃO PAULO, 2007).

Forti et al. (2000) estudaram a bacia hidrográfica Igarapé Pedra Preta com Floresta Amazônica na região central do Amapá, parcialmente alterada pelo desmatamento, construção de estrada e depósito de material, devido à exploração do manganês. A evapotranspiração real estimada pelo balanço hídrico foi inferior ao do balanço de cloreto. A discrepância verificada foi atribuída ao erro na estimativa do escoamento do rio, o que provavelmente foi insuficiente para quantificação correta do volume de saída de água.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Características das áreas

4.1.1 Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI)

São Paulo é a quarta maior cidade do mundo e a maior do hemisfério sul. Possui uma área de 1.530 km² com aproximadamente 11 milhões de habitantes. A Região Metropolitana de São Paulo inclui, além da capital paulista, outros 38 municípios e uma população de 20 milhões de habitantes (PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2009). O PEFI está situado na região sudeste do município de São Paulo (Figura 1), entre as coordenadas 23° 38' 08" e 23° 40' 18" S e 46° 36' 48" e 46° 38' 00" W, com uma área total de 526,38 ha.

FIGURA 1 - Localização do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI).

O PEFI é uma unidade de conservação de proteção integral, com remanescentes de Mata Atlântica e totalmente inserida na maior área urbana do país, a cidade de São Paulo (Figura 2). A sua criação ocorreu através do Decreto Estadual nº 204, de 12 de setembro de 1893, com o objetivo de proteger o histórico riacho Ipiranga, como também complementar o abastecimento de água da capital (BARBOSA; POTOMATI; PECCININI, 2002).

FIGURA 2 - Vista geral do PEFI (área escura) e de seu entorno obtida a partir de imagem de satélite do programa Google Earth (v3.0).

Fundamentalmente, esta unidade de conservação possui hoje atributos maiores quando da sua criação, dentre eles podemos citar a preservação de seus ecossistemas naturais, a visitação pública, como área de lazer e recreação, as atividades educacionais e o desenvolvimento de pesquisas científicas. Neste enfoque, vários foram os estudos realizados e um deles merece atenção especial, a relação da cobertura florestal com os processos hidrológicos. O conhecimento desta relação é de fundamental importância para uma melhor compreensão do funcionamento hídrico da área, contribuindo desta forma para seu entendimento e na

tomada de decisão quanto ao seu manejo.

Segundo Hasui, Carneiro e Bistrichi (1981), a área localiza-se na região de contato entre as rochas pré-cambrianas e a Bacia Sedimentar de São Paulo. Três são as unidades geológicas: sedimentos quaternários dispostos em planícies aluviais; depósitos de provável idade terciária e, rochas pré-cambrianas que ocupam a maior parte do parque. Está inserido na Província do Planalto Atlântico e na Zona do Planalto Paulistano (FERNANDES; REIS; CARVALHO, 2002).

O relevo apresenta forma ondulada, com topos convexos e topografia pouco movimentada. Faz parte das colinas dos rebordos do espigão central da cidade de São Paulo e a área é do Domínio dos Mares de Morros. As altitudes variam de 770 m a 825 m (AB'SÁBER, 1956, 1957, 1970; ALMEIDA, 1974).

Situa-se sobre rochas cristalinas contendo basicamente gnaisses e secundariamente micaxistos e/ou metarenitos de médio grau metamórfico. Sobre essas rochas cristalinas ocorrem, predominantemente, argilas, areias e cascalhos, pertencentes à Formação São Paulo (ODA; FERNANDES, 1997).

Os solos do PEFI são do tipo Latossolo Vermelho Amarelo fase rasa, atualmente Latossolo Vermelho Amarelo câmbico (EMBRAPA, 1999). As primeiras análises químicas de amostras de solo coletadas em duas áreas florestadas demonstraram tratar-se de solos pobres em nutrientes, fortemente ácidos, com níveis tóxicos de alumínio e características potenciais para fixação de fósforo. A capacidade de troca catiônica, que reflete parte da fertilidade do solo, está na dependência, em maior grau, da matéria orgânica produzida pela biomassa florestal presente (STRUFFALDI-DE-VUONO, 1985).

O clima segundo a classificação de Köppen é Cwb, significando clima temperado, com regime de chuvas no verão, inverno seco, temperatura média do mês mais quente abaixo de 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C. Para o período de 25 anos (1976 a 2000), a precipitação média anual é de 1539,9 mm, sendo agosto o mês mais seco e janeiro o mais chuvoso. A temperatura média anual do ar é de 19,1°C. Os ventos são frios e úmidos, com direções predominantes SE e SSE, sendo provenientes da região marítima e carregado de umidade, frequentemente trazendo nuvens baixas, nevoeiro ou garoa (SANTOS; FUNARI, 2002).

Conforme Pivello e Peccinini (2002) a vegetação do PEFI é do Domínio da Mata Atlântica, pertencente ao grupo das florestas estacionais semidecíduais de

planalto. Esses autores encontraram cinco tipos de florestas; com dossel heterogêneo e porte alto, com dossel heterogêneo e porte baixo, com dossel homogêneo denso, com dossel homogêneo esparsa e com dossel descontínuo degradado. Estas se encontram em diversos estádios da sucessão e com poucas espécies climáticas. As famílias com maior número de espécies são a *Myrtaceae*, *Leguminosae*, *Lauraceae*, *Melastomataceae* e *Rubiaceae*.

Estudos fitossociológicos mostraram que a floresta se encontra em estágio de sucessão para formação florestal climática da encosta atlântica, em que não há predomínio de qualquer família, e onde cada espécie tem importância reduzida e, dessa maneira, alta diversidade. Indicaram ainda, que a vegetação está em estágio sub-clímax retrógrado, aonde a redução da vitalidade dos indivíduos arbóreos vem permitindo a proliferação de plantas mais agressivas e menos exigentes, como cipós e bambus, muito provavelmente, pela constante emissão de poluentes atmosféricos oriundos das atividades urbana e industrial (STRUFFALDI-DE-VUONO, 1985).

O PEFI possui dez microbacias hidrográficas que formam o riacho Ipiranga e deságua no rio Tamanduateí, sendo este afluente do rio Tietê. Faz parte da grande sub-bacia do alto rio Tietê. As nascentes alimentam nove lagos artificiais antes de formar o curso principal, sob a rodovia dos Imigrantes, o qual percorre cerca de 7 km sob duas avenidas, até aflorar na altura da parte frontal do Museu Paulista (FERNANDES; REIS; CARVALHO, 2002).

A microbacia hidrográfica experimental do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG, atualmente Parque de Ciência e Tecnologia – CienTec – USP, possui uma área de 59,0 ha. Neste local, as rochas são pré-cambrianas e não apresentam afloramentos, porém em duas áreas próximas foram identificadas rochas do tipo biotita gnaisse, de textura fina, homogênea e de cor de alteração vermelho escuro, indicando a presença de grande quantidade de biotita (FERNANDES; REIS; CARVALHO, 2002).

Estudo realizado em uma toposequência na microbacia do IAG foi identificado cinco horizontes principais de solos, sendo eles: horizonte de alteração; horizontes indiscriminados de várzea; horizontes argilosos com restos de couraça; horizontes latossólicos e horizontes hidromórficos. Segundo Forti (2003, p. 89 e 90), foi possível indicar uma cronologia para os eventos que deram origem à distribuição atual das organizações morfológicas,

[...] inicialmente uma couraça ferruginosa laterítica parece ter ocupado maior extensão da encosta e ter sido mais espessa do que é sugerido pelas evidências encontradas no setor topo/alta vertente; uma fase erosiva mecânica parece ter sido a responsável pelo desmonte da couraça, já bem evoluída, como demonstram os seus fragmentos; e uma fase latossolizante que transforma os remanescentes da antiga couraça e que ao mesmo tempo pedogeniza os materiais depositados ao longo da encosta.

Todos os horizontes apresentaram elevada saturação por alumínio, sendo classificados como álicos e, baixíssimos valores de saturação por bases. Os solos em termos de fertilidade química são pobres, entretanto, os teores de matéria orgânica até a profundidade de 30 cm foram altos em comparação com os horizontes inferiores. Nos horizontes mais profundos (> 60 cm) a densidade do solo apresentou valores elevados, entre 1,5 e 1,7 g.cm⁻³, com uma tendência de aumento na região da meia encosta. Nos horizontes superficiais, os baixos valores de densidade foram explicados pelos altos teores de matéria orgânica. Foi observado um gradiente para valores maiores de densidade em subsuperfície, podendo influenciar na dinâmica de água e solutos no solo, favorecendo o aparecimento de lençóis freáticos temporários acima dos horizontes mais densos nas épocas chuvosas (FORTI, 2003).

A microbacia do IAG-PEFI possui árvores dominantes com 10 a 13 metros de altura, formando um dossel descontínuo. A submata é densa e nas áreas abertas há predomínio de duas espécies de gramíneas, *Olyra micrantha* H.B.K. e *Chusquea* sp. (GOMES; MANTOVANI; KAGEYAMA, 2002).

Pelo mapa e descrição de Pivello e Peccinini (2002), a microbacia do IAG-PEFI está entre as unidades classificadas como:

- floresta com dossel heterogêneo e porte alto: localizada nas encostas e topos de morro, possuindo copas amplas e muitos indivíduos emergentes.
- floresta com dossel homogêneo esparso: indivíduos bem desenvolvidos, com amplas copas e grande altura relativa, poucas árvores emergentes e clareiras; ocupa áreas de várzea ou próximas a drenagens;
- floresta com dossel descontínuo degradado: não apresenta dossel contínuo e uma configuração espacial composta por agrupamentos de árvores, permeados por áreas mais abertas, com predomínio de arbustos.

4.1.2 Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha

O município de Cunha possui uma área de 1.410 km² e está localizado no Alto Paraíba entre as Serras da Quebra-Cangalha, da Bocaina e do Mar. Faz limite com oito municípios paulistas e com Angra dos Reis e Paraty no Estado do Rio de Janeiro. Possui uma população de 25.000 habitantes (CUNHATUR, 2009).

O Núcleo Cunha do Parque Estadual da Serra do Mar localiza-se entre os paralelos 23° 13' 28" e 23° 16' 10" de latitude sul e os meridianos 45° 02' 53" e 45° 05' 15" de longitude oeste de Greenwich e dista 15 km do litoral norte do Estado de São Paulo (FURIAN; PFEIFER, 1986). Esse parque é a maior unidade de conservação de proteção integral do Estado, com área de 315.000 ha (Figura 3).

FIGURA 3 - Localização do Parque Estadual da Serra do Mar, com destaque para o Núcleo Cunha.

A formação geológica pertence ao domínio tectônico do Terreno Embu, formada por depósitos terrígenos de origem incerta do Neoproterozóico ou Pré-Cambriano, com predomínio de gnaisses e presença esparsa de migmatitos e

granitos (SÃO PAULO, 2005).

A área pertence à zona do Planalto do Paraitinga inserida na província do Planalto Atlântico, onde as configurações topomorfológicas são resultantes dos produtos da atuação da erosão sobre a estrutura tectônica. Há predominância de espigões com cimos ondulados e traçados sinuosos, com altitudes que ultrapassam os 1.000 metros e 15° de declividade, configurando a aparência de “mares-de-morros” ou de “meias-laranjas” (ALMEIDA, 1974).

Furian e Pfeifer (1986) classificaram os solos do Núcleo Cunha como Latossolo Vermelho Amarelo fase rasa, atualmente Latossolo Vermelho Amarelo câmbico (EMBRAPA, 1999). Os solos são quimicamente pobres, ácidos, com textura grosseira, elevada porosidade e boa permeabilidade. São susceptíveis a erosões e também a escorregamentos.

Forti (2003) identificou em uma topossequência de solos na microbacia B-Cunha uma sucessão vertical composta de oito horizontes principais, sendo eles: horizonte húmico bruno escuro com estrutura grumosa; horizonte bruno argiloso com estrutura poliédrica e subestrutura microagregada; horizonte bruno avermelhado argiloso com estrutura poliédrica e subestrutura microagregada; horizonte de alteração violácea areno-argiloso, com estrutura da rocha conservada; horizonte de alteração cinza arenoso, com estrutura da rocha conservada; horizonte argiloso bruno com estrutura prismática; horizonte argiloso vermelho amarelado com estrutura prismática e horizonte de alteração bruno oliva claro, areno-argiloso com estrutura maciça. Análises mineralógicas permitiram identificar amostra total de quartzo, gibbsita, caolinita, vermiculita, mica/ilita, goethita e hematita, como os minerais constituintes dos solos ao longo da vertente.

Forti (2003) verificou elevada saturação por alumínio em todos os horizontes, classificando-os como álicos e, baixíssimos valores de saturação por bases. Os teores de matéria orgânica até a profundidade de 30 cm foram altos, compensando desta forma, a baixa fertilidade natural dos solos e, influenciando, principalmente, a vegetação que se desenvolve sobre estes solos que depende quase que exclusivamente da ciclagem de nutrientes contidos na matéria orgânica. Nos horizontes mais profundos, maiores do que 60 cm, a densidade do solo apresentou valores elevados, entre 1,4 e 1,5 g.cm⁻³, com uma tendência de aumento na região da meia encosta. Nos horizontes superficiais, os baixos valores de densidade foram explicados pelos altos teores de matéria orgânica. Foi observado um gradiente para

valores maiores de densidade em subsuperfície, podendo influenciar na dinâmica de água e solutos no solo, favorecendo o aparecimento de lençóis freáticos temporários acima dos horizontes mais densos nas épocas chuvosas.

Na região leste/nordeste do Estado de São Paulo, que inclui a área desta pesquisa, ocorre o confronto entre dois domínios climáticos: um que é controlado por massas equatoriais e tropicais, e outro regido por massas tropicais e polares que se reveza em rápida sucessão, o que ocasiona uma diversidade de influências (CONTI, 1975).

Já Monteiro (1973), afirma que o local situa-se no clima regional caracterizado pelo predomínio da Massa Tropical. As massas polares são menos frequentes e conduzem à existência de um período menos úmido. A menor penetração do ar polar nesta área reduz a quantidade das precipitações, e que a diminuição progressiva das chuvas frontais de sul para norte conduz, normalmente, ao bom tempo.

A pesquisa foi desenvolvida no Núcleo Cunha do Parque Estadual da Serra do Mar, onde está instalado o Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich, que possui três microbacias hidrográficas experimentais denominadas de A, B e D monitoradas, respectivamente, desde 1991, 1987 e 1982 (Figura 4).

FIGURA 4 - Localização das microbacias hidrográficas experimentais A, B (em destaque) e D no Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich, Núcleo Cunha - PESM.

Luiz (2008) realizou a classificação climática proposta por Köppen para o Núcleo Cunha, sendo do tipo Cwb, com clima temperado chuvoso e moderadamente quente, com preponderância de chuvas em verões brandamente quentes. Dos vinte e cinco anos de dados da série histórica, verificou-se a existência de dois períodos: um considerado úmido, com as maiores médias de precipitação e da temperatura do ar, e o outro período, pouco úmido, com as menores médias para os meses de abril a setembro. A precipitação média anual é de 2.200 mm e as temperaturas médias máxima e mínima do ar são de 26°C e 16°C, respectivamente (CICCO, 2004).

O estudo foi conduzido na microbacia hidrográfica experimental B, com uma área de drenagem de 36,7 ha, declividade média de 6,6% no canal e de 25,8% para a microbacia, com predomínio das declividades entre 12° e 45°. O rio principal possui 920 metros, Figura 5 (ARCOVA, 1996).

FIGURA 5 - Carta clinográfica da microbacia hidrográfica experimental B (modificado de ARMANI, 2004).

Na microbacia B, a vertente direita é mais abrupta próxima ao vertedouro, enquanto que a vertente esquerda possui uma forma mais suave. De uma forma geral, as vertentes da margem esquerda são mais longas e menos íngremes do que aquelas da margem direita. A amplitude altimétrica máxima entre o nível de base local (vertedouro – 1025 metros) e o topo mais elevado (1172 metros) é de 147 metros, Figura 6 (ARMANI, 2004).

FIGURA 6 - Carta hipsométrica da microbacia hidrográfica experimental B (modificado de ARMANI, 2004).

Armani (2004) mapeou a vegetação da microbacia B e verificou que não apresenta muitas variações, com predomínio da floresta média e pouco densa e da floresta alta e pouco densa com emergentes (Figura 7).

FIGURA 7 - Carta de vegetação da microbacia hidrográfica experimental B (modificado de ARMANI, 2004).

No Núcleo Cunha a vegetação é do Domínio da Mata Atlântica. A floresta primária da microbacia B foi parcialmente retirada no início da década de 50 e substituída por pastagens, somente sendo preservada nos topos dos morros e em alguns trechos do fundo de vale. Em 1974, o Governo do Estado de São Paulo

desapropriou essa área, denominada de Fazenda São Lourenço, e criou a Reserva Estadual de Cunha e, em 1977, foi incorporada ao Parque Estadual da Serra do Mar. A cobertura atual é de floresta natural secundária em franco processo de recuperação. Entretanto, nessa microbacia, ainda não existe levantamento florístico que permita caracterizar a cobertura vegetal.

Nos topos isolados ocorre uma vegetação de altura média com o dossel fechado, resultando num aspecto denso. A vegetação de porte mais baixo somente está presente próxima ao curso d'água. Nas vertentes mais sombreadas (Sul, Sudeste e Sudoeste), principalmente à margem direita do riacho, predomina uma vegetação com árvores altas e copas espaçadas, com aspecto pouco denso. Próximo ao vertedouro ocorre uma vegetação de porte médio com dossel pouco denso (ARMANI, 2004).

Na microbacia B os controles microclimáticos produziram alterações no ritmo da temperatura e da umidade relativa de diferentes formas e graus de importância, em função do sistema atmosférico atuante. A vegetação foi importante no controle dos valores de umidade relativa e, a água no solo desempenhou papel fundamental na minimização das variações da temperatura e umidade, sendo mais relevante que a declividade e a orientação da vertente (ARMANI, 2004).

4.2 Monitoramento das microbacias

4.2.1 Precipitação

A precipitação foi quantificada através de um pluviômetro, com área de captação de 167,45 cm², localizado próximo ao vertedouro da microbacia hidrográfica do IAG-PEFI.

Na microbacia B-Cunha a precipitação média foi obtida através de quatro equipamentos; um pluviômetro semelhante ao utilizado no IAG-PEFI e um pluviógrafo tipo caçamba com capacidade de 0,5 mm, acoplado ao linígrafo com registros mensais, ambos na estação fluviométrica, e dois pluviógrafos instalados no interior da microbacia operando com cartas de registros trimestrais.

As amostras de água de chuva foram coletadas semanalmente com um equipamento automático tipo *wet-only* da marca MTX – Itália (Figura 8).

FIGURA 8 - Vista do coletor do tipo *wet-only* instalado sobre a caixa d'água no IAG-PEFI.

O equipamento possui dois compartimentos cilíndricos, um para coleta de deposição úmida, água de chuva exclusivamente e, outro para coleta da deposição seca, predominantemente partículas depositadas pela ação gravitacional. Um sensor movido à bateria controla a abertura e fechamento dos compartimentos. Quando não ocorre precipitação a tampa fica sobre um dos recipientes e, no momento que se inicia uma chuva, um circuito se fecha e a tampa se desloca deixando o recipiente coletor de chuvas exposto.

4.2.2 Transprecipitação

A parcela de interceptação foi instalada próxima ao vertedouro da microbacia do IAG-PEFI. O seu ponto central está na altitude de 809 metros e nas coordenadas geográficas 23° 39' 09" S e 46° 37' 28" W. A cobertura vegetal foi classificada como floresta com dossel homogêneo densa, o seu perfil esquemático e a distribuição das copas dos indivíduos estão representados na Figura 9. O período de observações estendeu-se de 02 de junho de 1999 a 17 de dezembro de 2001, com 70 dados semanais.

FIGURA 9 - Perfil esquemático da floresta (acima) e distribuição das copas dos indivíduos (abaixo) com dossel heterogêneo e porte alto na parcela de interceptação do IAG-PEFI (PIVELLO; PECCININI, 2002).

Em Cunha, a área de interceptação situa-se na microbacia experimental B e seu ponto central está na altitude de 1.037 metros, nas coordenadas geográficas 23° 15' 13" S e 45° 02' 04" W. A cobertura vegetal do local foi classificada como floresta de porte médio com dossel pouco denso. As coletas de transprecipitação foram realizadas de 12 de abril de 2000 a 27 de fevereiro de 2004, totalizando 126 dados semanais.

Na quantificação da transprecipitação instalou-se 36 estacas de madeira com

1,5 m de altura e com uma distância de 5 metros entre elas. Nas suas extremidades foram colocados dez recipientes de polietileno com capacidade de 5 litros, e no seu gargalo um funil com 167,45 cm² de área coletora (Figura 10).

FIGURA 10 - Vista da parcela de interceptação com os coletores de transprecipitação na microbacia hidrográfica experimental B-Cunha.

Para maximizar a probabilidade de amostrar a transprecipitação, a cada período de coleta foram sorteados 10 pontos diferentes através da geração de dez números aleatórios de 1 a 36, onde então foram instalados os recipientes. A transprecipitação foi calculada através da média aritmética das quantidades de chuva nos dez coletores.

Quando da ocorrência de chuvas os coletores foram levados para o laboratório para quantificação do volume de água. Em períodos de seca superiores há 15 dias, os mesmos foram trocados por recipientes limpos, a fim de minimizar

acumulação da deposição seca. As coletas de transprecipitação foram realizadas semanalmente.

4.2.3 Fotografia hemisférica do dossel

A fotografia hemisférica do dossel é uma técnica óptica indireta que tem sido amplamente utilizada em estudos da estrutura da copa florestal e da transmissão luminosa. A imagem registra o tamanho, a forma, a dimensão e a localização das aberturas existentes no dossel florestal (FRAZER; CANHAM; LERTZMAN, 1999).

Para melhor compreensão do processo de interceptação das chuvas, as copas das árvores das parcelas do IAG-PEFI e da microbacia B-Cunha foram fotografadas com uma câmera Nikon, modelo F3, equipada com uma lente “olho de peixe” (Fisheye) Nikon 1:2.8 e 8 mm e utilizado filme branco e preto com asa 100 (Figura 11).

FIGURA 11 - Câmera fotográfica instalada sobre tripé e equipada com lente “olho de peixe” na área de interceptação do IAG-PEFI.

A câmera foi colocada sobre um tripé e nivelada com a lente voltada para o zênite. A lente tem um ângulo de visada de 180° e foco no infinito, assim, toda a abóboda celeste e qualquer objeto que obstruir a visão do céu aparecerá na foto. Com o auxílio de um GPS posicionou-se a câmera para o norte geográfico.

4.2.4 Deflúvio

Na microbacia hidrográfica do IAG-PEFI foi construída pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) uma estação fluviométrica para medição da vazão, composta de um vertedouro triangular de parede delgada de 90° e um vertedouro Crump 1:2/1:5 (Figura 12), ambos operam em regime livre, com possibilidade de funcionamento dos dois simultaneamente.

As alturas de lâmina d'água foram obtidas através dos registros em um linígrafo automático do tipo *data-logger* e, posteriormente, convertidas em vazão usando-se duas curvas-chave. Para as menores alturas de lâmina d'água, $0,0 \leq h \leq 0,212$ metros, a curva-chave utilizada no vertedouro triangular foi $Q = 1380 \times h^{2,5}$. Para as cotas variando de $0,212 < h \leq 0,60$ metros no vertedouro Crump empregou-se a curva-chave $Q = 1380 \times h^{2,5} + 7044 \times (h - 0,212)^{1,5}$, onde Q é a vazão em $L.s^{-1}$ e h a altura da lâmina d'água em metros (PEREIRA FILHO et al., 2002).

FIGURA 12 - Vista da estação fluviométrica na microbacia hidrográfica experimental do IAG-PEFI. À direita, o vertedouro triangular 90° e a esquerda, o vertedouro Crump.

A estação fluviométrica da microbacia B é constituída de um tanque de sedimentação, um tanque tranquilizador e um vertedouro triangular de ferro com 90° de abertura (Figura 13). Um linígrafo do tipo flutuador, modelo WR-11Z, da NAKAASA *Instruments Company Ltd.* do Japão, de precisão igual a 0,5 cm, alimentado por um conjunto de baterias de 7,5 Volts, com carta de duração mensal registra continuamente as alturas de lâmina d'água.

A conversão das cotas em descargas foi realizada através da curva-chave $Q = 0,018 \times h^{2,4877}$, onde Q é a vazão em $L.s^{-1}$ e h a altura da lâmina d'água em cm.

FIGURA 13 - Vista da estação fluviométrica com o vertedouro triangular 90° na microbacia experimental B-Cunha. A direita no primeiro plano, um pluviômetro e ao fundo, um pluviógrafo. À esquerda, o abrigo do linígrafo.

Com base nas vazões calculadas pelas curvas-chaves dos vertedouros, determinou-se os deflúvios diários e mensais levando-se em consideração as áreas das duas microbacias.

As coletas de água dos rios foram realizadas semanalmente mergulhando-se

uma garrafa de polietileno de um litro de capacidade no meio do riacho, para se obter um volume completo para enxágue. Em seguida, as garrafas foram completamente cheias para a obtenção das amostras e levadas imediatamente para o laboratório a fim de prepará-las e armazená-las para realização das dosagens de cloreto.

4.3 Preparação das amostras e análises de cloreto

Todas as amostras foram filtradas a vácuo utilizando-se filtros de membrana pré-lavados, com diâmetro de poro de 0,22 µm para obter a fração em solução, além disso, eliminando microorganismos, pois, em geral, eles são maiores do que 0,22 µm. As amostras foram armazenadas em frascos de polietileno de alta densidade e estocadas em geladeira a 4°C até o momento das análises.

A dosagem de cloreto foi efetuada através da técnica de cromatografia a líquido utilizando-se o equipamento Dionex DX-500, com uma coluna separadora AS4A e carbonato/bicarbonato de sódio como eluente, com um detetor eletroquímico.

A precisão e a exatidão das análises químicas dependem da configuração do sistema, da faixa de concentração das amostras e do elemento analisado. Neste estudo, o valor de exatidão foi obtido utilizando-se amostras de referência fornecidas pelo *Environmental Canada*, portanto, as dosagens de cloreto tiveram uma precisão de 3% e uma exatidão de 8%.

As análises químicas foram realizadas no Laboratório do Núcleo de Pesquisas em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NUPEGEL), da Universidade de São Paulo (USP), pela pesquisadora Maria Cristina Forti do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e descritas em Forti (2003).

4.4 Tratamento dos dados

4.4.1 Intercepção das chuvas pela floresta

Na estimativa das perdas por intercepção das chuvas pela floresta empregou-se a equação definida por Helvey e Patric (1965):

$$I = Pt - (Tr + Et) \quad (1)$$

em que I é a intercepção, Pt, a precipitação total, Tr, a transprecipitação e Et, o escoamento pelo tronco.

O processo de escoamento pelo tronco não foi objeto deste estudo, tanto pelas dificuldades de instalação e coleta de dados, como também pelos baixos valores obtidos em outras pesquisas realizadas na Mata Atlântica, variando de 0,2% a 1,7% da precipitação total (CASTRO et al., 1983, CICCIO et al., 1986/88, NALON; VELLARDI, 1992, ARCOVA; CICCIO; ROCHA, 2003, OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2005). Portanto, a intercepção (I) foi obtida a partir da diferença entre a precipitação (Pt) e a transprecipitação (Tr), conforme a equação abaixo:

$$I = Pt - Tr \quad (2)$$

4.4.2 Análise da fotografia hemisférica do dossel

As fotografias hemisféricas do IAG-PEFI e da microbacia B-Cunha foram feitas em 08/12/2008 e 04/12/2008, respectivamente, e analisadas utilizando-se o *software Gap Light Analyser Version 2.0* (GLA). Esse programa permite o processamento da imagem transformando-a em *pixels* com coordenadas angulares, a divisão das intensidades de *pixel* em classes de céu e não céu, bem como o cálculo da distribuição da luminosidade (Figura 14).

FIGURA 14 - Fotos hemisféricas originais (acima) e selecionadas (abaixo) do IAG-PEFI (esquerda) e microbacia B-Cunha (direita).

O início do trabalho se dá com a seleção e a abertura da imagem. Em seguida é realizado seu registro com a identificação da sua orientação (norte geográfico), como também a extensão do círculo de exposição da imagem hemisférica.

Em seguida, são inseridos dados de caracterização da imagem, que incluem a data de obtenção da fotografia, as coordenadas geográficas, a altitude e a correção da declinação magnética do local. Após, foi realizado o processamento da imagem por meio de contraste, onde a área obstruída pelo dossel fica preta e a área de céu aberto fica branca. E por último, o programa calcula a porcentagem de espaços livres no dossel. Outras informações também podem ser obtidas como o índice de área foliar (IAF).

4.4.3 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço hídrico

O cálculo da evapotranspiração real foi realizado segundo a equação hidrológica fundamental (HEWLETT; NUTTER, 1969), que consideram que a microbacia não apresenta vazamentos, isto é, nem entrada nem saída de água através de fluxos laterais. O balanço hídrico pode ser determinado através equação hidrológica fundamental:

$$P = Q + ET \pm \Delta S \quad (3)$$

onde,

P = Precipitação (mm);

Q = Deflúvio (mm);

ET = Evapotranspiração real (mm), e

ΔS = Variação do armazenamento de água no solo (mm).

Como o balanço hídrico considera períodos anuais, a variação de armazenamento de água no solo tende a zero (HEWLETT; NUTTER, 1969). Portanto, o balanço hídrico pode ser obtido pela equação simplificada:

$$ET = P - Q \quad (4)$$

4.4.4 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto

Segundo Claassen e Halm (1996), o método do cloreto para estimativa da evapotranspiração é baseado na hipótese de que o íon é derivado da entrada via precipitação (deposição úmida) e a sua saída através do deflúvio, após um período de integração na microbacia, expresso pela equação 5.

$$M_t = \sum_{n=1}^{n_t} P_n [Cl_p]_n = \int_0^t R [Cl_R] (t) dt \quad (5)$$

onde,

M_t = Entrada total de cloreto na microbacia por unidade de área no tempo t (mol.L^{-2});

P_n = Precipitação total em cada período n (L);

$[Cl_p]$ = Concentração de cloreto em cada período de precipitação n (mol.L^{-1});

t = Período de integração escolhido, onde é assumido que a entrada de cloreto na microbacia seja igual à saída para o período (t), e

$R[Cl_R](t)$ = Produto instantâneo do volume de escoamento total e a concentração de cloreto (mol.t^{-1}).

O método determina que a entrada de água na microbacia seja através da média ponderada do cloreto na precipitação, enquanto que a saída por intermédio da média ponderada do cloreto no deflúvio. Desta forma, podemos reescrever a equação 5:

$$ET = P \times (C_R - C_P) / C_R \quad (6)$$

ET = Evapotranspiração real (mm);

P = Precipitação (mm);

C_R = Média ponderada da concentração de cloreto no deflúvio (mg.m^{-2}), e

C_P = Média ponderada da concentração de cloreto na precipitação (mg.m^{-2}).

4.4.5 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto através do escoamento de base

Claassen e Halm (1996) afirmaram que o deflúvio geralmente reflete uma mistura complexa do escoamento direto, dos interfluxos e das águas subterrâneas. Por sua vez, a concentração de cloreto é um indicativo da combinação de curto prazo entre as variações da química da precipitação e da concentração de cloreto nas águas subterrâneas, que por sua vez tem baixa variação.

A evapotranspiração para longos períodos em microbacia é geralmente desejada pelos hidrólogos preocupados com a gestão de recursos. A obtenção de dados contínuos de entrada e saída de cloreto nas microbacias precisa ser obtida. Apesar da saída ser determinada a partir equação (5), uma estimativa média das condições hidrológicas poderá ser refletida nas concentrações de cloreto no escoamento de base. Portanto, uma amostra deste escoamento é apropriada para representar a evapotranspiração em condições integradas em toda a bacia, por um período de tempo superior a 1 ano (CLAASSEN; HALM, 1996). A equação (5) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$M_t = \int_0^t R [Cl_R] (t) dt \cong (P - ET) [Cl_B] \quad (7)$$

onde, $[Cl_B]$ é a concentração de cloreto no escoamento de base, então:

$$M_t \cong (P - ET) [Cl_B] \quad (8)$$

rearranjando,

$$ET = \frac{P [Cl_B] - M_t}{[Cl_B]} = \frac{P ([Cl_B] - [Cl_P])}{[Cl_B]} \quad (9)$$

Podemos, ainda, de uma forma mais simples reescrever a equação acima para determinação da evapotranspiração, considerando o método do escoamento de base:

$$ET = P \times (C_B - C_P) / C_B \quad (10)$$

ET = Evapotranspiração real (mm);

P = Precipitação (mm);

(C_B) = Média ponderada da concentração de cloreto no escoamento de base em mg.m⁻²;

(C_P) = Média ponderada da concentração de cloreto na precipitação (mg.m⁻²).

Para a determinação da evapotranspiração real através do método do cloreto utilizando o escoamento de base, adotou-se como critério o mês de menor deflúvio.

4.4.6 Análises estatísticas

Os dados foram analisados através do pacote estatístico BioEstat 5.0 desenvolvido por Ayres et al. (2007). Neste estudo foram utilizados os programas de estatística descritiva, testes para identificar a normalidade das variáveis, transformação dos dados em logaritmo na base 10 e análises de regressão e de correlação, descritos abaixo segundo Ayres et al. (2007) e Martins (2008).

A estatística descritiva consiste em organizar, sumarizar e descrever um conjunto de dados. Os seguintes descritores foram selecionados: amplitude (mínima e máxima), média aritmética, variância, desvio padrão, erro padrão e coeficiente de variação.

O requisito de normalidade dos testes estatísticos paramétricos diz respeito à necessidade de distribuição normal para as variáveis utilizadas nesses testes. Para testar a hipótese de normalidade das diferentes variáveis (precipitação, transprecipitação, interceptação, deflúvio, etc.) foram utilizados os testes de D'Agostino-Pearson, para $n \geq 20$ amostras e de Shapiro-Wilk, para $2 < n < 51$ amostras. As variáveis que não apresentaram normalidade foram submetidas a uma transformação de seus dados em logaritmo na base 10.

Para esses testes a hipótese nula deve ser rejeitada quando a probabilidade (valor de p), associada ao desvio em relação à normalidade é menor ou igual a 5% ($p \leq 0,05$). Portanto, as hipóteses são as seguintes:

H_0 : a variável é normalmente distribuída (rejeitada se $p \leq 0,05$).

H_1 : a variável não apresenta distribuição normal.

A análise de regressão tem a finalidade de determinar a dependência de uma variável em relação à variável independente ou preditora. A regressão linear simples é de amplo emprego em pesquisas científicas, na qual procura-se prever o valor de uma variável dependente (y) a partir de uma variável independente (x), pressupondo que a relação entre as duas seja linear. As hipóteses para um nível de significância de 5% são as seguintes:

H_0 : a variável y não difere da variável x ($H_0:\beta=0$)

H_1 : a variável y difere da variável x ($H_1:\beta\neq 0$).

Para o caso não-paramétrico, ou seja, quando a variável não apresenta

distribuição normal, mesmo a transformação logarítmica utiliza-se o coeficiente de correlação de Spearman, que mede a intensidade de correlação entre duas variáveis com níveis de mensuração ordinal, de modo que os dados possam dispor-se por postos em duas séries ordenadas. Os coeficientes (r_s) podem variar de $-1 \leq r_s \leq 1$. Quanto mais próximo de 1 maior a concordância entre as duas classificações. Um valor próximo de -1 significa que são praticamente opostas. Duas classificações não são relacionadas quando r_s é próximo de zero.

Portanto, para aplicar o teste de hipótese para existência de correlação de Spearman para um nível de significância (alfa) igual a 5% adotam-se as seguintes definições:

H_0 : não há correlação ordinal entre as variáveis ($r_s = 0$).

H_1 : há correlação ordinal entre as variáveis ($r_s \neq 0$).

Tanto para a regressão como para a correlação a significância estatística das relações foi avaliada utilizando-se o teste bilateral ou bicaudal. Então, se $t_{cal} > t_{tab} \frac{\alpha}{2}$ ou $t_{cal} < -t_{tab} \frac{\alpha}{2}$, rejeita-se H_0 , com risco alfa, de que haja regressão/correlação entre as variáveis.

Se $-t_{tab} \frac{\alpha}{2} \leq t_{cal} \leq t_{tab} \frac{\alpha}{2}$, não se pode rejeitar a hipótese de que não há regressão/correlação entre as variáveis.

Onde t_{cal} = valor de t calculado e t_{tab} = valor de t tabelado.

5 RESULTADOS

5.1 Intercepção das chuvas no IAG-PEFI

Os períodos de coleta, os dados de precipitação, de transprecipitação e de intercepção na microbacia do IAG-PEFI estão na Tabela 3. O total precipitado foi de 3.449,8 mm, a transprecipitação de 2.705,1 mm e a intercepção das chuvas pela floresta de 744,4 mm.

TABELA 3 - Períodos de coleta, valores da precipitação (Pt), da transprecipitação (Tr) e da intercepção (I) para o IAG-PEFI.

Período	Pt (mm)	Tr (mm)	I (mm)	I (%)
02/06 a 09/06/99	12,3	9,8	2,5	20,7
09/06 a 16/06/99	24,7	23,0	1,7	6,9
16/06 a 23/06/99	55,2	40,9	14,3	25,9
23/06 a 07/07/99	38,2	26,8	11,4	29,9
07/07 a 10/09/99	39,4	39,0	0,4	1,0
10/09 a 17/09/99	23,9	14,2	9,7	40,6
17/09 a 06/10/99	28,6	17,7	10,8	37,9
06/10 a 20/10/99	32,0	20,0	12,0	37,4
20/10 a 12/11/99	14,8	13,1	1,7	11,6
12/11 a 17/11/99	31,6	27,6	4,1	12,9
17/11 a 24/11/99	4,2	2,0	2,2	53,1
24/11 a 08/12/99	23,3	16,3	7,0	29,9
08/12 a 15/12/99	38,0	23,1	14,9	39,1
15/12 a 29/12/99	8,8	7,3	1,4	16,5
29/12 a 12/01/00	195,2	147,1	48,0	24,6
12/01 a 19/01/00	132,0	134,7	-2,7	-2,0
19/01 a 28/01/00	79,4	65,6	13,8	17,4
28/01 a 02/02/00	11,7	9,3	2,4	20,8
02/02 a 09/02/00	37,3	36,6	0,7	1,9
09/02 a 16/02/00	85,7	55,0	30,7	35,8

continua

continuação

Período	Pt (mm)	Tr (mm)	l (mm)	l (%)
16/02 a 23/02/00	68,4	52,2	16,2	23,7
23/02 a 01/03/00	122,2	85,8	36,4	29,8
01/03 a 09/03/00	86,2	65,8	20,4	23,7
09/03 a 22/03/00	40,1	26,8	13,3	33,2
22/03 a 30/03/00	14,4	8,5	6,0	41,3
30/03 a 06/04/00	17,2	12,8	4,4	25,5
06/04 a 21/06/00	18,3	19,5	-1,2	-6,4
21/06 a 19/07/00	26,8	21,0	5,7	21,4
19/07 a 26/07/00	35,3	33,7	1,5	4,3
26/07 a 17/08/00	21,7	13,1	8,7	39,8
17/08 a 30/08/00	63,4	42,4	21,0	33,1
30/08 a 06/09/00	74,2	38,7	35,5	47,8
06/09 a 13/09/00	40,0	17,6	22,4	56,0
13/09 a 20/09/00	44,4	24,0	20,4	46,0
20/09 a 11/10/00	63,4	32,6	30,8	48,6
11/10 a 25/10/00	92,7	75,3	17,4	18,8
08/11 a 16/11/00	75,5	67,2	8,3	10,9
16/11 a 22/11/00	76,4	66,4	10,0	13,0
22/11 a 29/11/00	83,0	68,7	14,4	17,3
29/11 a 06/12/00	42,2	30,2	12,0	28,5
06/12 a 13/12/00	13,3	10,4	2,9	22,1
13/12 a 17/01/01	132,3	147,1	-14,7	-11,1
17/01 a 30/01/01	85,1	80,2	4,9	5,7
30/01 a 08/02/01	76,4	66,9	9,5	12,4
08/02 a 14/02/01	40,0	43,9	-4,0	-10,0
14/02 a 21/02/01	22,0	23,0	-1,0	-4,5
21/02 a 05/03/01	12,5	8,0	4,6	36,4
05/03 a 12/03/01	47,8	37,6	10,1	21,2
12/03 a 19/03/01	18,1	22,7	-4,6	-25,1
19/03 a 26/03/01	61,9	71,1	-9,2	-14,9
26/03 a 02/04/01	56,5	43,5	13,0	23,0
02/04 a 09/04/01	11,4	12,1	-0,8	-6,7

continua

Período	conclusão			
	Pt (mm)	Tr (mm)	I (mm)	I (%)
09/04 a 14/05/01	64,2	66,0	-1,8	-2,9
14/05 a 21/05/01	15,1	10,0	5,1	33,7
21/05 a 28/05/01	12,6	12,2	0,4	3,1
28/05 a 18/06/01	13,2	10,4	2,8	21,2
18/06 a 27/06/01	19,0	11,8	7,2	37,8
27/06 a 18/07/01	6,7	3,8	2,9	43,1
18/07 a 01/08/01	58,1	52,4	5,7	9,9
01/08 a 27/08/01	21,7	13,5	8,2	37,7
27/08 a 17/09/01	37,3	28,5	8,8	23,6
17/09 a 24/09/01	7,9	5,0	2,9	36,8
24/09 a 02/10/01	144,6	107,1	37,5	25,9
02/10 a 09/10/01	33,1	13,2	19,9	60,0
09/10 a 22/10/01	138,3	103,6	34,7	25,1
22/10 a 12/11/01	58,8	31,8	27,0	45,9
12/11 a 20/11/01	22,7	7,2	15,5	68,2
20/11 a 03/12/01	68,6	42,5	26,0	38,0
03/12 a 10/12/01	59,5	43,6	15,9	26,7
10/12 a 17/12/01	69,0	44,6	24,4	35,4
TOTAL	3.449,8	2.705,1	744,4	

A precipitação apresentou uma amplitude de variação de 4,2 mm a 195,2 mm, com média de 49,3 mm. A variância com 1.482,9 mm² e o coeficiente de variação com 78,1% indicando uma elevada dispersão dos dados. O desvio padrão chegou a 38,5 mm e o erro padrão de 4,6 mm.

A transprecipitação ocorreu em todos os eventos, com valores de 2,0 mm a 147,1 mm e média de 38,6 mm. A variância foi de 1.104,2 mm e o coeficiente de variação de 86,0%, indicando uma elevada dispersão dos dados. O desvio padrão alcançou 33,2 mm e o erro padrão 4,0 mm. A transprecipitação foi de 2.705,1 mm, representando 78,4% da precipitação total. A relação entre as duas variáveis está representada na Figura 15.

FIGURA 15 - Relação entre a precipitação (azul) e a transprecipitação (amarelo) no IAG-PEFI.

Através do teste de D'Agostino-Pearson os valores absolutos da precipitação e da transprecipitação não apresentaram normalidade ($p < 0,0001$). Dessa forma, os dados foram transformados para o logaritmo na base 10 visando dar sustentabilidade às análises estatísticas. Os resultados do teste para a precipitação ($p = 0,376$) e para a transprecipitação ($p = 0,483$) aceitaram a hipótese de nulidade (H_0), portanto, as variáveis apresentaram distribuição normal após a transformação.

Constatou-se que o coeficiente de determinação para a regressão linear entre as variáveis transformadas foi de 92,0% (Figura 16). A reta pode ser expressa por: $\text{Log Tr} = -0,199 + 1,045 \times \text{Log Pt}$.

FIGURA 16 - Relação entre os valores transformados da transprecipitação (Tr) e da precipitação (Pt) para o IAG-PEFI.

O valor de t_{cal} foi de 27,972 e o t_{tab} de 1,995 para o nível de significância de 5%, o que resultou em um $p < 0,0001$, indicando que H_0 deve ser rejeitada e concluir que existe dependência entre as variáveis. Uma vez que um alto percentual da transprecipitação foi explicado pela precipitação, o modelo de regressão será útil para mostrar a dinâmica dessas variáveis.

A interceptação das chuvas pela floresta do IAG-PEFI foi de 744,4 mm, correspondendo a 21,6% da precipitação total. A interceptação ocorreu em todos os eventos, com variações de 1,0% a 68,2% e com média de 10,6 mm. Em nove eventos houve interceptação negativa, ou seja, a quantidade de água sob o dossel da floresta suplantou a precipitação total, variando de 2,0% a 25,1%. A variância foi de 142,2 mm² e o coeficiente de variação 112,1%, indicando elevada dispersão dos dados. O desvio padrão alcançou 11,9 mm e o erro padrão de 1,4 mm.

Pelo teste D'Agostino-Pearson os valores absolutos das variáveis precipitação ($p < 0,0001$) e da interceptação ($p < 0,006$) não apresentaram normalidade. Dessa forma, os dados foram transformados para o logaritmo na base 10 visando dar sustentabilidade às análises estatísticas. O resultado do teste para a variável precipitação ($p = 0,376$) indicou normalidade, porém, variável interceptação

transformada não apresentou normalidade ($p < 0,0001$). Portanto, como as duas variáveis conjuntamente não seguiram uma distribuição normal utilizou-se na análise estatística o coeficiente de correlação de Spearman.

O resultado da análise de correlação de Spearman entre os valores absolutos da precipitação e da interceptação apresentou um coeficiente (r_s) igual a 0,545. O t_{cal} foi de 5,359, maior que o t_{tab} de 1,995, desta forma, rejeita-se H_0 ao nível de significância de 5%, indicando que existe uma moderada correlação ordinal positiva entre as variáveis.

As precipitações agrupadas em três classes, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com valores menores do que 5 mm, entre 5 mm e 60 mm e maiores do que 60 mm, a fim de verificar possível relação entre as classes de precipitação com a interceptação estão presentes na Tabela 4.

TABELA 4 - Classes de precipitação, frequência e interceptação para o IAG-PEFI.

Classes de precipitação	Número de eventos	Interceptação (%)
< 5 mm	1	53,1
5 – 60 mm	46	24,5
> 60 mm	23	19,8

Nota-se a ocorrência de apenas um evento menor do que 5 mm, isto pode ser explicado pelo período semanal de coletas e, para esta chuva a interceptação foi elevada. Verificou-se que 65,7% das precipitações ocorreram na classe entre 5 mm e 60 mm e cinco foram os eventos de interceptação negativa. Para a classe maior do que 60 mm quatro registraram interceptação negativa. À medida que as classes de precipitação aumentam, a interceptação diminui.

A fim de verificar a influência da sazonalidade na interceptação, tendo em vista que o processo de repartição das águas pela floresta é fortemente influenciado pelas precipitações, os dados foram agrupados em dois períodos distintos: o chuvoso, de outubro a março, e o seco, de abril a setembro. As interceptações entre os dois períodos foram diferenciadas, com os maiores valores para o período seco, de 29,0% e para o chuvoso de 21,8%.

Na fotografia hemisférica da área de interceptação da microbacia do IAG-PEFI, a lente “olho de peixe” apresentou uma área de visada do céu de 99,9%. A

abertura do dossel da floresta calculada pelo programa foi de 34,2% (Figura 17), ou ainda, as copas das árvores apresentaram um índice de fechamento de 65,8%.

FIGURA 17 - Imagem de 08/12/2008 do IAG-PEFI processada por meio de contraste. A área obstruída pelo dossel (escura) e a área de céu aberto (clara).

5.2 Intercepção das chuvas na microbacia B-Cunha

Os períodos de coleta, os dados de precipitação, de transprecipitação e de intercepção na microbacia B estão na Tabela 5. O total precipitado no período foi de 7.318,2 mm, a transprecipitação de 5.559,5 mm e a intercepção das chuvas pela floresta de 1.758,0 mm.

TABELA 5 - Períodos de coleta, valores da precipitação (Pt), da transprecipitação (Tr) e da intercepção (I) para a microbacia B-Cunha.

Período	Pt (mm)	Tr (mm)	I (mm)	I (%)
12/04 a 05/05/00	22,9	17,9	5,0	21,6
05/05 a 11/05/00	8,1	5,1	3,0	36,6
11/05 a 24/05/00	8,5	6,0	2,5	29,9
24/05 a 05/07/00	30,6	28,9	1,7	5,5
05/07 a 19/07/00	38,0	37,4	0,6	1,6
19/07 a 24/07/00	28,4	22,8	5,8	20,3
24/07 a 09/08/00	22,2	19,8	2,4	11,0
09/08 a 16/08/00	19,2	19,2	0,0	0,2
16/08 a 24/08/00	21,3	19,8	1,4	6,7
24/08 a 30/08/00	31,6	26,2	5,4	16,9
30/08 a 06/09/00	84,3	86,9	-2,6	-3,1
06/09 a 13/09/00	5,7	3,3	2,4	41,4
13/09 a 20/09/00	22,3	21,5	0,7	3,3
20/09 a 27/09/00	27,8	25,3	2,5	9,0
27/09 a 05/10/00	11,6	9,0	2,6	22,2
05/10 a 11/10/00	32,2	27,6	4,6	14,3
11/10 a 25/10/00	33,0	28,4	4,6	14,0
25/10 a 31/10/00	36,4	26,0	10,4	28,5
31/10 a 09/11/00	83,3	73,4	9,9	11,9
09/11 a 16/11/00	33,2	21,5	11,7	35,1
16/11 a 23/11/00	74,0	59,5	14,4	19,5
23/11 a 29/11/00	22,1	10,6	11,4	51,8
29/11 a 06/12/00	88,2	79,7	8,5	9,6
06/12 a 13/12/00	15,1	10,7	4,4	29,0
13/12 a 20/12/00	118,7	129,6	-10,9	-9,2
20/12 a 27/12/00	42,7	31,1	11,6	27,1
27/12 a 03/01/01	54,1	33,7	20,4	37,7
03/01 a 10/01/01	16,1	12,1	3,9	24,6
10/01 a 17/01/01	115,5	103,9	11,6	10,1
17/01 a 24/01/01	28,2	23,0	5,2	18,4

continua

continuação

Período	Pt (mm)	Tr (mm)	l (mm)	l (%)
24/01 a 31/01/01	38,2	39,4	-1,2	-3,2
31/01 a 07/02/01	79,6	64,6	15,1	18,9
07/02 a 14/02/01	54,9	32,9	22,0	40,1
14/02 a 21/02/01	83,4	81,2	2,2	2,6
21/02 a 07/03/01	15,9	4,8	11,1	69,9
07/03 a 14/03/01	77,7	53,9	23,8	30,6
14/03 a 21/03/01	72,2	56,0	16,1	22,4
21/03 a 28/03/01	58,5	52,9	5,6	9,5
28/03 a 04/04/01	39,2	25,6	13,7	34,9
04/04 a 11/04/01	20,6	12,2	8,4	40,9
11/04 a 18/04/01	20,5	9,6	10,9	52,9
18/04 a 09/05/01	16,3	3,8	12,5	76,6
09/05 a 16/05/01	68,6	51,5	17,0	24,8
16/05 a 23/05/01	33,2	17,9	15,3	46,1
23/05 a 31/05/01	29,4	13,1	16,3	55,4
31/05 a 21/06/01	17,3	5,3	12,0	69,1
21/06 a 28/06/01	23,8	9,4	14,4	60,4
28/06 a 26/07/01	54,8	46,4	8,5	15,4
26/07 a 09/08/01	39,5	23,7	15,8	39,9
09/08 a 24/08/01	44,2	28,3	15,9	35,9
24/08 a 05/09/01	49,5	27,1	22,5	45,4
05/09 a 20/09/01	110,8	91,4	19,3	17,4
20/09 a 02/10/01	87,9	71,8	16,1	18,3
02/10 a 10/10/01	25,2	9,8	15,4	61,0
10/10 a 17/10/01	16,7	4,3	12,3	73,9
17/10 a 25/10/01	55,0	38,3	16,7	30,4
25/10 a 07/11/01	28,6	14,8	13,8	48,3
07/11 a 14/11/01	51,6	32,6	19,0	36,8
14/11 a 23/11/01	56,0	39,4	16,6	29,7
23/11 a 06/12/01	70,9	59,3	11,6	16,3
06/12 a 13/12/01	44,2	29,4	14,8	33,6
13/12 a 19/12/01	106,0	79,9	26,2	24,7
19/12 a 27/12/01	54,7	42,4	12,3	22,5
27/12 a 02/01/02	78,7	66,1	12,6	16,0
02/01 a 17/01/02	113,0	85,6	27,4	24,2
17/01 a 23/01/02	61,7	38,6	23,1	37,4
23/01 a 30/01/02	88,1	64,7	23,4	26,5
30/01 a 06/02/02	133,0	113,7	19,3	14,5
14/02 a 21/02/02	73,7	58,9	14,7	20,0
21/02 a 27/02/02	60,2	38,3	21,9	36,4
27/02 a 06/03/02	68,4	55,6	12,8	18,7
06/03 a 20/03/02	59,6	46,3	13,3	22,3
20/03 a 27/03/02	64,5	50,4	14,1	21,9

continua

continuação				
Período	Pt (mm)	Tr (mm)	l (mm)	l (%)
27/03 a 11/04/02	63,2	48,8	14,4	22,8
11/04 a 17/04/02	24,8	11,8	13,1	52,6
17/04 a 02/05/02	48,3	23,2	25,1	51,9
02/05 a 09/05/02	25,8	10,8	14,9	58,0
09/05 a 15/05/02	24,7	12,1	12,6	50,9
15/05 a 23/05/02	68,4	35,4	33,0	48,2
23/05 a 29/05/02	44,4	19,3	25,0	56,4
29/05 a 27/06/02	71,5	34,7	36,8	51,5
27/06 a 19/07/02	42,5	22,9	19,6	46,0
19/07 a 05/08/02	44,1	24,2	19,8	45,0
05/08 a 12/08/02	14,8	3,2	11,6	78,4
12/08 a 04/09/02	38,2	20,1	18,1	47,4
04/09 a 11/09/02	44,2	28,6	15,6	35,3
11/09 a 18/09/02	16,0	2,9	13,1	82,0
18/09 a 26/09/02	54,9	38,7	16,2	29,5
26/09 a 02/10/02	15,8	3,6	12,2	77,1
02/10 a 24/10/02	52,0	26,0	26,0	50,1
24/10 a 13/11/02	180,0	146,2	33,8	18,8
13/11 a 21/11/02	113,9	82,9	30,9	27,2
21/11 a 05/12/02	117,0	85,6	31,4	26,8
05/12 a 11/12/02	235,1	182,4	52,7	22,4
11/12 a 23/12/02	88,8	56,7	32,1	36,1
23/12 a 08/01/03	96,5	46,7	49,8	51,6
08/01 a 16/01/03	76,8	43,5	33,3	43,4
16/01 a 22/01/03	82,7	53,1	29,6	35,8
22/01 a 30/01/03	223,1	169,7	53,4	23,9
30/01 a 05/02/03	22,2	5,7	16,5	74,3
05/02 a 20/02/03	109,8	84,5	25,3	23,0
20/02 a 06/03/03	44,0	32,5	11,5	26,0
06/03 a 12/03/03	24,4	20,4	4,1	16,6
12/03 a 20/03/03	154,9	131,1	23,8	15,4
20/03 a 27/03/03	31,6	33,0	-1,4	-4,6
27/03 a 09/04/03	29,0	16,9	12,1	41,8
09/04 a 14/04/03	7,8	6,5	1,2	15,7
16/04 a 15/05/03	32,5	22,4	10,1	31,0
15/05 a 28/05/03	9,0	7,2	1,8	20,3
28/05 a 01/08/03	46,9	37,4	9,6	20,4
01/08 a 14/08/03	8,9	6,1	2,8	31,5
14/08 a 27/08/03	30,0	27,7	2,3	7,6
27/08 a 03/09/03	36,1	29,5	6,6	18,4
03/09 a 19/09/03	44,3	30,1	14,2	32,1
19/09 a 09/10/03	54,5	60,6	-6,1	-11,1
09/10 a 29/10/03	139,4	147,4	-8,0	-5,7
continua				

Período	Pt (mm)	Tr (mm)	conclusão	
			I (mm)	I (%)
29/10 a 12/11/03	74,3	82,4	-8,1	-10,9
12/11 a 27/11/03	65,0	42,4	22,6	34,8
27/11 a 10/12/03	41,3	26,0	15,3	37,0
10/12 a 22/12/03	73,2	64,7	8,5	11,6
22/12 a 30/12/03	119,7	89,7	30,0	25,0
30/12 a 15/01/04	177,2	148,2	28,9	16,3
15/01 a 05/02/04	119,6	103,9	15,7	13,1
05/02 a 11/02/04	81,7	68,6	13,1	16,1
11/02 a 20/02/04	43,3	26,7	16,5	38,2
20/02 a 27/02/04	169,0	163,7	5,3	3,1
TOTAL	7.318,2	5.559,5	1.758,0	

A precipitação apresentou uma amplitude de variação de 5,7 mm a 235,1 mm, com média de 58,1 mm. A variância foi de 1.873,2 mm² e o coeficiente de variação de 74,5%, indicando uma elevada dispersão dos dados. O desvio padrão alcançou 43,3 mm e o erro padrão 3,9 mm.

A transprecipitação ocorreu em todos os eventos, variando de 2,8 mm a 182,4 mm, com média de 44,1 mm. A variância foi de 1.466,1 mm² e o coeficiente de variação 86,8%, indicando elevada dispersão dos dados. O desvio padrão alcançou 38,3 mm e o erro padrão 3,4 mm. A transprecipitação para o período de estudo foi de 5.559,5 mm, representando 76,0% da precipitação total. A relação entre as duas variáveis está representada na Figura 18.

Através do teste de D'Agostino-Pearson os valores absolutos da precipitação e da transprecipitação não apresentaram normalidade ($p < 0,0001$). Dessa forma, os dados foram transformados para o logaritmo na base 10 visando dar sustentabilidade às análises estatísticas. Os resultados do teste para a precipitação ($p = 0,479$) e para a transprecipitação ($p = 0,180$) aceitaram a hipótese de nulidade (H_0), portanto, as variáveis apresentaram distribuição normal ao nível de significância de 5%.

FIGURA 18 - Relação entre a precipitação (azul) e a transprecipitação (amarelo) na microbacia B-Cunha.

Constatou-se que o coeficiente de determinação para a regressão linear entre as variáveis transformadas foi de 88,6% (Figura 19). A reta pode ser expressa por: $\text{Log Tr} = -0,484 + 1,189 \times \text{Log Pt}$. O valor de t_{cal} foi de 31,126 e o t_{tab} de 1,980 para o nível de significância de 5%, o que resultou em um $p < 0,0001$, indicando que H_0 deve ser rejeitada e concluir que existe dependência entre as variáveis. Uma vez que um alto percentual da transprecipitação foi explicado pela precipitação, o modelo de regressão será útil para mostrar a dinâmica dessas variáveis.

FIGURA 19 - Relação entre o log da transprecipitação (Tr) e o log da precipitação (Pt) para a microbacia B-Cunha.

A interceptação das chuvas pela floresta da microbacia B foi de 1.758,0 mm, correspondendo a 24,0% da precipitação total. A interceptação ocorreu em todos os eventos, com variações de 0,2% a 76,6%. Em sete eventos houve interceptação negativa, ou seja, a quantidade de água sob o dossel suplantou a precipitação total, variando de 3,1% a 11,1%. A média foi de 13,9 mm, a variância de 125,7 mm² e o coeficiente de variação de 80,3%, indicando uma elevada dispersão dos dados. O desvio padrão alcançou 11,2 mm e o erro padrão 1,0 mm.

Pelo teste D'Agostino-Pearson os valores absolutos da precipitação e da interceptação não apresentaram normalidade ($p < 0,0001$). Dessa forma, os dados foram transformados para o logaritmo na base 10. Os resultados do teste para a variável precipitação transformada ($p = 0,479$) indicou normalidade, porém, para a variável interceptação transformada não apresentou normalidade ($p = 0,0001$). Portanto, como as duas variáveis, conjuntamente, não seguiram uma distribuição normal utilizou-se o coeficiente de correlação de Spearman.

O resultado da análise de correlação de Spearman entre os valores absolutos da precipitação e da interceptação apresentou um coeficiente (r_s) igual a 0,524. O t_{cal} foi de 6,857, maior que o t_{tab} de 1,980, dessa forma, rejeita-se H_0 ao nível de

significância de 5%, indicando que existe uma moderada correlação ordinal positiva entre as variáveis.

As precipitações agrupadas em três classes, segundo o INMET, com valores menores do que 5 mm, entre 5 mm e 60 mm e maiores do que 60 mm, a fim de verificar possível relação entre as classes de precipitação total com a interceptação estão presentes na Tabela 6. Não houve evento chuvoso menor do que 5 mm, isto pode ser explicado pelo período semanal de coletas. Verificou-se que 62,7% das chuvas ocorreram na classe de precipitação entre 5 mm e 60 mm. Nesta classe, três foram os eventos de interceptação negativa e, para a classe maior do que 60 mm, quatro registros. A interceptação na microbacia B-Cunha diminui com o aumento das classes de precipitação.

TABELA 6 - Classes de precipitação, frequência e interceptação para a microbacia B-Cunha.

Classes de precipitação	Número de eventos	Interceptação (%)
< 5 mm	0	-
5 – 60 mm	79	34,3
> 60 mm	47	20,9

Para verificar a influência da sazonalidade na interceptação foram selecionados os dados dos períodos: chuvoso, de outubro a março, e seco, de abril a setembro. A interceptação entre os dois períodos foi diferenciada, com os maiores valores no período seco, de 33,9% e para o chuvoso de 25,9%.

Na fotografia hemisférica da área de interceptação da microbacia B, a lente “olho de peixe” mostrou uma área de visada do céu de 99,9%. A abertura do dossel da floresta calculada pelo programa foi de 31,1% (Figura 20), ou ainda, as copas das árvores apresentaram um índice de fechamento de 68,9%.

FIGURA 20 - Imagem de 04/12/2008 da microbacia B-Cunha processada por meio de contraste. A área obstruída pelo dossel (escura) e a área de céu aberto (clara).

5.3 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço hídrico na microbacia do IAG-PEFI

Os resultados mensais da precipitação e do deflúvio do ano hídrico de 2000 estão presentes na Tabela 7 e na Figura 21. A precipitação e o deflúvio totais foram de 1.279,6 mm e 273,4 mm, respectivamente. Os meses de janeiro, fevereiro e março alcançaram os mais elevados totais pluviométricos do ano hídrico, correspondendo a 847,0 mm ou 66,2% da precipitação total. Em contrapartida, abril, maio e junho foram os mais secos. A precipitação mensal apresentou uma amplitude de variação de 8,4 mm a 366,4 mm, com média de 106,6 mm. A variância foi de 13.907,2 mm² e o coeficiente de variação de 110,6%, indicando uma elevada dispersão dos dados. O desvio padrão alcançou 117,9 mm e o erro padrão 34,0 mm.

TABELA 7 - Precipitação e deflúvio mensal para o período de 01 de setembro de 1999 a 31 de agosto de 2000 na microbacia do IAG-PEFI.

Meses	Precipitação (mm)	Deflúvio (mm)
setembro/99	75,3	14,0
outubro/99	51,3	12,8
novembro/99	46,3	14,2
dezembro/99	90,2	13,5
janeiro/00	366,4	35,3
fevereiro/00	317,4	39,2
março/00	163,2	52,8
abril/00	8,4	23,7
maio/00	10,4	19,2
junho/00	20,0	14,8
julho/00	58,3	18,4
agosto/00	72,4	15,5
Total	1279,6	273,4

O deflúvio mensal variou de 12,8 mm a 52,8 mm, com média de 22,8 mm. A variância foi de 164,9 mm² e o coeficiente de variação 56,4%, indicando elevada dispersão dos dados. O desvio padrão foi de 12,8 mm e o erro padrão 3,7 mm. Como consequência das elevadas precipitações entre os meses de janeiro a março, o deflúvio também foi elevado, 127,3 mm ou 46,6% do total anual. Somente nos

meses de abril e maio o deflúvio superou as precipitações.

FIGURA 21 - Precipitação (em azul) e deflúvio (em vermelho) mensal para o ano hídrico de 2000 na microbacia do IAG-PEFI.

Pelo teste de Shapiro-Wilk os valores absolutos da precipitação ($p = 0,009$) e do deflúvio ($p = 0,010$) não apresentaram normalidade. Dessa forma, os dados foram transformados para o logaritmo na base 10. Os resultados do teste para a precipitação ($p = 0,606$) indicou normalidade, porém, para o deflúvio o desvio em relação à normalidade foi significativo ($p = 0,039$). Portanto, como as duas variáveis, conjuntamente, não seguiram uma distribuição normal utilizou-se na análise estatística o coeficiente de correlação de Spearman.

O resultado da análise de correlação de Spearman entre os valores absolutos da precipitação e do deflúvio apresentou um coeficiente (r_s) igual a 0,287. O valor de t_{cal} foi de 0,946, menor que o t_{tab} de 2,228, desta forma, não se pode rejeitar a hipótese H_0 ao nível de significância de 5%, indicando que não há correlação ordinal entre as variáveis.

A evapotranspiração real estimada através da equação (4) para a microbacia hidrográfica do IAG-PEFI foi de 1006,2 mm, ou 78,6% da precipitação total. Em decorrência das elevadas taxas evaporativas, a produção hídrica na área foi

reduzida, com apenas 21,4% de toda a água que chegou através das chuvas contribuindo para o deflúvio anual.

5.4 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço hídrico na microbacia B-Cunha

Os resultados mensais da precipitação e do deflúvio dos anos hídricos de 2001, 2002 e 2003 estão presentes na Tabela 8 e na Figura 22. O ano hídrico de 2001 refere-se ao período de 01 de outubro de 2000 a 30 de setembro de 2001.

TABELA 8 - Precipitação e deflúvio mensal para o período de 01 de outubro de 2000 a 30 de setembro de 2003 na microbacia B-Cunha.

Mês	Precipitação (mm)	Deflúvio (mm)
outubro/00	103,7	65,0
novembro/00	239,4	109,9
dezembro/00	244,1	133,5
janeiro/01	179,5	129,6
fevereiro/01	185,9	109,6
março/01	202,8	96,6
abril/01	36,5	56,9
maio/01	108,2	57,8
junho/01	27,4	38,7
julho/01	71,2	42,1
agosto/01	76,7	36,9
setembro/01	151,5	53,9
Ano Hídrico 2001	1.626,9	930,5
outubro/01	113,8	51,1
novembro/01	157,6	50,4
dezembro/01	229,6	87,3
janeiro/02	240,8	104,1
fevereiro/02	275,8	156,7
março/02	125,6	99,1
abril/02	100,1	66,6
maio/02	140,7	60,2
junho/02	48,5	54,1
julho/02	29,6	43,0
agosto/02	52,3	33,0
setembro/02	97,9	37,2
Ano Hídrico 2002	1.612,3	842,8

continua

Mês	Precipitação (mm)	conclusão
		Deflúvio (mm)
outubro/02	175,3	25,6
novembro/02	202,7	101,1
dezembro/02	344,6	174,2
janeiro/03	365,8	167,8
fevereiro/03	126,3	102,5
março/03	231,3	139,9
abril/03	33,5	63,6
maio/03	40,6	48,8
junho/03	1,5	32,4
julho/03	43,5	31,7
agosto/03	43,4	32,9
setembro/03	92,0	31,6
Ano Hídrico 2003	1.700,5	952,1
Total	4.939,7	2.725,4

A precipitação mensal apresentou uma amplitude de variação de 1,5 mm a 365,8 mm, com média de 137,2 mm. A variância alcançou 8.572,5 mm² e o coeficiente de variação 67,5%, indicando uma elevada dispersão dos dados. O desvio padrão foi de 92,6 mm e o erro padrão 15,4 mm. De outubro a março, a precipitação totalizou 1.248,2 mm de média, o que correspondeu a 75,8% do total médio anual. Em comparação com o período de abril a setembro, a média foi de 398,3 mm, representando 24,2%.

O deflúvio mensal variou de 25,6 mm a 174,2 mm, com média de 75,7 mm, erro padrão de 7,1 mm e desvio padrão de 42,5 mm, representando 4,7% do deflúvio médio para os três anos hídricos. A variância foi de 1.806,5 mm² e o coeficiente de variação de 56,2%, indicando elevada dispersão dos dados. De outubro a março, o total médio foi de 634,5 mm ou 69,9% do deflúvio médio anual, já de abril a setembro, a média chegou a 273,5 mm ou 30,1% do total médio anual. Os deflúvios superaram as precipitações nos meses de abril e junho de 2001, junho e julho de 2002 e de abril a junho de 2003.

FIGURA 22 - Precipitação (em azul) e deflúvio (em vermelho) mensal para os anos hídricos de 2001 a 2003 na microbacia B-Cunha.

Os testes de D'Agostino-Pearson para os valores absolutos da precipitação ($p = 0,124$) e do deflúvio ($p = 0,037$) não apresentaram normalidade. Dessa forma, os dados foram transformados para o logaritmo na base 10. Os resultados do teste para a precipitação o desvio em relação à normalidade foi significativo ($p < 0,0001$), porém, para o deflúvio indicou normalidade ($p = 0,298$). Portanto, como as duas variáveis, conjuntamente, não seguiram uma distribuição normal utilizou-se na análise estatística o coeficiente de correlação de Spearman.

O resultado da análise de correlação de Spearman entre os valores absolutos da precipitação e do deflúvio apresentou um coeficiente (r_s) igual a 0,766. O valor de t_{cal} foi de 6,943, maior que o t_{tab} de 2,032, desta forma, pode-se rejeitar a hipótese H_0 ao nível de significância de 5%, indicando que há correlação ordinal entre as variáveis.

Uma síntese dos processos hidrológicos para os três anos hídricos na microbacia experimental B está na Tabela 9. Os valores das precipitações apresentaram uma amplitude total de 88,2 mm e um desvio padrão de 47,3 mm. O erro padrão foi de 27,3 e o coeficiente de variação de apenas 2,9%.

TABELA 9 - Anos hídricos e os processos hidrológicos, como a precipitação, o deflúvio e a evapotranspiração real na microbacia B-Cunha.

Ano Hídrico	Processo	Total
2001	Precipitação	1.626,9 mm
	Deflúvio	930,5 mm
	Evapotranspiração real	696,4 mm
	Evapotranspiração real	42,8%
2002	Precipitação	1.612,3 mm
	Deflúvio	842,8 mm
	Evapotranspiração real	769,5 mm
	Evapotranspiração real	47,7%
2003	Precipitação	1.700,5 mm
	Deflúvio	952,1 mm
	Evapotranspiração real	748,4 mm
	Evapotranspiração real	44,0%

O deflúvio apresentou uma amplitude total de 109,3 mm e um desvio padrão de 59,8 mm. O erro padrão foi de 34,5 mm e o coeficiente de variação de 6,6%.

A evapotranspiração real para a microbacia B nos três anos hídricos apresentou uma amplitude de 73,1 mm, com desvio padrão de 38,5 mm. O erro padrão foi de 22,2 mm e o coeficiente de variação de 5,2%. A evapotranspiração real média estimada pela equação (4) para a microbacia B foi de 738,1 mm, ou 44,8% da precipitação total média. Em decorrência das reduzidas taxas evaporativas, a produção hídrica na área foi elevada, com 55,2% de toda a água que chegou através das chuvas contribuiu para o deflúvio anual.

5.5 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto na microbacia do IAG-PEFI

Na Tabela 10 são apresentados os períodos de coletas, as precipitações, as concentrações de cloreto na água de chuva ($[Cl^-]_P$) e as precipitações multiplicadas pelas concentrações de cloreto na água de chuva (deposição úmida).

TABELA 10 - Período de coletas, precipitação, concentração de cloreto na água de chuva e a deposição úmida. Ano hídrico de 2000 na microbacia do IAG-PEFI.

Períodos		Precipitação (mm)	$[Cl^-]_P$ (mg.L ⁻¹)	Deposição úmida (mg.m ⁻²)
01/09/99	10/09/99	17,1	0,35	5,99
10/09/99	17/09/99	23,9	0,37	8,84
17/09/99	06/10/99	28,6	4,87	139,28
06/10/99	20/10/99	32,0	0,72	23,04
20/10/99	12/11/99	14,8	0,78	11,54
12/11/99	17/11/99	31,6	0,43	13,59
17/11/99	24/11/99	4,2	3,88	16,30
24/11/99	08/12/99	23,3	0,57	13,28
08/12/99	15/12/99	38,0	0,19	7,22
15/12/99	29/12/99	8,8	3,47	30,54
29/12/99	12/01/00	195,2	0,24	46,85
12/01/00	19/01/00	132,0	0,06	7,92
19/01/00	28/01/00	79,4	0,29	23,03
28/01/00	02/02/00	11,7	0,32	3,74
02/02/00	09/02/00	37,3	0,14	5,22
09/02/00	16/02/00	85,7	0,32	27,42
16/02/00	23/02/00	68,4	0,43	29,41
23/02/00	01/03/00	122,2	0,41	50,10
01/03/00	09/03/00	86,2	0,58	50,00
09/03/00	22/03/00	40,1	0,39	15,64
22/03/00	30/03/00	14,4	0,35	5,04
30/03/00	06/04/00	17,2	0,90	15,48
06/04/00	21/06/00	18,3	0,39	7,14
05/07/00	19/07/00	26,8	0,80	21,44
19/07/00	26/07/00	35,3	1,00	35,30
26/07/00	17/08/00	21,7	2,34	50,78
17/08/00	31/08/00	65,4	0,95	62,13
Total		1.279,6		726,25

A precipitação total foi de 1279,6 mm e para os períodos de coleta variou de 4,2 mm a 195,2 mm, com média de 47,4 mm. A variância foi de 2.009,9 mm² e o coeficiente de variação 94,6%, indicando uma elevada dispersão dos dados. O desvio padrão alcançou 44,8 mm e o erro padrão 8,6 mm. Já a concentração de cloreto na água de chuva oscilou de 0,06 mg.L⁻¹ a 4,87 mg.L⁻¹, com média de 0,95 mg.L⁻¹. A variância foi de 1,49 (mg.L⁻¹)² e o coeficiente de variação 129,1%, indicando elevada dispersão dos dados. O desvio padrão chegou a 1,22 mg.L⁻¹ e o erro padrão a 0,23 mg.L⁻¹ (Figura 23).

FIGURA 23 - Relação entre a precipitação (azul) e a concentração de cloreto na água de chuva (verde) no IAG-PEFI.

Através do teste de D'Agostino-Pearson os valores da precipitação e da concentração de cloreto na chuva não apresentaram normalidade ($p < 0,0001$). Dessa forma, os dados foram transformados em logaritmo na base 10. A grande maioria dos dados apresentou sinal negativo e o menor valor foi de -1,222 mg.L⁻¹, então somou-se a constante 2,222 para que todos os dados fossem ≥ 1 . Os resultados do teste para a precipitação ($p = 0,962$) e para a concentração de cloreto na chuva ($p = 0,278$) aceitaram a hipótese nula (H_0), portanto, as variáveis transformadas apresentaram distribuição normal ao nível de significância de 5%.

Constatou-se que o coeficiente de determinação para a regressão linear foi de 29,9% (Figura 24). A reta pode ser expressa por: $\text{Log} ([\text{Cl}^-]_p + 2,222) = -0,614 \times \text{Log Pt} + 2,895$. O valor de t_{cal} foi de -3,264 e o t_{tab} de 2,059 para o nível de significância de 5%, o que resultou em um $p = 0,003$, indicando que H_0 deve ser rejeitada e concluir que existe dependência entre as variáveis.

FIGURA 24 - Relação entre o log da precipitação e o log da concentração de cloreto na água de chuva na microbacia do IAG-PEFI.

Os períodos das coletas, os deflúvios, as concentrações de cloreto na água do rio $[\text{Cl}^-]_R$ e os deflúvios multiplicados pelas concentrações de cloreto $[\text{Cl}^-]_R$ estão presentes na Tabela 11 e Figura 25. O deflúvio total alcançou 273,5 mm e a variação foi de 0,5 mm a 19,6 mm, com média de 5,7 mm, desvio padrão de 4,3 mm e erro padrão de 0,6 mm. A variância foi de 18,9 mm^2 e o coeficiente de variação 76,4%, indicando uma elevada dispersão dos dados. Já a concentração de cloreto na água do deflúvio oscilou de 1,93 mg.L^{-1} a 11,27 mg.L^{-1} , com média de 2,68 mg.L^{-1} , desvio padrão de 1,33 mg.L^{-1} e erro padrão de 0,19 mg.L^{-1} . A variância foi de 1,77 $(\text{mg.L}^{-1})^2$ e o coeficiente de variação de 49,6%.

TABELA 11 – Períodos de coletas, deflúvios, concentrações de cloreto na água do rio e os deflúvios multiplicados pelas concentrações de cloreto. Ano hídrico de 01 de setembro de 1999 a 31 de agosto de 2000, na microbacia do IAG-PEFI.

Períodos		Deflúvio (mm)	$[Cl^-]_R$ (mg.L ⁻¹)	Def x $[Cl^-]_R$ (mg.m ⁻²)
01/09/99	02/09/99	0,5	1,99	1,00
02/09/99	08/09/99	2,0	2,01	4,02
08/09/99	15/09/99	4,2	2,53	10,63
15/09/99	22/09/99	3,5	1,98	6,93
22/09/99	29/09/99	2,9	1,93	5,60
29/09/99	06/10/99	3,2	2,41	7,71
06/10/99	13/10/99	2,9	2,37	6,87
13/10/99	20/10/99	2,9	2,53	7,34
20/10/99	03/11/99	5,9	2,18	12,86
03/11/99	10/11/99	2,7	3,69	9,96
10/11/99	12/11/99	0,8	2,48	1,98
12/11/99	17/11/99	2,8	2,41	6,75
17/11/99	24/11/99	3,4	2,31	7,85
24/11/99	01/12/99	3,3	2,13	7,03
01/12/99	08/12/99	3,2	2,77	8,86
08/12/99	15/12/99	2,8	3,28	9,18
15/12/99	22/12/99	2,6	2,40	6,24
22/12/99	29/12/99	3,3	2,39	7,89
29/12/99	12/01/00	10,3	2,45	25,24
12/01/00	19/01/00	14,8	2,45	36,26
19/01/00	28/01/00	8,4	2,58	21,67
28/01/00	02/02/00	4,2	2,51	10,54
02/02/00	09/02/00	5,7	2,34	13,34
09/02/00	16/02/00	9,6	2,60	24,96
16/02/00	23/02/00	10,9	2,70	29,43
23/02/00	01/03/00	13,5	2,79	37,67
01/03/00	09/03/00	19,6	2,96	58,02
09/03/00	15/03/00	10,3	2,49	25,65
15/03/00	22/03/00	9,7	2,54	24,64

continua

		conclusão		
Períodos		Deflúvio (mm)	$[Cl^-]_R$ (mg.L ⁻¹)	Def x $[Cl^-]_R$ (mg.m ⁻²)
22/03/00	30/03/00	9,1	2,57	23,39
30/03/00	06/04/00	7,6	2,40	18,24
06/04/00	26/04/00	15,5	2,34	36,27
26/04/00	17/05/00	14,1	2,25	31,73
17/05/00	25/05/00	4,3	2,24	9,63
25/05/00	31/05/00	3,2	2,21	7,07
31/05/00	07/06/00	3,7	2,18	8,07
07/06/00	14/06/00	3,7	2,12	7,84
14/06/00	21/06/00	3,1	3,95	12,25
21/06/00	28/06/00	3,8	2,14	8,13
28/06/00	05/07/00	2,6	2,03	5,28
05/07/00	12/07/00	2,5	11,27	28,18
12/07/00	19/07/00	3,2	2,46	7,87
19/07/00	26/07/00	9,0	2,79	25,11
26/07/00	02/08/00	2,6	2,27	5,90
02/08/00	09/08/00	2,6	2,85	7,41
09/08/00	17/08/00	3,7	3,14	11,62
17/08/00	23/08/00	2,2	2,37	5,21
23/08/00	31/08/00	6,5	2,98	19,37
Total		273,5		714,67

O deflúvio multiplicado pela concentração de cloreto na água do deflúvio oscilou de 1,00 mg.m⁻² a 58,02 mg.m⁻², com média de 14,92 mg.m⁻², desvio padrão de 11,77 mg.m⁻² e erro padrão de 1,70 mg.m⁻². A variância foi de 138,56 (mg.m⁻²)² e o coeficiente de variação de 78,9%, indicando elevada dispersão dos dados.

FIGURA 25 - Relação entre o deflúvio (azul) e a concentração de cloreto na água do rio (verde) no IAG-PEFI.

Através do teste de D'Agostino-Pearson os valores absolutos do deflúvio e da concentração de cloreto na água do rio não apresentaram normalidade ($p < 0,0001$). Dessa forma, os dados foram transformados para o logaritmo na base 10. O resultado do teste para o deflúvio ($p = 0,445$) indicou normalidade, porém, para a concentração de cloreto na água do rio o desvio em relação à normalidade foi significativo ($p < 0,0001$). Portanto, como as duas variáveis, conjuntamente, não seguiram uma distribuição normal utilizou-se na análise estatística o coeficiente de correlação de Spearman.

O resultado da análise de correlação de Spearman entre os valores absolutos do deflúvio e da concentração de cloreto na água do rio apresentou um coeficiente (r_s) igual a 0,1742. O valor de t_{cal} foi de 1,200, menor que o t_{tab} de 2,011, desta forma, não se pode rejeitar a hipótese H_0 ao nível de significância de 5%, indicando que não há correlação ordinal entre as variáveis.

Para o período de 01 de setembro de 1999 a 31 de agosto de 2000, o fluxo total de cloreto via precipitação (deposição úmida) na microbacia do IAG-PEFI foi de 726,25 mg.m^{-2} ou 7,26 kg.ha^{-1} , enquanto que o fluxo total anual através do deflúvio alcançou 714,67 mg.m^{-2} ou 7,15 kg.ha^{-1} . Portanto, o balanço apresentou uma

diferença de apenas $0,11 \text{ kg.ha}^{-1}$ ou 1,5%, com isso o método do cloreto foi aplicado.

Para a determinação da evapotranspiração real pelo método do cloreto empregou-se a equação (6). A entrada de água na microbacia foi quantificada através da média ponderada do cloreto na precipitação (C_P), que foi de $0,57 \text{ mg.m}^{-2}$, enquanto que a saída por intermédio da média ponderada do cloreto no deflúvio (C_R) alcançou $2,61 \text{ mg.m}^{-2}$. A evapotranspiração real na microbacia do IAG-PEFI foi de 1000,1 mm, o que equivale a 78,2% da precipitação total.

5.6 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto na microbacia B-Cunha

Para a realização do balanço de cloreto, três foram os anos hídricos estudados; de 01 de outubro de 2000 a 30 de setembro de 2001 (Ano hídrico 2001), de 01 de outubro de 2001 a 30 de setembro de 2002 (Ano hídrico 2002) e de 01 de outubro de 2002 a 30 de setembro de 2003 (Ano hídrico 2003). Na Tabela 12 estão os períodos de coletas, a precipitação, a concentração de cloreto na precipitação $[Cl^-]_P$ e as precipitações multiplicadas pelas concentrações de cloreto na água de chuva (deposição úmida).

TABELA 12 - Período das coletas, precipitação, concentração de cloreto na água de chuva e a deposição úmida. Anos hídricos de 2001, 2002 e 2003 na microbacia B-Cunha.

Períodos		Precipitação (mm)	$[Cl^-]_P$ (mg.L ⁻¹)	Deposição úmida (mg.m ⁻²)
01/10/00	05/10/00	9,0	0,51	4,59
05/10/00	11/10/00	28,3	0,18	5,09
11/10/00	25/10/00	29,8	0,52	15,50
25/10/00	31/10/00	36,6	0,08	2,93
31/10/00	09/11/00	79,8	0,52	41,50
09/11/00	16/11/00	29,0	0,27	7,83
16/11/00	23/11/00	72,4	0,27	19,55
23/11/00	29/11/00	17,1	0,32	5,47
29/11/00	06/12/00	76,4	0,33	25,21
06/12/00	13/12/00	13,5	0,60	8,10
13/12/00	20/12/00	117,7	0,35	41,20
20/12/00	27/12/00	38,4	0,27	10,37
27/12/00	03/01/01	48,0	0,52	24,96
03/01/01	10/01/01	14,4	0,63	9,07
10/01/01	17/01/01	93,2	0,22	20,50
17/01/01	24/01/01	24,9	0,46	11,45
24/01/01	31/01/01	37,1	0,26	9,65

continua

		continuação		
Períodos		Precipitação (mm)	[Cl] _P (mg.L ⁻¹)	Deposição úmida (mg.m ⁻²)
31/01/01	07/02/01	73,9	0,29	21,43
07/02/01	14/02/01	40,0	0,52	20,80
14/02/01	21/02/01	73,0	0,18	13,14
21/02/01	07/03/01	6,8	0,76	5,17
07/03/01	14/03/01	62,9	0,26	16,35
14/03/01	21/03/01	57,2	0,26	14,87
21/03/01	28/03/01	54,3	0,32	17,38
28/03/01	04/04/01	31,4	0,39	12,25
04/04/01	11/04/01	13,2	0,35	4,62
11/04/01	18/04/01	13,3	1,98	26,33
18/04/01	09/05/01	6,1	2,12	12,93
09/05/01	16/05/01	60,6	0,36	21,82
16/05/01	23/05/01	22,3	0,49	10,93
23/05/01	31/05/01	19,2	0,53	10,18
31/05/01	21/06/01	9,8	0,35	3,43
21/06/01	28/06/01	16,1	0,32	5,15
28/06/01	26/07/01	46,2	0,65	30,03
26/07/01	09/08/01	32,1	0,72	23,11
09/08/01	24/08/01	34,6	0,41	14,19
24/08/01	05/09/01	38,4	1,20	46,08
05/09/01	20/09/01	107,6	1,45	156,02
20/09/01	30/09/01	42,0	0,23	9,66
Ano Hídrico 2001		1.626,9	20,46	758,83
01/10/01	02/10/01	44,0	0,23	10,12
02/10/01	10/10/01	16,1	0,37	5,96
10/10/01	17/10/01	8,2	0,19	1,56
17/10/01	25/10/01	45,5	0,49	22,30
25/10/01	07/11/01	19,9	0,15	2,99
07/11/01	14/11/01	39,4	0,41	16,15
14/11/01	23/11/01	43,3	0,15	6,50
23/11/01	06/12/01	62,9	0,13	8,18

continua

		continuação		
Períodos		Precipitação (mm)	[Cl ⁻] _P (mg.L ⁻¹)	Deposição úmida (mg.m ⁻²)
06/12/01	13/12/01	30,9	0,18	5,56
13/12/01	19/12/01	87,3	0,09	7,86
19/12/01	27/12/01	47,4	0,63	29,86
27/12/01	02/01/02	63,8	0,08	5,10
02/01/02	17/01/02	106,5	0,39	41,54
17/01/02	23/01/02	48,0	0,42	20,16
23/01/02	30/01/02	73,5	0,11	8,09
30/01/02	06/02/02	115,5	0,21	24,26
06/02/02	14/02/02	28,6	0,23	6,58
14/02/02	21/02/02	62,9	0,68	42,77
21/02/02	27/02/02	50,8	0,80	40,64
27/02/02	06/03/02	54,0	0,18	9,72
06/03/02	20/03/02	41,8	0,16	6,69
20/03/02	27/03/02	51,9	0,61	31,66
27/03/02	11/04/02	49,0	0,28	13,72
11/04/02	17/04/02	17,2	0,71	12,21
17/04/02	02/05/02	34,8	0,76	26,45
02/05/02	09/05/02	17,8	0,21	3,74
09/05/02	15/05/02	16,1	0,25	4,03
15/05/02	23/05/02	64,7	1,68	108,70
23/05/02	29/05/02	31,6	3,77	119,13
29/05/02	27/06/02	57,5	0,21	12,08
27/06/02	19/07/02	30,6	0,40	12,24
19/07/02	05/08/02	31,1	0,37	11,51
05/08/02	12/08/02	6,8	0,49	3,33
12/08/02	04/09/02	26,0	0,63	16,38
04/09/02	11/09/02	33,8	0,40	13,52
11/09/02	18/09/02	6,9	0,49	3,38
18/09/02	26/09/02	45,5	0,62	28,21
26/09/02	30/09/02	0,6	0,49	0,29
Ano Hídrico 2002		1.612,3	18,67	743,13
01/10/02	02/10/02	7,75	0,49	3,80

continua

		conclusão		
Períodos		Precipitação (mm)	[Cl ⁻] _P (mg.L ⁻¹)	Deposição úmida (mg.m ⁻²)
02/10/02	24/10/02	46,0	0,75	34,50
24/10/02	13/11/02	154,9	0,23	35,63
13/11/02	21/11/02	90,8	0,52	47,22
21/11/02	05/12/02	96,8	0,20	19,36
05/12/02	11/12/02	203,4	0,18	36,61
11/12/02	23/12/02	75,6	0,69	52,16
23/12/02	08/01/03	76,7	0,19	14,57
08/01/03	16/01/03	64,9	0,12	7,79
16/01/03	22/01/03	73,6	0,17	12,51
22/01/03	30/01/03	192,8	0,26	50,13
30/01/03	05/02/03	15,6	0,24	3,74
05/02/03	20/02/03	107,9	0,59	63,66
20/02/03	06/03/03	35,7	1,89	67,47
06/03/03	12/03/03	19,7	0,28	5,52
12/03/03	20/03/03	148,7	0,63	93,68
20/03/03	27/03/03	35,4	0,37	13,10
27/03/03	09/04/03	26,9	0,51	13,72
09/04/03	14/04/03	6,1	0,59	3,60
16/04/03	15/05/03	31,8	0,59	18,76
15/05/03	28/05/03	8,5	1,40	11,90
28/05/03	01/08/03	46,5	1,99	92,54
01/08/03	14/08/03	9,2	0,59	5,43
14/08/03	27/08/03	30,7	0,40	12,28
27/08/03	03/09/03	34,8	0,29	10,09
03/09/03	19/09/03	44,4	0,39	17,32
19/09/03	30/09/03	15,3	1,35	20,66
Ano Hídrico 2003		1.700,5	15,89	767,74
MÉDIA		1.646,6		756,57

A precipitação média para os três anos hídricos foi de 1.646,6 mm e com variação de 0,6 mm a 203,4 mm. A média alcançou 47,5 mm, o desvio padrão de 37,6 mm e o erro padrão de 3,7 mm. A variância foi de 1.415,0 mm² e o coeficiente

de variação 79,2%, indicando elevada dispersão dos dados. Já a concentração de cloreto na água de chuva oscilou de $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$ a $3,77 \text{ mg.L}^{-1}$, com média de $0,53 \text{ mg.L}^{-1}$, desvio padrão de $0,52 \text{ mg.L}^{-1}$ e erro padrão de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$. A variância foi de $0,28 (\text{mg.L}^{-1})^2$ e o coeficiente de variação de 99,3%, indicando elevada dispersão dos dados (Figura 26).

FIGURA 26 - Relação entre a precipitação (azul) e a concentração de cloreto na água de chuva (verde) na microbacia B-Cunha.

A deposição úmida oscilou de $0,29 \text{ mg.m}^{-2}$ a $156,02 \text{ mg.m}^{-2}$, com média de $21,82 \text{ mg.m}^{-2}$, desvio padrão de $25,49 \text{ mg.m}^{-2}$, erro padrão de $2,50 \text{ mg.m}^{-2}$. A variância foi de $649,80 (\text{mg.m}^{-2})^2$ e o coeficiente de variação de 116,8%, indicando elevada dispersão dos dados.

Os valores absolutos da precipitação e da concentração de cloreto na água da chuva não apresentaram distribuição normal pelo teste D'Agostino-Pearson ($p < 0,0001$). Os valores transformados da precipitação não apresentaram normalidade ($p < 0,0001$), porém, para os da concentração de cloreto na água da chuva o desvio em relação à normalidade não foi significativo ($p = 0,134$). Portanto, como as duas variáveis, conjuntamente, não seguiram uma distribuição normal utilizou-se na análise estatística o coeficiente de correlação de Spearman.

O resultado da correlação de Spearman entre os valores absolutos da precipitação e da concentração de cloreto na água de chuva apresentou um coeficiente (r_s) igual a -0,265. O t_{cal} foi de -2,776, maior, em módulo, do que o t_{tab} de 1,984, desta forma, pode-se rejeitar a hipótese H_0 ao nível de significância de 5%, indicando que há correlação ordinal entre as variáveis.

Na Tabela 13 estão os períodos de coletas, o deflúvio, a concentração de cloreto na água do deflúvio $[Cl^-]_R$ e o deflúvio multiplicado pela concentração de cloreto $[Cl^-]_R$ para os anos hídricos de 2001 a 2003.

TABELA 13 - Período das coletas, deflúvio, concentração de cloreto na água do rio e o deflúvio multiplicado pela concentração de cloreto nas águas do deflúvio na microbacia B-Cunha.

Períodos		Deflúvio (mm)	$[Cl^-]_R$ (mg.L ⁻¹)	Def x $[Cl^-]_R$ (mg.m ⁻²)
01/10/00	05/10/00	8,6	1,04	8,94
05/10/00	11/10/00	14,1	1,20	16,92
11/10/00	18/10/00	12,1	0,94	11,37
18/10/00	25/10/00	14,6	1,10	16,06
25/10/00	31/10/00	14,7	1,12	16,46
31/10/00	09/11/00	34,4	1,20	41,28
09/11/00	16/11/00	19,0	1,16	22,04
16/11/00	23/11/00	32,7	1,01	33,03
23/11/00	29/11/00	14,9	1,50	22,35
29/11/00	06/12/00	34,0	1,03	35,02
06/12/00	13/12/00	18,1	0,99	17,92
13/12/00	20/12/00	48,3	1,01	48,78
20/12/00	27/12/00	25,7	0,86	22,10
27/12/00	03/01/01	27,9	1,09	30,41
03/01/01	10/01/01	20,4	1,03	21,01
10/01/01	17/01/01	55,4	1,35	74,79
17/01/01	24/01/01	19,9	1,10	21,89
24/01/01	31/01/01	21,9	0,93	20,37
31/01/01	07/02/01	29,5	0,96	28,32

continua

		continuação		
Períodos		Deflúvio (mm)	$[Cl^-]_R$ (mg.L ⁻¹)	Def x $[Cl^-]_R$ (mg.m ⁻²)
07/02/01	14/02/01	24,6	0,96	23,62
14/02/01	21/02/01	39,1	0,98	38,32
21/02/01	07/03/01	30,4	1,05	31,92
07/03/01	14/03/01	23,9	0,88	21,03
14/03/01	21/03/01	22,3	1,06	23,64
21/03/01	28/03/01	22,7	1,05	23,84
28/03/01	04/04/01	23,0	1,00	23,00
04/04/01	11/04/01	15,4	0,91	14,01
11/04/01	18/04/01	14,2	0,94	13,35
18/04/01	25/04/01	11,2	0,93	10,42
25/04/01	02/05/01	10,2	0,97	9,89
02/05/01	09/05/01	9,9	2,02	20,00
09/05/01	16/05/01	17,9	1,38	24,70
16/05/01	23/05/01	13,8	0,94	12,97
23/05/01	31/05/01	13,2	0,96	12,67
31/05/01	06/06/01	8,3	0,88	7,30
06/06/01	13/06/01	9,1	0,91	8,28
13/06/01	21/06/01	10,1	0,10	1,01
21/06/01	28/06/01	9,1	1,25	11,38
28/06/01	03/07/01	5,7	0,82	4,67
03/07/01	11/07/01	8,5	1,02	8,67
11/07/01	26/07/01	20,3	1,46	29,64
26/07/01	09/08/01	19,5	1,03	20,09
09/08/01	24/08/01	16,5	0,21	3,47
24/08/01	05/09/01	15,5	0,98	15,19
05/09/01	20/09/01	34,3	1,07	36,70
20/09/01	30/09/01	15,5	1,45	22,48
Ano Hídrico	2001	930,5	47,84	981,32
01/10/01	02/10/01	9,4	1,45	13,63
02/10/01	10/10/01	13,6	1,22	16,59
10/10/01	17/10/01	8,2	1,16	9,51
17/10/01	25/10/01	13,0	0,67	8,71

continua

		continuação		
Períodos		Deflúvio (mm)	$[Cl^-]_R$ (mg.L ⁻¹)	Def x $[Cl^-]_R$ (mg.m ⁻²)
25/10/01	07/11/01	14,5	0,61	8,85
07/11/01	14/11/01	10,2	0,61	6,22
14/11/01	23/11/01	15,8	0,60	9,48
23/11/01	28/11/01	5,1	0,56	2,86
28/11/01	06/12/01	17,9	0,51	9,13
06/12/01	13/12/01	9,7	0,60	5,82
13/12/01	19/12/01	31,5	0,61	19,22
19/12/01	27/12/01	17,8	0,67	11,93
27/12/01	02/01/02	25,4	0,62	15,75
02/01/02	17/01/02	43,4	0,71	30,81
17/01/02	23/01/02	20,3	0,62	12,59
23/01/02	30/01/02	32,8	0,62	20,34
30/01/02	06/02/02	64,7	0,73	47,23
06/02/02	14/02/02	28,2	0,76	21,43
14/02/02	21/02/02	31,1	0,86	26,75
21/02/02	27/02/02	27,1	0,69	18,70
27/02/02	06/03/02	35,4	0,69	24,43
06/03/02	13/03/02	18,2	0,72	13,10
13/03/02	20/03/02	21,7	0,77	16,71
20/03/02	27/03/02	24,4	0,76	18,54
27/03/02	03/04/02	14,5	0,79	11,46
03/04/02	11/04/02	24,1	1,45	34,95
11/04/02	17/04/02	12,9	0,75	9,68
17/04/02	02/05/02	27,3	0,97	26,48
02/05/02	09/05/02	13,9	0,80	11,12
09/05/02	15/05/02	11,2	0,77	8,62
15/05/02	23/05/02	12,7	1,85	23,50
23/05/02	29/05/02	16,1	0,77	12,40
29/05/02	05/06/02	11,0	0,78	8,58
05/06/02	19/06/02	22,2	0,63	13,99
19/06/02	27/06/02	19,6	0,88	17,25
27/06/02	05/07/02	11,9	0,67	7,97
continua				

		continuação		
Períodos		Deflúvio (mm)	[Cl] _R (mg.L ⁻¹)	Def x [Cl] _R (mg.m ⁻²)
05/07/02	19/07/02	22,3	0,70	15,61
19/07/02	30/07/02	12,7	2,63	33,40
30/07/02	05/08/02	9,1	0,84	7,64
05/08/02	12/08/02	7,6	0,82	6,23
12/08/02	19/08/02	6,9	0,75	5,18
19/08/02	04/09/02	15,6	0,84	13,10
04/09/02	11/09/02	9,8	0,73	7,15
11/09/02	18/09/02	6,7	0,65	4,36
18/09/02	26/09/02	11,9	0,78	9,28
26/09/02	30/09/02	4,3	0,86	3,70
Ano Hídrico	2002	842,8	38,58	679,95
01/10/02	02/10/02	1,2	0,86	1,03
02/10/02	11/10/02	6,3	0,61	3,84
11/10/02	24/10/02	10,6	0,32	3,39
24/10/02	13/11/02	42,1	0,35	14,74
13/11/02	21/11/02	32,3	0,67	21,64
21/11/02	05/12/02	41,4	0,65	26,91
05/12/02	11/12/02	92,1	0,66	60,79
11/12/02	23/12/02	46,9	0,65	30,49
23/12/02	08/01/03	46,0	0,64	29,44
08/01/03	16/01/03	23,7	0,78	18,49
16/01/03	22/01/03	26,0	0,66	17,16
22/01/03	30/01/03	91,3	0,60	54,78
30/01/03	05/02/03	26,8	0,77	20,64
05/02/03	20/02/03	58,9	0,64	37,70
20/02/03	27/02/03	21,8	2,31	50,36
27/02/03	06/03/03	17,5	1,19	20,83
06/03/03	12/03/03	15,3	0,78	11,93
12/03/03	20/03/03	69,9	0,82	57,32
20/03/03	27/03/03	26,9	0,54	14,53
27/03/03	03/04/03	19,0	0,10	1,90
03/04/03	09/04/03	16,3	0,66	10,76
continua				

		conclusão		
Períodos		Deflúvio (mm)	$[Cl^-]_R$ (mg.L ⁻¹)	Def x $[Cl^-]_R$ (mg.m ⁻²)
09/04/03	16/04/03	15,2	1,19	18,09
16/04/03	23/04/03	13,3	0,71	9,44
23/04/03	30/04/03	11,9	0,86	10,23
30/04/03	07/05/03	13,4	0,65	8,71
07/05/03	15/05/03	13,4	1,28	17,15
15/05/03	21/05/03	8,5	0,82	6,97
21/05/03	28/05/03	9,6	0,96	9,22
28/05/03	05/06/03	10,0	1,06	10,60
05/06/03	11/06/03	7,4	0,82	6,07
11/06/03	18/06/03	7,3	0,86	6,28
18/06/03	26/06/03	7,9	0,68	5,37
26/06/03	02/07/03	5,7	0,69	3,93
02/07/03	07/07/03	4,4	0,69	3,04
07/07/03	16/07/03	11,7	0,78	9,13
16/07/03	23/07/03	6,4	0,76	4,86
23/07/03	31/07/03	7,4	0,88	6,51
31/07/03	06/08/03	5,0	2,30	11,50
06/08/03	14/08/03	6,9	1,22	8,42
14/08/03	27/08/03	12,7	0,86	10,92
27/08/03	03/09/03	11,9	0,94	11,19
03/09/03	10/09/03	5,9	1,07	6,31
10/09/03	19/09/03	12,3	0,89	10,95
19/09/03	30/09/03	10,3	2,37	24,41
Ano Hídrico	2003	952,1	38,63	727,94
Média				796,40

O deflúvio médio para os três anos hídricos foi de 908,5 mm e para os períodos de coletas variou de 1,2 mm a 92,1 mm, com média de 20,0 mm, desvio padrão de 15,2 mm, erro padrão de 1,3 mm. A variância foi de 231,9 mm² e o coeficiente de variação 76,0%, indicando elevada dispersão dos dados. Já a concentração de cloreto na água de deflúvio oscilou de 0,10 mg.L⁻¹ a 2,63 mg.L⁻¹, com média de 0,92 mg.L⁻¹, desvio padrão de 0,38 mg.L⁻¹ e o erro padrão de 0,03

mg.L^{-1} . A variância foi de $0,15 (\text{mg.L}^{-1})^2$ e o coeficiente de variação de 41,8%, indicando moderada dispersão dos dados (Figura 27).

FIGURA 27 - Relação entre o deflúvio (azul) e a concentração de cloreto na água do rio (verde) na microbacia B-Cunha.

O deflúvio multiplicado pela concentração de cloreto na água do deflúvio oscilou de $1,01 \text{ mg.m}^{-2}$ a $74,79 \text{ mg.m}^{-2}$, com média de $17,58 \text{ mg.m}^{-2}$, desvio padrão de $12,87 \text{ mg.m}^{-2}$ e erro padrão de $1,10 \text{ mg.m}^{-2}$. A variância foi de $165,54 (\text{mg.m}^{-2})^2$ e o coeficiente de variação de 73,2%, indicando uma elevada dispersão dos dados.

Os valores absolutos do deflúvio e da concentração de cloreto na água do rio não apresentaram normalidade pelo teste D'Agostino-Pearson ($p < 0,0001$). Os valores transformados do deflúvio apresentaram distribuição normal ($p = 0,101$), porém, não os da concentração de cloreto na água do rio ($p < 0,0001$). Portanto, como as duas variáveis, conjuntamente, não seguiram uma distribuição normal utilizou-se na análise estatística o coeficiente de correlação de Spearman.

O resultado da análise de correlação de Spearman entre os valores absolutos do deflúvio e da concentração de cloreto na água do rio apresentou um coeficiente (r_s) igual a $-0,090$. O t_{cal} foi de $-1,052$, menor, em módulo, do que o t_{tab} de $1,960$, desta forma, não se rejeita H_0 ao nível de significância de 5%, indicando que não

existe uma correlação ordinal negativa entre as variáveis.

Para o período de 01 de outubro de 2000 a 30 de setembro de 2003, o fluxo de entrada total médio de cloreto via precipitação (deposição úmida) na microbacia B foi de 756,57 mg.m⁻² ou 7,57 kg.ha⁻¹, enquanto que o fluxo de saída total médio através do deflúvio alcançou 796,40 mg.m⁻² ou 7,96 kg.ha⁻¹. Portanto, o balanço apresentou uma diferença de apenas 0,39 kg.ha⁻¹ ou 4,9% em relação ao deflúvio, com isso o método do cloreto foi aplicado na microbacia B-Cunha.

Os anos hídricos de 2001, 2002 e 2003, as precipitações anuais, as médias ponderadas anuais da precipitação (C_P) e do deflúvio (C_R) e a evapotranspiração real estão presentes na Tabela 14.

TABELA 14 - Anos hídricos, precipitações anuais, médias ponderadas do cloreto nas precipitações e nos deflúvios anuais e as evapotranspirações na microbacia B-Cunha.

Ano Hídrico	Precipitação (mm)	C_P (mg.m ⁻²)	C_R (mg.m ⁻²)	ET (mm)	ET (%)
2001	1.626,9	0,47	1,05	898,7	55,2
2002	1.612,3	0,46	0,81	696,7	43,2
2003	1.700,5	0,45	0,76	693,6	40,8
Média	1.646,6	0,46	0,87	776,0	47,1

Para a estimativa da evapotranspiração real pelo método do cloreto empregou-se a equação (6). Para o ano hídrico de 2001 a evapotranspiração real foi de 898,7 mm, o que representa 55,2% da precipitação anual. Já, para os anos hídricos de 2002 e 2003 os valores ficaram muito próximos, de 696,7 mm e 693,6 mm, representando 43,2% e 40,8%, respectivamente.

Para a estimativa da evapotranspiração real média para os três anos hídricos entrada de água na microbacia foi quantificada através da média ponderada do cloreto na precipitação (C_P), que foi de 0,46 mg.m⁻², enquanto que a saída por intermédio da média ponderada do cloreto no deflúvio (C_R) alcançou 0,87 mg.m⁻². A evapotranspiração real média estimada para os três anos hídricos na microbacia B-Cunha alcançou 776,0 mm, o que corresponde a 47,1% da precipitação total média.

5.7 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto através do escoamento de base, junho de 2000 na microbacia do IAG-PEFI

O fluxo de entrada anual de cloreto (M_i) através da precipitação na microbacia do IAG-PEFI para o ano hídrico de 2000 foi de 726,25 mg.m^{-2} , com uma média ponderada (C_P) de 0,57 mg.L^{-1} .

O deflúvio no mês de junho de 2000 alcançou 14,8 mm. O deflúvio multiplicado pela concentração de cloreto das suas águas foi de 37,23 mg.m^{-2} (Tabela 15), com uma média ponderada (C_B) de 2,51 mg.L^{-1} .

TABELA 15 - Períodos do deflúvio de junho de 2000, concentração de cloreto de suas águas e o deflúvio multiplicado pela sua concentração na microbacia do IAG-PEFI.

Período	Deflúvio (mm)	$[\text{Cl}^-]_R$ (mg.L^{-1})	Def x $[\text{Cl}^-]_R$ (mg.m^{-2})
01 a 07/06/00	3,3	2,18	7,19
07 a 14/06/00	3,7	2,12	7,84
14 a 21/06/00	3,1	3,95	12,24
21 a 28/06/00	3,8	2,14	8,13
28 a 30/06/00	0,9	2,03	1,83
Total	14,8		37,23

A evapotranspiração real determinada pelo método do balanço de cloreto do deflúvio do mês de junho de 2000, através da equação (10), foi de 989,0 mm, correspondendo a 77,3% da precipitação total.

$$ET = P \times (C_B - C_P) / C_B$$

$$ET = 1.279,6 \text{ mm} \times (2,51 \text{ mg.L}^{-1} - 0,57 \text{ mg.L}^{-1}) / 2,51 \text{ mg.L}^{-1}$$

$$ET = 989,0 \text{ mm (77,3\%)}$$

5.8 Estimativa da evapotranspiração pelo método do balanço de cloreto através do escoamento de base na microbacia B-Cunha

5.8.1 Agosto de 2001

O fluxo de entrada anual de cloreto (M_i) através da precipitação na microbacia B para o ano hídrico de 2001 foi de $758,83 \text{ mg.m}^{-2}$, com uma média ponderada (C_P) de $0,47 \text{ mg.L}^{-1}$.

O deflúvio no mês de agosto de 2001 foi de $36,9 \text{ mm}$. O deflúvio multiplicado pela concentração de cloreto das suas águas alcançou $23,90 \text{ mg.m}^{-2}$ (Tabela 16), com uma média ponderada (C_B) de $0,65 \text{ mg.L}^{-1}$.

TABELA 16 - Períodos do deflúvio de agosto de 2001, concentração de cloreto de suas águas e o deflúvio multiplicado pela sua concentração na microbacia B-Cunha.

Período	Deflúvio (mm)	$[Cl]_R$ (mg.L^{-1})	Def x $[Cl]_R$ (mg.m^{-2})
01 a 09/08/01	9,0	1,03	9,27
09 a 24/08/01	16,5	0,21	3,46
24 a 31/08/01	11,4	0,98	11,17
Total	36,9		23,90

A evapotranspiração real determinada pelo método do balanço de cloreto do deflúvio do mês de agosto de 2001, através da equação (10), foi de $450,5 \text{ mm}$, correspondendo a $27,7\%$ da precipitação total.

$$ET = P \times (C_B - C_P) / C_B$$

$$ET = 1.626,9 \text{ mm} \times (0,65 \text{ mg.L}^{-1} - 0,47 \text{ mg.L}^{-1}) / 0,65 \text{ mg.L}^{-1}$$

$$ET = 450,5 \text{ mm} (27,7\%)$$

5.8.2 Agosto de 2002 na microbacia B-Cunha

O fluxo de entrada anual de cloreto (M_i) através da precipitação na microbacia B para o ano hídrico de 2002 foi de $743,13 \text{ mg.m}^{-2}$, com uma média ponderada (C_P) de $0,46 \text{ mg.L}^{-1}$.

O deflúvio no mês de agosto de 2002 foi de $33,0 \text{ mm}$. O deflúvio multiplicado pela concentração de cloreto das suas águas alcançou $26,94 \text{ mg.m}^{-2}$ (Tabela 17), com uma média ponderada (C_B) de $0,82 \text{ mg.L}^{-1}$.

TABELA 17 - Períodos do deflúvio de agosto de 2002, concentração de cloreto de suas águas e o deflúvio multiplicado pela sua concentração na microbacia B-Cunha.

Período	Deflúvio (mm)	$[Cl^-]_R$ (mg.L^{-1})	Def x $[Cl^-]_R$ (mg.m^{-2})
01 a 05/08/02	7,5	0,84	6,30
05 a 12/08/02	7,6	0,82	6,23
12 a 19/08/02	6,9	0,75	5,17
19 a 31/08/02	11,0	0,84	9,24
Total	33,0		26,94

A evapotranspiração real determinada pelo método do balanço de cloreto do deflúvio do mês de agosto de 2002, através da equação (10), foi de $707,8 \text{ mm}$, correspondendo a $43,9\%$ da precipitação total.

$$ET = P \times (C_B - C_P) / C_B$$

$$ET = 1.612,3 \text{ mm} \times (0,82 \text{ mg.L}^{-1} - 0,46 \text{ mg.L}^{-1}) / 0,82 \text{ mg.L}^{-1}$$

$$ET = 707,8 \text{ mm (43,9\%)}$$

5.8.3 Julho de 2003 na microbacia B-Cunha

O fluxo de entrada anual de cloreto (M_i) através da precipitação na microbacia B para o ano hídrico de 2003 foi de $767,74 \text{ mg.m}^{-2}$, com uma média ponderada (C_P) de $0,45 \text{ mg.L}^{-1}$.

O deflúvio no mês de julho de 2003 foi de 31,7 mm. O deflúvio multiplicado pela concentração de cloreto das suas águas alcançou $24,88 \text{ mg.m}^{-2}$ (Tabela 18), com uma média ponderada (C_B) de $0,78 \text{ mg.L}^{-1}$.

TABELA 18 - Períodos do deflúvio de julho de 2003, concentração de cloreto nas suas águas e o deflúvio multiplicado pela sua concentração na microbacia B-Cunha.

Período	Deflúvio (mm)	$[Cl^-]_R$ (mg.L^{-1})	Def x $[Cl^-]_R$ (mg.m^{-2})
01 a 02/07/03	1,3	0,69	0,90
02 a 07/07/03	4,4	0,69	3,04
07 a 16/07/03	11,7	0,78	9,13
16 a 23/07/03	6,4	0,76	4,86
23 a 31/07/03	7,9	0,88	6,95
Total	31,7		24,88

A evapotranspiração real determinada pelo método do balanço de cloreto do deflúvio do mês de julho de 2003, através da equação (10), foi de 719,4 mm, correspondendo a 42,3% da precipitação total.

$$ET = P \times (C_B - C_P) / C_B$$

$$ET = 1700,5 \text{ mm} \times (0,78 \text{ mg.L}^{-1} - 0,45 \text{ mg.L}^{-1}) / 0,78 \text{ mg.L}^{-1}$$

$$ET = 719,4 \text{ mm (42,3\%)}$$

6 DISCUSSÃO

6.1 Intercepção das chuvas pela floresta

Os resultados de pesquisas sobre a intercepção das chuvas por Mata Atlântica em diferentes localidades do Brasil, como também do estágio de desenvolvimento da floresta estão presentes na Tabela 19. As perdas evaporativas alcançaram valores extremos de 8,9% para Cubatão-SP e de 30,0% para a Ilha do Mel-PR. Os resultados do IAG-PEFI e de Cunha estão entre os limites daqueles estimados para as diferentes localidades brasileiras.

TABELA 19 - Resultados de pesquisas sobre intercepção das chuvas na Mata Atlântica, com valores de precipitação total (Pt), transprecipitação (Tr) e intercepção (I).

Autor	Local	Estágio da Floresta	Pt mm	Tr %	I %
Castro et al. (1983)	Viçosa - MG	Secundária	823	87,4	12,4
Coelho Netto et al. (1986)	Rio de Janeiro - RJ	Restaurada	2369	83,0	11,4
Cicco et al. (1986/88)	Cunha - SP	Secundária	2253	80,6	18,2
Cesar (1986)	São Paulo - SP	Secundária	2715	87,9	12,1
Nalon e Vellardi (1992)	Cubatão - SP	Secundária	2885	91,1	8,9
Britez et al. (1998)	Ilha do Mel - PR	Seca Paludosa	2032 2032	78,0 70,0	22,0 30,0
Lopes (2001)	Pilões - SP	Secundária	2764	80,0	20,0
	Moji - SP	Degradada	2638	82,0	18,0
	Paranapiacaba - SP	Secundária	3005	78,0	22,0
Almeida e Soares (2003)	Aracruz - ES	Secundária	1379	76,1	23,9
Arcova et al. (2003)	Cunha - SP	Secundária	2220	81,2	18,6
Oliveira Júnior e Dias (2005)	Viçosa - MG	Secundária	1039	80,0	18,3

As intercepções estimadas para o IAG-PEFI (21,6%) e a microbacia B-Cunha (24,0%) estão na faixa mencionada por Bruijnzeel (1990), onde a intercepção pelas copas das árvores em florestas tropicais está entre 4,5% e 24%, sendo que essa variação é decorrente dos diversos locais dos estudos, aos diferentes ritmos climáticos e das características das florestas, principalmente quanto à sua estrutura e composição, como também da metodologia utilizada.

Outro fator que influencia o processo de intercepção é a precipitação horizontal na floresta, isto é, a retenção da água de nevoeiros pelas copas das árvores e, conseqüentemente, a sua redistribuição em direção ao solo. Este montante de água somado ao da transprecipitação, quando maior que a quantidade de precipitação total, possivelmente explicaria o ocorrido para as intercepções negativas encontradas no IAG-PEFI e em Cunha.

A intercepção negativa também foi observada por Coelho Neto, Sanche e Peixoto (1986) e Germer, Elsenbeer e Moraes (2006), sendo explicada pela distribuição espacial dos coletores na parcela, ou melhor, posicionados em clareiras, como também, distribuídos de tal forma que a vegetação propiciou determinado acúmulo de água nas folhas e galhos e que foram direcionados para os coletores.

Holder (2004) estudou a intercepção e a precipitação horizontal em floresta tropical da Guatemala. Constatou que o nevoeiro contribuiu com aproximadamente 1 mm e 0,5 mm por dia nos períodos seco e chuvoso, respectivamente. Verificou ainda alguns valores negativos de intercepção ou que excederam a precipitação total, assumindo a presença de nevoeiros.

O PEFI está inserido na Província do Planalto Atlântico, portanto, recebendo com alta frequência a ocorrência de nevoeiros, atingindo até um terço do total de dias de um período estudado de 68 anos (SANTOS; FUNARI, 2002). A microbacia B-Cunha também está situada no Planalto Atlântico e, conseqüentemente, tem ocorrência de nevoeiros (ARCOVA, 1996), podendo, desta forma, a intercepção ter sido influenciada pela precipitação horizontal.

No teste de D'Agostino-Pearson para os valores absolutos da precipitação e da transprecipitação não apresentaram distribuição normal para o IAG-PEFI e Cunha. Porém, com os dados transformados das duas variáveis foi verificada a normalidade ao nível de significância de 5%.

Os resultados das análises de regressão linear simples dos dados transformados da precipitação e da transprecipitação para o IAG-PEFI (92,0%) e

Cunha (88,6%) apresentaram os coeficientes de determinação elevados. Portanto, o ajustamento linear foi muito bom, indicando existir dependência entre as variáveis para o nível de significância de 5%. Vários estudos confirmaram esses resultados em Mata Atlântica secundária, dentre eles: Cicco et al. (1986/88) e Arcova, Cicco e Rocha (2003), Cunha-SP ($R^2 = 99,7\%$ e $91,3\%$); Oliveira Júnior e Dias (2005), Viçosa-MG ($R^2 = 98,7\%$) e Thomaz (2005), Guarapuava-PR ($R^2 = 97,2\%$). De uma forma geral, esses estudos mostraram uma boa relação entre a precipitação e a transprecipitação, mesmo com variações na estrutura, composição e arquitetura das florestas, nos diferentes ritmos climáticos e metodologias empregadas.

Os resultados das análises através do teste de D'Agostino-Pearson para os valores absolutos e transformados da interceptação não apresentaram distribuição normal para as duas áreas. Dessa forma, foi aplicado o teste de correlação de Spearman (r_s) para essas variáveis, sendo de 0,5449 para o IAG-PEFI e de 0,5243 para Cunha, indicando uma moderada correlação positiva para o nível de significância de 5%. Portanto, outros processos podem estar atuando como preditores da interceptação, principalmente os relacionados à precipitação; quanto à duração, a intensidade e a antecedência. As características da vegetação também são relevantes, como a diversidade e idade das espécies, a arquitetura, a forma e a estratificação das copas e o índice de área foliar (CASTRO et al., 1983; ALMEIDA; SOARES, 2003; ARCOVA; CICCO; ROCHA, 2003; OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2005; OLIVEIRA et al., 2008).

Nas áreas estudadas, a maior frequência das precipitações ocorreu na classe entre 5 mm a 60 mm, representando 65,7% para o IAG-PEFI e 62,7% para Cunha. Comparando-se a variação da interceptação com as três classes de precipitação, verificou-se uma tendência, ou seja, a interceptação diminuiu à medida que houve aumento das classes de precipitação. Cicco et al. (1986/88) em estudo realizado na microbacia experimental D constataram que até para a classe de 50 mm a 60 mm de precipitação, a interceptação diminuiu com o aumento das chuvas. Esta mesma tendência também foi verificada por Castro et al. (1983), Coelho Neto et al. (1986) e Thomaz (2005).

Como o processo de fracionamento da água de chuva pela floresta é influenciado pela intensidade, duração e frequência das precipitações, os dados foram analisados sazonalmente. A interceptação para o IAG-PEFI e Cunha apresentou a mesma tendência, no período chuvoso foi de 21,8% e 25,9%, e para o

período seco de 29,0% e 33,9%, respectivamente, indicando ritmos distintos em relação à época do ano. Resultados semelhantes também foram obtidos por Coelho Neto et al. (1986), Nalon e Vellardi (1992) e Arcova, Cicco e Rocha (2003).

A pequena diferença encontrada na interceptação das chuvas pelas florestas para as duas localidades pode ser explicada pelas aberturas dos dosséis, para o IAG-PEFI de 34,2% e para Cunha de 31,1%.

6.2 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço hídrico

No ano hídrico de 2000 para a microbacia do IAG-PEFI, a precipitação e o deflúvio totais foram de 1.279,6 mm e 273,4 mm, respectivamente. A evapotranspiração real alcançou 1.006,2 mm, representando 78,6% da precipitação total.

Pereira Filho et al. (2002) estimaram a evapotranspiração real para a mesma microbacia, no período de junho/1999 a junho/2000. A precipitação total foi de 1.290,5 mm e a evapotranspiração alcançou 1.004,9 mm, representando 77,9% da precipitação. Foram empregados vários métodos para a estimativa da evapotranspiração potencial, para igual período de dados dos atributos do clima da estação meteorológica do IAG-USP (Tabela 20).

TABELA 20 - Métodos e resultados de estimativa da evapotranspiração potencial no IAG-PEFI no período de junho de 1999 a junho de 2000. Fonte: Pereira Filho et al. (2002).

Métodos	Evapotranspiração (mm)	Evapotranspiração (%)
Linacre	1.236,0	95,8
Thornthwaite	834,1	64,6
Blaney-Criddle	904,4	70,1
Penman	1.065,2	82,5
Jensen-Haise	1.025,0	79,4
Média	1.012,9	78,5

Os autores concluíram ainda que a evapotranspiração potencial foi próxima da real nesta microbacia, e o melhor resultado foi o obtido por Jensen-Haise. Os métodos fundamentados somente na temperatura, Thornthwaite e Blaney-Criddle, subestimaram a evapotranspiração potencial. A estimativa da evapotranspiração pelos diferentes métodos variou de 64,6% a 95,8%. Em termos médios a evapotranspiração foi de 1.012,9 mm, representando 78,5% da precipitação total. Valor este muito próximo ao obtido para a evapotranspiração real da microbacia do IAG-PEFI, de 1.006,2 mm (78,6%).

Galvani (2008) realizou o balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e

Mather (1955), para a cidade de São Paulo, com dados dos atributos do clima obtidos junto às normais climatológicas fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia, para o período de 1961 a 1990. A deficiência hídrica totalizou 7,3 mm para os meses de abril, maio e julho a setembro. O excedente hídrico de 432,1 mm ocorreu de outubro a março. A precipitação média anual foi de 1.355,0 mm, sendo que cerca de 70% ocorreram no período de outubro a março, e o restante, de abril a setembro, característica de climas do tipo tropical. A evapotranspiração potencial foi de 930,3 mm, representando 68,7% da precipitação anual. Os resultados confirmaram os obtidos por Pereira Filho et al. (2002), indicando que o método de Thornthwaite e Mather (1955) subestima a evapotranspiração para o PEFI.

O balanço hídrico de uma região tende a se manter sem grandes alterações naturais, mas com o aumento populacional e o uso indiscriminado da água, as ações antrópicas podem acabar interferindo no ciclo hidrológico, através da precipitação, da infiltração de água no solo, da evapotranspiração e dos escoamentos superficial e profundo (HORIKOSHI; FISCH, 2007).

Pereira Filho (1999) sugeriu que a evapotranspiração mais elevada na microbacia do IAG-USP pode estar relacionada aos impactos da região urbana, como por exemplo, a ilha de calor urbano e as circulações locais.

Freitas e Silva Dias (2005) identificaram alguns aspectos relacionados à Região Metropolitana de São Paulo sobre a formação de uma ilha de calor. As diferenças de temperatura entre a área urbana e seu entorno são altamente dependentes de suas dimensões. A área urbana contribui para a formação de zonas de convergência (localizadas próximo às bordas) e de divergência (centro).

Por outro lado, Santos e Funari (2002) mencionaram que a urbanização ao redor do PEFI pouco interferiu nas séries climatológicas temporais obtidas junto à estação meteorológica do IAG-PEFI, principalmente em função de sua localização privilegiada, conforme comprovados pelos resultados preliminares de temperatura e precipitação.

Para os anos hídricos de 2001, 2002 e 2003 na microbacia B-Cunha, as evapotranspirações reais alcançaram 696,4 mm, 769,5 mm e 748,4 mm, representando 42,8%, 47,7% e 44,0% das precipitações anuais, respectivamente. Em termos médios, para os três anos hídricos a evapotranspiração real foi de 738,1 mm, equivalente a 44,8% da precipitação média.

Vários autores estimaram a evapotranspiração potencial para o Núcleo

Cunha-PESM e a real para as três microbacias do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich. Os métodos empregados foram de Thornthwaite e Mather (1955) e o de conservação de massa (Tabela 21). As estimativas da evapotranspiração apresentaram grande variabilidade para os diferentes períodos. A evapotranspiração real nas três microbacias variou de 10,5% a 39,1%, enquanto a evapotranspiração potencial apresentou valores de 33,0% a 41,1%. Esses resultados evidenciam que o método de Thornthwaite e Mather (1955) superestimou a evapotranspiração potencial quando comparada ao do balanço hídrico.

TABELA 21 - Autores, métodos do balanço hídrico (BH) e de Thornthwaite e Mather (1955) (T&M), locais, períodos e estimativas da evapotranspiração para as microbacias hidrográficas experimentais A, B e D do Núcleo Cunha-PESM.

Autor	Método	Local	Período	ET (mm)	ET (%)
Cicco et al. (1985)	BH	Microbacia D	1982/83	759,4	29,3
Cicco et al. (1985)	BH	Microbacia D	1983/84	501,9	27,2
Cicco et al. (1985)	T&M	Estação Meteorológica	1983/84	759,3	41,1
Cicco et al. (1989)	BH	Microbacia D	1984/85	318,0	10,5
Arcova (1996)	T&M	Estação Meteorológica	1982/92	757,0	33,0
Arcova (1996)	BH	Microbacia B	1986/92	539,5	26,8
Arcova (1996)	BH	Microbacia D	1986/92	603,5	28,0
Fujieda et al. (1997)	BH	Microbacia D	1983/92	625,1	26,4
Fujieda et al. (1997)	BH	Microbacia B	1988/92	553,6	28,0
Anido (2002)	BH	Microbacia A	1992/99 2000/01	553,0	32,0
Cicco (2004)	T&M	Estação Meteorológica	1983/98	775,1	35,1
Cicco (2004)	BH	Microbacia D	1983/98	677,3	30,7
Donato et al. (2008)	BH	Microbacia A	2002/06	697,5	39,1

Ressalta-se que no presente estudo os valores de evapotranspiração real na microbacia B, para os três anos hídricos, foram superiores aos obtidos por Arcova (1996) e Fujieda et al. (1997), como também, superou a evapotranspiração potencial estimada por Cicco et al. (1985), Arcova (1996) e Cicco (2004).

As reduzidas taxas evaporativas encontradas na microbacia B-Cunha são decorrentes das condições climáticas locais, como as baixas temperaturas, a elevada umidade do ar e a presença de nevoeiros. Bruijnzeel (1990), afirma que em área com floresta tropical de elevada altitude e com ocorrência frequente de nevoeiros densos, a principal característica é a reduzida evapotranspiração.

Nas análises estatísticas para as microbacias do IAG-PEFI e B-Cunha os dados absolutos e transformados das variáveis, através dos testes de Shapiro-Wilk e D'Agostino-Pearson, respectivamente, não apresentaram distribuição normal ao nível de significância de 5%.

A evapotranspiração real para a microbacia do IAG-PEFI foi elevada, de 1.006,2 mm o que representou 78,6% da precipitação total, quando comparada com a microbacia B-Cunha, que para a média dos três anos hídricos alcançou 738,1 mm ou 44,8% da precipitação total média. Esses resultados indicaram uma baixa produção hídrica (21,4%) para a microbacia do IAG e, de uma boa produção hídrica (55,2%) para a microbacia B-Cunha.

6.3 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto

O fluxo total de cloreto via deposição úmida nas microbacias do IAG-PEFI e B-Cunha foram de $7,26 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $7,57 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, enquanto o fluxo total de saída através do deflúvio alcançou $7,15 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $7,96 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, respectivamente. A diferença das duas áreas em relação ao fluxo de entrada foi de $0,31 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e ao fluxo de saída de $0,81 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Os resultados mostraram que os fluxos de entrada do íon são muito próximos, indicando que o processo de urbanização que o entorno do PEFI sofreu não está influenciando nas precipitações.

Na microbacia do IAG-PEFI, o balanço entre os fluxos de entrada e de saída anual de cloreto foi de $0,11 \text{ kg.ha}^{-1}$, representando uma diferença de apenas 1,5%. A evapotranspiração real estimada pelo método do balanço de cloreto foi de 1.000,1 mm, correspondendo a 78,2% da precipitação total. Esse valor ficou muito próximo ao obtido pelo método do balanço hídrico, de 1.006,2 mm ou 78,6% da precipitação total.

Na microbacia B-Cunha, o balanço entre os fluxos médios de entrada e de saída de cloreto foi de $0,39 \text{ kg.ha}^{-1}$, representando uma diferença de 5,1%. A evapotranspiração real estimada pelo método do cloreto para os anos hídricos de 2001, 2002 e 2003 foi de 898,6 mm, 696,7 mm e 693,7 mm, representando 55,2%, 43,2% e 40,8% da precipitação anual, respectivamente. A evapotranspiração real média para os três anos hídricos foi de 763,0 mm, correspondendo a 46,3% da precipitação média anual. Esse valor foi ligeiramente superior ao obtido pelo método do balanço hídrico médio, de 738,1 mm ou 44,8% da precipitação média anual.

Para as duas microbacias, os fluxos das entradas e das saídas do cloreto foram praticamente iguais. Então, podemos inferir que o íon não é um produto do intemperismo, e que seu envolvimento em troca iônica ou processos biológicos atingiu o equilíbrio. Portanto, esse íon pode ser considerado conservativo.

Outros estudos também mostraram valores similares quando da comparação dos métodos dos balanços hídrico e de cloreto, como o de Hayashi et al. (2004), que conduziram estudos na bacia hidrográfica de *Scotty Creek*, com 152 km^2 , localizada na parte central da bacia do rio Mackenzie no Norte do Canadá. A evapotranspiração real anual foi estimada pelos métodos dos balanços hídrico e de cloreto, alcançando 275 mm e 280–300 mm, respectivamente. A bacia proporcionou

condições favoráveis para a aplicação do método do cloreto, isto porque a precipitação foi a principal entrada e o rio a saída dominante do cloreto. Os resultados foram consistentes e indicaram que para bacias não monitoradas existe um grande potencial de aplicação deste método.

Leydecker e Melack (2000) em estudo comparativo para estimativa da evapotranspiração através de três métodos, com o emprego de seis bacias nas zonas alpina e sub-alpina, para um período que variou de 4 a 6 anos, no centro e ao sul de Sierra Nevada, California-EUA. A média anual de evapotranspiração potencial estimada nas bacias pelo modelo Morton's CRAE foi de 36% da precipitação anual. Pelos métodos dos balanços hídrico e de cloreto, a evapotranspiração real média foi de 31% e 38%, respectivamente. A análise do resultado do balanço de cloreto mostrou que o íon foi conservativo.

Forti et al. (2000) estudaram de junho de 1993 a junho de 1994, a bacia hidrográfica Igarapé Pedra Preta de 164 ha com Floresta Amazônica, localizada na Serra do Navio, região central do Amapá, parcialmente alterada pelo desmatamento, construção de estrada e depósito de material, devido à exploração do manganês. A evapotranspiração real estimada pelo balanço hídrico foi de 32%, enquanto para o método do balanço de cloreto, entre a entrada, através da transprecipitação e a saída, via rio, alcançou 45% em relação à precipitação total. A discrepância verificada foi atribuída ao erro na estimativa do escoamento do rio, realizada em base semanal, o que provavelmente foi insuficiente para quantificação correta do volume de saída de água.

6.4 Estimativa da evapotranspiração real pelo método do balanço de cloreto através do escoamento de base

A evapotranspiração real estimativa pelo escoamento de base do mês de junho de 2000 na microbacia do IAG-PEFI, através do método do cloreto apresentou um valor de 989,0 mm ou 77,3% da precipitação total. Esse resultado foi muito satisfatório quando comparado aos dos balanços hídrico e de cloreto do ano hídrico de 2000, com 1.006,2 mm e 1.000,1 mm, representando 78,6% e 78,2% da precipitação total, respectivamente. Portanto, com somente cinco amostras semanais de cloreto nas águas do rio, no período de menor deflúvio, foi possível estimar a evapotranspiração real para a microbacia do IAG-PEFI.

Na microbacia B-Cunha para o ano hídrico de 2001, a evapotranspiração real calculada foi de 450,5 mm, representando somente 27,7% da precipitação total. Valor este muito abaixo do obtido pelos métodos dos balanços hídrico e de cloreto de 696,4 mm (42,8%) e 898,6 mm (55,2%), respectivamente. Este resultado pode estar associado ao pequeno número de amostras realizadas, somente três, e com um dos valores de concentração de cloreto na água do rio de apenas 0,21 mg.L⁻¹.

Para os anos hídricos de 2002 e 2003 os resultados foram satisfatórios, alcançando 707,8 mm (43,9%) e 719,4 mm (42,3%), quando comparados com o balanço hídrico que foi de 769,5 mm (47,7%) e 748,4 mm (44,0%) e o de cloreto com 696,7 mm (43,2%) e 693,7 mm (40,8%). Ressalta-se que para os anos hídricos de 2002 e 2003 foram realizadas quatro e cinco coletas de água do rio, respectivamente.

Hayashi et al. (2004) usando algumas amostras do escoamento de base como alternativa para a estimativa da evapotranspiração, como sugeriram Claassen e Halm (1996), o resultado foi impreciso, isto porque a concentração de cloreto variou substancialmente durante o período de fluxos mínimos de água. Os autores recomendaram que para o sucesso na aplicação desse método para riachos não monitorados no norte do Canadá, será necessário desenvolver uma técnica confiável para estimar a concentração média para um número limitado de amostras.

Por outro lado, Claassen e Halm (1996), trabalharam com uma única amostra de cloreto da água do rio em 19 bacias hidrográficas localizadas no *Rocky Mountains*, nos Estados do Arizona e Idaho-EUA. Alcançaram percentuais de

evapotranspiração, comparativamente ao método do balanço hídrico, de 5% entre os métodos em 42% das bacias e de 10% de variação para 68% das demais áreas. Os autores ressaltaram que muito pouco esforço e despesas foram envolvidos no trabalho, portanto, o método do balanço de cloreto com um equilíbrio adequado pode fornecer estimativas de evapotranspiração eficaz para bacias hidrográficas, ou ainda, para aquelas que possuem curtos períodos de registro.

7 CONCLUSÕES

Em média, 21,6% e 24,0% das precipitações são interceptadas pela floresta secundária de Mata Atlântica das microbacias do IAG-PEFI e a B-Cunha, respectivamente, retornando à atmosfera na forma de vapor. Um montante de 78,4% e 76,0% alcança o piso florestal como transprecipitação. Para os períodos seco e chuvoso, a interceptação apresenta o mesmo ritmo para as duas localidades, com valores e amplitudes maiores para o período seco, de 25,6% e de 33,9%, enquanto para o período chuvoso, a interceptação é de 21,8% e 25,9%, para o IAG-PEFI e Cunha, respectivamente.

A interceptação negativa ocorre nas duas localidades, principalmente em função de suas localizações geográficas, próximas ao oceano, com grande ocorrência de nevoeiros. A transprecipitação acontece em todos os eventos e a maior frequência das chuvas é na classe de 5 mm a 60 mm.

A pequena diferença na interceptação das chuvas pelas florestas pode ser explicada pela proximidade dos valores obtidos nas aberturas dos dosséis pelas fotografias hemisféricas, de 34,2% para o IAG-PEFI e de 31,1% para B-Cunha.

A estimativa anual da evapotranspiração real pelo método do balanço hídrico é muito satisfatório para a microbacia do IAG-PEFI (1.006,2 mm ou 78,6%), quando comparado com a média de outros métodos (1.012,9 mm ou 78,5%). Para a microbacia B-Cunha os valores de evapotranspiração real variam de 42,8% a 47,7% em relação à precipitação total, porém, para a média dos três anos hídricos, a evapotranspiração real é de 738,1 mm (44,8%).

Pelo método do balanço de cloreto na microbacia do IAG-PEFI a evapotranspiração real é de 1.000,1 mm (78,2%), valor praticamente igual ao do balanço hídrico. Na microbacia B-Cunha, os anos hídricos de 2002 e 2003 apresentam evapotranspiração real pelo método do cloreto de 696,7mm (43,2%) e 693,7 mm (40,8%), considerados bons quando comparado aos resultados do balanço hídrico. A exceção é o ano hídrico de 2001 que alcançou 898,6 mm (55,2%). Porém, para a média dos três anos hídricos a evapotranspiração real é de 763,0 mm (46,3%), valor este muito próximo ao método do balanço hídrico de 738,1 mm (44,8%).

A estimativa da evapotranspiração real pelo método do cloreto através do

escoamento de base do mês de agosto do ano hídrico de 2000 se mostra plenamente satisfatória na microbacia do IAG-PEFI. Para a microbacia B-Cunha a estimativa da evapotranspiração real para os meses de agosto e julho dos anos hídricos de 2002 e 2003, também apresenta resultados aceitáveis, com 709,6 mm (43,9%) e 719,5 mm (42,3%), respectivamente. A exceção é o ano hídrico de 2001, com apenas 450,5 mm (27,7%), valor este baixo quando comparado aos outros métodos e meses dos anos hídricos de 2002 e 2003.

O método do balanço de cloreto através do escoamento de base se mostra como mais um procedimento eficaz na determinação da evapotranspiração, sendo que muito pouco esforço e despesas são necessários. Portanto, com um equilíbrio adequado pode fornecer estimativas eficazes de evapotranspiração para bacias hidrográficas, ou ainda, para aquelas que possuem pouca ou nenhuma informação. Recomenda-se que para o sucesso na aplicação do método será indispensável desenvolver uma técnica confiável para determinar a concentração média do íon para um número limitado de amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ab'SÁBER, A. N. A Terra paulista. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 23, p. 5-38. 1956.

_____. Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo, **Boletim Faculdade Filosofia Ciências e Letras**, Universidade de São Paulo, São Paulo, n. 219, p. 1-355. 1957 (série Geografia 12).

_____. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. USP – IG, **Geomorfologia**, n. 20, p. 1-26, 1970.

ALMEIDA, F. F. M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. Universidade de São Paulo: Instituto de Geografia. São Paulo: Edusp, 1974. 99 p. (Série teses e monografias, n. 14).

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 159-170, mar/abr. 2003.

ANDRADE, G. C. **Efeitos do reflorestamento e do desmatamento sobre a hidrologia, erosão do solo e fluxo de nutrientes em microbacia do semi-árido do Rio Grande do Norte**. 1991. 108p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

ANIDO, N. M. R. **Caracterização hidrológica de uma microbacia experimental visando identificar indicadores de monitoramento ambiental**. 2002. 69 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ARCOVA, F. C. S. **Balanço hídrico, características do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas na Serra do Mar, SP**. 1996. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

_____.; LIMA, W. P.; CICCIO, V. Balanço hídrico de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 10, n. 1, p.39-51, 1998.

_____.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha – São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 257-262, mar/abr. 2003.

ARMANI, G. **Interações entre a atmosfera e a superfície terrestre: variações da temperatura e umidade na bacia B do Núcleo Cunha (IF) – SP**. 2004. 198 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física)–Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

AZEVEDO, E. C. **Vazão e características físicas e químicas do deflúvio de microbacias hidrográficas cobertas com mata nativa, pastagem e *Eucalyptus grandis***. 1995. 91 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

AYRES, M. et al. BioEstat: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. Versão 5.0. Belém: Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, 2007. 364p. Disponível em: <<http://mamiraua.org.br/download/index.php?dirpath=./BioEstat%205%20Portugues&order=0>>. Acesso em: 06 jan. 2009

BARBOSA, L. M.; POTOMATI, A.; PECCININI, A. A. O PEFI: Histórico e legislação. In: BICUDO, D. C.; FORTI, M. C.; BICUDO, C. E. M. (Orgs.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga**: unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2002. p. 15-28.

BLAKE, G. J. The interception process. In: NATIONAL SYMPOSIUM ON HYDROLOGY, 1975, Canberra. **Proceedings...**Canberra: Chapman, T. G.; Dunin, F. X. (Ed.), 1975. p. 59-81.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**: Síntese Executiva. Brasília, DF, 2006. 135 p. Disponível em: <<http://pnrh.cnrh-srh.gov.br>>. Acesso em: 15 jan. 2007.

BRITEZ, R. M. et al. Interceptação das chuvas em duas formações florestais da planície litorânea da Ilha do Mel, PR. In: FÓRUM DE GEOBIOHIDROLOGIA, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1998. p. 60-69.

BROOKS, K. N.; FFOLLIOTT, P. F.; GREGERSEN, H. M.; THAMES, J. L. **Hydrology and the management of watersheds**. Ames: Iowa State University Press, 1993. 392p.

BRUIJNZELL, L. A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review**. Amsterdam: Free University Amsterdam/UNESCO, Humid Tropics Programme Publication, Free University, 1990. 224 p.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.

CASTRO, P. S. et al. Interceptação da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 7, n. 1, p. 76-89, 1983.

CASTRO, P. S. **Influência da cobertura florestal na qualidade da água em duas bacias hidrográficas na região de Viçosa, MG**. 1980. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1980.

ČERNÝ, J; BILLET, M. F.; CRESSER, M. S. Element budgets. In: MOLDAN, B.; ČERNÝ, J. **Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research**. England: John-Wiley & Sons, 1994. p. 189-205. (Scope 51).

CESAR, S. F. **A interceptação e alterações na qualidade da água da chuva através do dossel florestal em Floresta Latifoliada Tropical**. 1986. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciências - Botânica)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1986.

CHRISTOPHERSEN, N.; NEAL, C. Linking hydrological, geochemical, and soil chemical processes on the catchment scale: an interplay between modeling and field work. **Water Resources Research**, Amsterdam, v. 26, n. 12, p. 3077-3086, 1990.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia**. São Paulo: Hucitec-Editora da Universidade de São Paulo, 1979. 106p. Série Geografia: teoria e realidade.

CICCO, V.; EMMERICH, W.; FARIA, A. J.; FUJIEDA, M. Projeto de pesquisas hidrológicas em floresta natural na Reserva Estadual de Cunha – Determinação do balanço hídrico. In: SEMINÁRIOS SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: a influência das florestas no manejo de bacias hidrográficas, 1985, Curitiba, PR, **Anais...** EMBRAPA/PNPF, p. 135-142, 1985a.

_____.; FARIA, A. J.; ARCOVA, F. C. S.; SHIMOMICHI, P. Y. Determinação do balanço hídrico com emprego de bacia hidrográfica experimental em mata natural secundária. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS E SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS EM REGIÕES METROPOLITANAS, 6, 1985, São Paulo. **Anais...** Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, p. 234-246, 1985b.

_____. et al. Interceptação das chuvas por floresta natural secundária de Mata Atlântica – São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 20/22, p. 25-30, 1986/88.

_____.; ARCOVA, F. C. S.; SHIMOMICHI, P. Y. Estimativa da evapotranspiração em bacia hidrográfica com floresta natural secundária de Mata Atlântica – SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 43-54, 1989.

_____. **Análise de séries temporais hidrológicas em microbacia com cobertura vegetal natural de Mata Atlântica, Cunha, SP.** 2004. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física)-Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CLAASSEN, H. C.; REDDY, M. M.; HALM, D. R. Use of the chloride ion in determining hydrologic-basin water budgets – A 3-year case study in the San Juan Mountains, Colorado, USA. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 85, p. 49-71, 1986.

_____.; HALM, D. R. Estimates of evapotranspiration of effective moisture in Rocky Mountain watersheds from chloride ion concentrations in stream baseflow. **Water Resources Research**, Amsterdam, v. 32, n. 2, p. 363-372, 1996.

CLARK, R. T. The interception process in tropical rain forests: a literature review and critique. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 16/17, n. único, p. 225-238, 1986/1987.

COELHO NETTO, A. L.; SANCHE, M.; PEIXOTO, M. N. O. Precipitação e interceptação florestal em ambiente tropical montanhoso, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 55-71, 1986 (Caderno de Recursos Hídricos).

CONSERVATION INTERNATIONAL. **Hotspots apontam áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade.** 02/02/2005. Disponível em: <http://www.biodiversityscience.org/xp/news/press_releases/2005/020205por.xml> Acesso em: 30 jan. 2008.

CONTI, J. B. **Circulação secundária e efeito orográfico na gênese das chuvas na região leste/nordeste paulista**. 1975. 82 f. Tese (Doutorado em Geografia Física)–Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrological Processes**, England, v. 14, n. 16-17, p. 2903-2920, 2000.

CUNHATUR. Apresentação: A cidade de Cunha. Cunha, 2009. Disponível em: <<http://www.cunhatur.com.br/pasta002/index.php>>. Acesso em: 30 jan. 2009.

DAWES, W. R. et al. Evaluation of a distributed parameter ecohydrological model (TOPOG_IRM) on a small cropping rotation catchment. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 191, n. 1-4, p. 64-68, 1997.

DONATO, C. F. et al. Balanço de massa em microbacia experimental com Mata Atlântica, na Serra do Mar, Cunha, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 1-11, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 412p, 1999.

FERNANDES, A. J.; REIS, L. A. M.; CARVALHO, A. Caracterização do meio físico. In: BICUDO, D. C.; FORTI, M. C.; BICUDO, C. E. M. (Orgs.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga**: unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2002. p. 49-62.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, n. 1, p. 55-62, 2005.

FETH, J. H. Chloride in natural continental water: a review. **U. S. Geological Survey, Water Supply Paper** No. 2176, 30p., 1981.

FREITAS, E. D.; SILVA DIAS, P. L. Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 20, n. 3, p. 355-366, 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Crops and Drops**. Roma: FAO, 2002. Disponível em: <<http://www.fao.org.br/docrep>>. Acesso em: 08 dez. 2008.

FORTI, M. C. et al. Hydrogeochemistry of a small catchment in northeastern Amazonia: a comparison between natural with deforested parts of the catchment (Serra do Navio, Amapá State, Brasil). **Water, Air, and Soil Pollution**, Amsterdam, v. 118, p. 263-279, 2000.

_____. **Ciclos biogeoquímicos e transferências de espécies químicas nas interfaces de ecossistemas terrestres de Mata Atlântica: estudo de duas áreas contrastantes**. São José dos Campos: INPE, 2003. 113 p. (Relatório científico, INPE-9547-PRP/237).

_____. et al. Rainfall and throughfall chemistry in the Atlantic Forest: a comparison between urban and natural areas (São Paulo State, Brazil). **Hydrology and Earth System Sciences**, Germany, v. 9, n. 6, p. 570-585, 2005.

_____. et al. Fluxes of solute in two catchments with contrasting deposition loads in Atlantic Forest (Serra do Mar/SP-Brazil). **Applied Geochemistry**, Amsterdam, v. 22, p.1149-1156, 2007.

FRANKEN, W. et al. Interceptação das precipitações em floresta amazônica de terra firme. **Supl. Acta Amazonica**, Manaus, v. 12, n. 3, p. 15-22, 1982a.

_____. et al. Estudo da interceptação da água de chuva em cobertura florestal amazônica do tipo terra firme. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 12, n. 2, p. 327-331, 1982b.

FRAZER, G. W.; CANHAM, C. D.; LERTZMAN, K. P. **Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0**: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Burnaby: Simon Fraser University; Millbrook: Institute of Ecosystem Studies, 1999. Disponível em: <http://www.rem.sfu.ca/forestry/downloads/gap_light_analyzer.htm>. Acesso em: 24 dez. 2008.

FURIAN, S. M.; PFEIFER, R. M. Levantamento de reconhecimento do meio físico do Núcleo Cunha, SP. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 183-193, 1986.

FUJIEDA, M. et al. Hydrological processes at two subtropical forest catchments: the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 196, p. 26-46, 1997.

GALVANI, E. Estudo comparativo dos elementos do balanço hídrico climatológico para duas cidades do Estado de São Paulo e para Paris. **Revista Confins**, n. 4, 12p, 2008.

GERMER, S.; ELSENBEER, H.; MORAES, J. M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondônia, Brazil). **Hydrology and Earth System Sciences**, Germany, v. 10, p. 383-393, 2006.

GOMES, E. P. C.; MANTOVANI, W.; KAGEYAMA, P. Y. Dinâmica de um trecho de floresta no PEFI. In: BICUDO, D. C.; FORTI, M. C.; BICUDO, C. E. M. (Orgs.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2002. p. 111-132.

GRAEDEL, T. E.; KEENE, W. C. The budget and cycle of Earth's natural chlorine. **Pure and Applied Chemistry**, Amsterdam, v. 68, n. 9, p. 1689–1697, 1996.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A. O embasamento pré-cambriano e o paleozóico em São Paulo. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (São Paulo, SP). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. v. 1, p. 12-45. Escala 1:500.000.

HAYASHI, M. et al. Hydrologic functions of wetlands in a discontinuous permafrost basin indicated by isotopic and chemical signatures. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 296, p. 81-97, 2004.

HELVEY, J. D.; PATRIC, J. H. Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States. **Water Resources Research**, Amsterdam, v. 1, p. 193-206, 1965.

HEM, J. D. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. 3rd ed. Alexandria: U. S. Geological Survey Water-Supply, 1985. 263 p. (Paper No. 2254).

HEWLETT, J. D.; NUTTER, W. L. **An outline of forest hydrology**. Athens: University of Georgia Press, 1969. 137 p.

HOLDER, C. D. Rainfall interception and fog precipitation in a tropical montane cloud forest of Guatemala. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 190, p. 373-384, 2004.

HOLWERDA, F.; SCATENA, F. N.; BRUIJNZEEL, L. A. Throughfall in a Puerto Rican lower montane rain forest: a comparison of sampling strategies. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 327, p. 592-602, 2006.

HORIKOSHI, A. S.; FISCH, G. Balanço hídrico atual e simulações para cenários futuros no Município de Taubaté, SP, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 2, n. 2, p. 33-46, 2007.

IFA – INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION; UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente**. Tradução: ANDA: Associação Nacional para Difusão de Adubos. 2000. 63p. Disponível em: <http://www.anda.org.br/boletins/fertilizantes_meio_ambiente.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2009.

JENKINS, A.; PETERS, N. E.; RODHE, A. Hydrology. In: MOLDAN, B.; ČERNÝ, J. **Biogeochemistry of small catchments**: a tool for environmental research. England: John-Wiley & Sons, 1994. p. 31-54. (Scope 51).

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Physiology of Woody Plants**. Orlando: Academic Press, 1979. 811 p.

LAMB, D.; BOWERSOX, V. The national atmospheric deposition program: an overview. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 34, p. 1661-1663, 2000.

LEOPOLDO, P. R.; FRANKEN, W.; SALATI, E. Balanço hídrico de pequena bacia hidrográfica em Floresta Amazônica de Terra Firme. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 12, n. 2, p. 333-337, 1982.

_____. et al. Estimativa de evapotranspiração de Floresta Amazônica de Terra Firme. **Supl. Acta Amazonica**, Manaus, v. 12, n. 3, p. 23-28, 1982.

_____.; CONTE, M. L. Repartição da água de chuva em cobertura florestal com características típicas de cerradão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 6., 1985, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1985. v. 3. p. 212-220.

LEYDECKER, A.; MELACK, J. M. Estimating evaporation in seasonally snow-covered catchments in the Sierra Nevada, California. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 236, p. 121-138, 2000.

LIMA, W. P. Interceptação da chuva por povoamentos de eucaliptos e de pinheiros. **IPEF**, Piracicaba, v. 13, p. 75-90, 1976.

_____. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. ESALQ/USP, Piracicaba, 1996, 318 p.

LLOYD, C. R.; MARQUES FILHO, A. O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 42, n. 1, p. 63-73, 1988.

LOPES, M. I. M. S. **Fluxo de água, balanço químico e alterações no solo da Floresta Atlântica atingida pela poluição aérea de Cubatão, SP, Brasil**. 2001. 188 f. Tese (Doutorado em Ecologia)-Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LOVETT, G. M.; HUBBELL, J. G. Effects of ozone and acid mist on foliar leaching from eastern white pine and sugar maple. **Canadian Journal of Forest Research**, Québec, v. 21, n. 6, p. 794-802, 1991.

LUIZ, R. A. F. **Classificação climática do Núcleo Cunha do Parque Estadual da Serra do Mar, Cunha – SP**. 2008. 103 f. Trabalho de Graduação Individual (Bacharelado em Geografia)–Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARTINS, G. A. Estatística geral e aplicada. 3. ed. – 3. reimpr. São Paulo, Atlas, 421p.

MIRANDA, J. C. **Interceptação das chuvas pela vegetação e serapilheira nas encostas do Maciço da Tijuca, RJ.** 1992. 100 f. Dissertação (Mestrado)—Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1992.

MOLDAN, B.; ČERNÝ, J. Small catchment research. In: MOLDAN, B.; ČERNÝ, J. **Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research.** England: John-Wiley & Sons, 1994. p. 1-29. (Scope 51).

MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: estudo geográfico sob a forma de atlas.** 1973. 129 f. Tese (Doutorado)—Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1973.

MOTT, C. J. B. Anion and ligand exchange. In: GREENLAND, D. J., HAYES, M. H. B. (Eds.). **The Chemistry of Soil Processes.** Chichester: John Wiley and Sons, 1981, p. 179–219.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **NATURE**, London, v. 403, p. 853-858, 2000.

NALON, M. A.; VELLARDI, A. C. V. Interceptação na floresta secundária das encostas da Serra do Mar, região de Cubatão, SP. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Revista do Instituto Florestal, 1992. v. 3, p. 894-899 (Edição Especial).

NEAL, C.; KIRCHNER, J. W. Sodium and chloride levels in rainfall, mist, streamwater and groundwater at the Plynlimon catchments, mid-Wales: inferences on hydrological and chemical controls. **Hydrology and Earth System Sciences**, Germany, v. 4, p. 295-310, 2000.

NEWSON, M. D.; CALDER, I. R. Forest and water resources: problems of prediction on a regional scale. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, London, v. 24, p. 283-298, 1989.

ODA, G. H.; FERNANDES, A. J. **Estudo da viabilidade de captação de água subterrânea: perfuração de poço tubular na sede da Secretaria da Agricultura e Abastecimento, São Paulo, SP.** São Paulo: Instituto Geológico-Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 1997. 17 p. (Relatório Interno, Processo: SAA 4.009/97).

OLIVEIRA, L. L. et al. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, n. 4, p. 723-732, 2008.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 9-15, jan/fev. 2005.

PEREIRA FILHO, A. J. Radar measurements of tropical summer convection: urban feedback on flash floods. In: CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY, 29, 1999, Montreal, Quebec, Canada. **Proceedings...**, Paper 17.4. 1999.

_____. et al. Balanço hídrico da bacia do IAG. In: BICUDO, D. C.; FORTI, M. C.; BICUDO, C. E. M (Orgs.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2002. p. 201-212.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478 p.

PETERS, N. E. Hydrologic processes. In: MOLDAN, B.; ČERNÝ, J. **Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research**. England: John-Wiley & Sons, 1994. p. 207-228. (Scope 51).

_____.; RATCLIFFE, E. B. Tracing hydrologic pathways using chloride at the Panola Mountain Research Watershed, Georgia, USA. **Water Air and Soil Pollution**, Amsterdam, v. 105, n. 1-2, p. 263-275, 1998.

_____. et al. Water and solute mass balance of five small, relatively undisturbed watersheds in the U.S. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 358, p. 221-242, 2006.

PIVELLO, V. R.; PECCININI, A. A. A vegetação do PEFI. In: BICUDO, D. C.; FORTI, M. C.; BICUDO, C. E. M. (Orgs.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga: unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2002. p. 75-92.

PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. A cidade de São Paulo: Geografia. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.cidadedesapaulo.com/sp/br/geografia>>. Acesso em: 30 jan. 2009.

SANTOS, P. M.; FUNARI, F. L. Clima local. In: BICUDO, D. C.; FORTI, M. C.; BICUDO, C. E. M. (Orgs.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga**: unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2002. p. 29-48.

SÃO PAULO (Estado). Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **[Apresentação...]** São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/portugues_objetivos.asp>. Acesso em 11 maio 2007.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2005.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria do Meio Ambiente. **Plano de Manejo do Parque Estadual da Serra do Mar**. São Paulo, 2006. p. 3-5 Disponível em: <http://www.iflorestal.sp.gov.br/Plano_de_manejo/PE_SERRA_MAR/index.asp>. Acesso em: 15 jan. 2008.

SHUTTLEWORTH, W. J. Micrometeorology of temperate and tropical forest. **Phil. Trans. Royal Society of London**, London, B-234, p. 299-234, 1998.

STRUFFALDI-DE-VUONO, Y. **Fitossociologia do estrato arbóreo da floresta da Reserva Biológica do Instituto de Botânica (São Paulo, SP)**. 1985. 213 f. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

THOMAZ, E. L. Avaliação de Interceptação e precipitação interna em capoeira e floresta secundária em Guarapuava-PR. **GEOGRAFIA Revista do Departamento de Geociências**, Londrina, v. 14, n. 1, jan./jun. 2005.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Publications in Climatology, Drexel Institute of Technology, 1955, 104 p.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S., Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, EDUSP, 1993. p. 253-287.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 31-33, out/dez. 2003.

UBARANA, V. N. **Experimentos observacionais e modelagem das perdas por interceptação da precipitação na floresta Amazônica**. 1994. 115 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

VOIGTLAENDER, V. **Caracterização hidrológica e biogeoquímica de microbacias: uma comparação entre Mata Atlântica e *Pinus taeda* L.** 2007. 71 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

WÅRD, Y. **Tropical Montane Cloud Forest** – fire disturbance and water input after disturbance. Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå, 2007. 28p. (Report 3).

WHITEHEAD, P. G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies - an international and historical perspective of forest impact. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 145, p. 217-230, 1993.