

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Caracterização hidrológica e biogeoquímica de microbacias:
uma comparação entre Mata Atlântica e *Pinus taeda* L.**

Maureen Voigtlaender

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Recursos Florestais, com opção em
Conservação de Ecossistemas Florestais**

Piracicaba

2007

Maureen Voigtlaender
Engenheiro Florestal

**Caracterização hidrológica e biogeoquímica de microbacias:
uma comparação entre Mata Atlântica e *Pinus taeda* L.**

Orientador:
Prof. Dr. **WALTER DE PAULA LIMA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em
Recursos Florestais, com opção em Conservação de Ecossistemas
Florestais

Piracicaba

2007

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Voigtlaender, Maureen

Caracterização hidrológica e biogeoquímica de microbacias: uma comparação entre Mata Atlântica e *Pinus taeda* L. / Maureen Voigtlaender. - - Piracicaba, 2007.
74 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Bacia hidrográfica 2. Biogeoquímica 3. Hidrologia 4. Mata Atlântica 5. Pinheiro
I. Título

CDD 634.9751

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Ofereço

Ao meu querido *Fabiano Silvério Versiani*,
pelo companheirismo, ajuda, carinho e amor.

Dedico

Aos meus pais *Irenêu e Sônia Lúcia Voiglaender*,
professores na vida e na profissão, pelos exemplos
de vida, carinho, amor e por terem acreditado e me
incentivado neste trabalho.

Aos meus irmãos *Bernard* e *Christoph*, pelos
irmãos especiais que são e por todos os momentos
felizes em família.

AGRADECIMENTOS

Ao bondoso Deus, pela saúde, disposição e oportunidade.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo e Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais, pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao Professor Dr. Walter de Paula Lima, pela orientação, amizade e confiança no trabalho.

Ao Pesquisador do CIRAD-Forêt Jean-Paul Laclau, sempre prestativo, pelas valiosas sugestões ao trabalho, pela orientação, paciência e amizade.

À empresa Klabin Papéis do Paraná, pelo apoio logístico e financeiro para o desenvolvimento do trabalho.

À doutora e amiga Maria José Brito Zakia, pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos grandes e eternos amigos Jackson Roberto Eleotério e Eliane Santos da Rocha Eleotério pela amizade e conquista deste trabalho.

À madrinha Dagmar Guenther, que sempre esteve presente em todos os momentos da minha família, pelo incentivo, conselhos, ajuda e amizade.

À doutora e “chefinha” Carla Daniela Câmara, pela paciência e amizade.

À CAPES e à ReMAM (IPEF) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos integrantes da ReMAM Marco Aurélio Freitas Lopes e Fernando Frosini Ferraz pelo incansável trabalho de “qualidade” e revisão dos dados hidrológicos.

À Engenheira Florestal da Klabin Papéis do Paraná, Ivone Satsuki Namikawa Fier, pela amizade, compreensão e incentivo.

Ao técnico florestal da Klabin Papéis do Paraná, Sérgio Adão Filipaki, pela amizade, incentivo, compreensão, incomodação, pelos exaustivos trabalhos de campo, pela coleta infundável de água, pelo auxílio e acompanhamento constante do trabalho e pelos saudosos jantares com a Família Filipaki.

À Ana Maria de Moura Jorge Santos, Eliane Ferreira Young Blood e Marli Bueno da Silva pela infundável ajuda durante minha permanência na Klabin Papéis do Paraná.

Aos técnicos da Klabin Papéis do Paraná, Jamil Belinovski, Luiz Vicente Miranda, Auriomar Alvares e Valdir Moura pelo auxílio e ajuda na coleta dos dados.

Aos ajudantes de trabalho da Klabin Papéis do Paraná, Alceu Barbora de Mello, Aparecido Miranda, Berbiano Tuino, Dirlei Cardoso, Dorival Francisco, Donizete da Luz Bueno, João

Maria Oliveira Júnior, João Medalia Júnior, José Marcolino dos Santos (Dinho), Marcelino Rodrigues Prado, Pedro Pinto Barbosa, Valdomiro da Silva, Valmir Oliveira da Silva e a todos àqueles que contribuíram indiretamente para a realização do trabalho.

Às amigas de mestrado Cláudia Moster Barros, Carolina Rodrigues Fontana, Kátia Cristina Bortoletto, pela amizade e oportunos conselhos.

À amiga Vânia Korman, fiel amiga e pelos valiosos conselhos durante o trabalho.

À secretária Paula Menghini, pela amizade, paciência, dedicação, ajuda em todos os momentos do mestrado.

Ao Laboratório de Ecologia Aplicada, em especial à Alba Valéria Masetto, Daniele Gonçalves e Moira Queiroz de Souza pelo auxílio e realização das análises.

Aos professores do curso de Pós-Graduação do Departamento de Ciências Florestais, pelos ensinamentos que contribuíram para a minha formação acadêmica.

A todos que de alguma forma contribuíram para execução deste trabalho.

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do Reino do Espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer”.

ALBERT EINSTEIN

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 A caracterização hidrológica em microbacias	12
2.2 A ciclagem de nutrientes	14
2.3 O estoque de nutrientes nas florestas.....	17
2.4 Implicações para o manejo florestal	20
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 Área de estudo	24
3.2 Caracterização das microbacias Colônia (<i>Pinus</i>) e Mortandade (Mata Atlântica).....	25
3.2.1 Microbacia Colônia (<i>Pinus</i>)	25
3.2.2 Microbacia Mortandade (Mata Atlântica).....	27
3.2.3 Caracterização do solo.....	29
3.3 Caracterização da dinâmica hidrológica.....	31
3.3.1 Medições de precipitação e vazão	31
3.3.2 Determinação do ano hídrico e balanço hídrico	34
3.4 Estimativa da biomassa aérea e mineralomassa estocada	35
3.5 Estimativa da produção de folheto e acúmulo de serapilheira	36
3.6 Estimativa do estoque de nutrientes no solo.....	38
3.7 Estimativa do balanço geoquímico nas microbacias	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Dinâmica hidrológica das microbacias.....	39
4.2 Estoque de nutrientes nos compartimentos das microbacias.....	45
4.3 Acúmulo de biomassa e incorporação dos nutrientes para <i>Pinus taeda</i>	51
4.4 Balanço geoquímico nas microbacias Colônia (<i>Pinus</i>) e Mortandade (Mata Atlântica)	53
5 CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS	56
APÊNDICES	64
ANEXOS.....	67

RESUMO

Caracterização hidrológica e biogeoquímica de microbacias: uma comparação entre Mata Atlântica e *Pinus taeda* L.

No Estado do Paraná, o setor industrial de papel e celulose possui aproximadamente 200 mil hectares de área reflorestada com *Pinus*. A crescente demanda vem impulsionando a implantação de novas áreas, sendo imprescindível a otimização do uso da área que se apresenta como o fato central da sustentabilidade. Neste contexto, não somente o que diz respeito à produtividade propriamente dita, mas aspectos relativos à qualidade ambiental, como os recursos hídricos e a conservação do solo são importantes para a conservação do ecossistema. Esse trabalho teve como objetivo principal caracterizar a dinâmica hidrológica e a biogeoquímica de duas microbacias, cobertas respectivamente, por Mata Atlântica e *Pinus taeda* L. As microbacias localizadas na região centro-leste do Estado do Paraná, no Município de Telêmaco Borba, foram selecionadas com a finalidade de realizar medições de precipitação e vazão, durante o período de agosto de 2005 a julho de 2006, e principalmente quantificar o balanço dos nutrientes. De acordo com os resultados, concluiu-se que as duas microbacias apresentaram características semelhantes para a dinâmica hidrológica, para as propriedades do solo e, principalmente para o balanço geoquímico dos nutrientes. Portanto, essas constatações apóiam a hipótese para futuras comparações entre as duas microbacias e permitem inferir que prováveis mudanças que possam ocorrer poderão ser atribuídas às práticas do manejo florestal.

Palavras-chave: Microbacias; Caracterização hidrológica; Biogeoquímica; Mata Atlântica; *Pinus taeda* L.

ABSTRACT

Hydrological biogeochemical characterization of small catchments: a comparison between Rainforest and *Pinus taeda* L.

In the State of Paraná, Brasil, the pulp and paper industry holds about 200 thousand hectares of Pine plantations. An increasing demand has been stimulating the implantation of new areas and this fact requires the optimization of land use practices, that which is itself a central fact for sustainability. In this context, not only from the perspective of the productivity, itself, but also in regards to environmental aspects, such as water resources and the conservation of the soil, which are important for the conservation of the ecosystem. The main objective, of this work was to characterize the hydrological and biogeochemical dynamics of two small catchments, covered with Rainforest and *Pinus taeda* L. plantation. The catchments, located in the center east region of the Paraná State, in the municipality of Telêmaco Borba, were selected with the purpose of water balance calculation through continuous measurement of precipitation and streamflow, during the period of August of 2005 until July of 2006, and, mainly, the estimation of the catchment nutrients budget. The results showed that the two catchments presented similar characteristics in hydrological dynamics, as well as in soil properties and, mainly, in the geochemical nutrients budgets. Therefore, these evidences support the hypothesis for future comparisons between the two catchments and allow inferring that probable changes that can occur might be attributed to the practical forest management in one of them.

Keywords: Small catchments; Hydrological characterization; Biogeochemistry; Rainforest; *Pinus taeda* L.

1 INTRODUÇÃO

Nos Estados do sul do Brasil o gênero mais cultivado é o *Pinus*, sendo os principais reflorestamentos representados pelas espécies de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* (REISSMANN; WISNIEWSKI, 2000), servindo como base para a produção de celulose, sua matéria-prima também é destinada à fabricação de chapas, placas e móveis (CARON NETO, 2001). Particularmente, o Estado do Paraná detém a maior área de florestas plantadas do gênero, com aproximadamente 33% de área plantada do Brasil (SBS, 2003).

As atividades florestais geralmente são responsáveis por diversos impactos ao ecossistema, oriundos de manejos mal conduzidos, afetando assim o seu equilíbrio. As florestas, quando em equilíbrio, apresentam uma grande estabilidade no ecossistema, uma vez que os nutrientes introduzidos pela chuva e pelo intemperismo geológico estão em equilíbrio com os nutrientes perdidos para os rios e o lençol freático (POGGIANI, 1981; JORDAN, 1982).

Contudo, para florestas ditas “de rápido crescimento” como é o caso do *Pinus* e do *Eucalyptus* no Brasil, a retirada da biomassa florestal, de forma sistemática e por cortes rasos, causa desequilíbrio nutricional no ecossistema (POGGIANI, 1985), uma vez que essas florestas ocupam áreas que apresentam baixa fertilidade natural. Não obstante, é necessário entender que, em termos de consumo de água, as plantações florestais consomem mais que florestas naturais ou vegetação de menor porte (SWANK; DOUGLAS, 1975).

Como conseqüências, as plantações florestais necessitam de um monitoramento contínuo para que se garanta a sustentabilidade ecológica e econômica a médio e longo prazo. A microbacia, como a menor unidade natural da paisagem, exerce uma troca contínua de energia com o meio (WALLING, 1980) e possibilita o estudo, de forma integrada, do funcionamento do ecossistema (LIMA; ZAKIA, 1998).

Com base nesse contexto, as microbacias experimentais da Fazenda Monte Alegre, localizadas na região centro-leste do Estado do Paraná estão inseridas em um Programa Cooperativo de Monitoramento estabelecido pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

(IPEF) em parceria com a Klabin Florestal Paraná, vinculadas à Rede de Monitoramento Ambiental em Microbacias (ReMAM).

O Programa Cooperativo de Monitoramento tem como principal objetivo monitorar os impactos ambientais do manejo, possibilitando a identificação de indicadores hidrológicos para o manejo florestal sustentável (LIMA; ZAKIA, 2006). Diante de tais circunstâncias, esse estudo tem como objetivo caracterizar a dinâmica hidrológica e a biogeoquímica de duas microbacias cobertas, respectivamente, por Mata Atlântica e *Pinus taeda*. Os objetivos específicos foram:

- a. Estimar o balanço hídrico das microbacias Colônia (*Pinus taeda*) e Mortandade (Mata Atlântica) através das medições de precipitação e vazão;
- b. Caracterizar o solo nas duas microbacias;
- c. Estimar o acúmulo de biomassa aérea e a incorporação de N, P, K, Ca e Mg para o *Pinus taeda* na microbacia Colônia (*Pinus*);
- d. Estimar o balanço geoquímico nas duas microbacias para um ano hídrico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A caracterização hidrológica em microbacias

Os primeiros estudos em microbacias iniciaram-se com Hoyt; Troxell (1932) em “Wagon Whell Gap”, seguidamente em “Hubbard Brook” (LIKENS et al., 1977) e “Coweeta” (SWANK; CROSSLEY JR., 1988), fundamentados principalmente em relacionar os efeitos da cobertura florestal, do reflorestamento e da substituição da vegetação sobre a produção e qualidade da água, bem como sobre o ciclo dos nutrientes.

A microbacia pode ser definida como a menor unidade da paisagem para o estudo dos processos hidrológicos (WALLING, 1980; MOLDAN; CERNY, 1994), uma vez que exerce uma contínua troca de energia com o meio, permitindo estudos quantitativos, de forma integrada, do funcionamento do ecossistema (LIMA; ZAKIA, 1998). Uma forma abrangente e integrada de avaliação dos efeitos hidrológicos das plantações florestais é através da estimativa do balanço hídrico na escala da microbacia (SCARDUA, 1994).

Cicco (1985) apud Moster et al. (2003) salienta que o ano hídrico é caracterizado quando a capacidade de armazenamento de água na bacia hidrográfica é mínima, sendo assim determinado a partir do mês de início da estação chuvosa ao final da estação seca. Desta forma, o balanço hídrico pode ser estimado através da equação simplificada, que considera a variação de armazenamento de água no solo próxima a zero. A equação simplificada do balanço hídrico pode ser escrita por $ET = P - Q$, onde ET representa a evapotranspiração anual (mm), P a precipitação (mm) e Q o deflúvio (mm).

Os estudos em microbacias podem ser classificados através da correlação entre várias bacias, através de bacias individuais, pelo método da autocalibração e através de bacias pareadas (McCULLOCH; ROBINSON, 1993). O método de bacias pareadas consiste em relacionar duas microbacias semelhantes em termos de declividade, solo, área, clima e vegetação, tomando-se

como uma das microbacias referência (testemunha), enquanto a outra, submetida a atividades silviculturais (BROWN et al., 2005).

Swank e Douglas (1975), estudando o efeito da cobertura florestal sobre a produção de água, verificaram que a substituição de uma floresta natural por uma floresta plantada de *Pinus strobus* reduziu aproximadamente 94 mm a produção de água quando a floresta atingiu a idade de 10 anos. Brooks et al. (1991), Whitehead e Robinson (1993) e Tamm (1995) desenvolveram estudos em microbacias pareadas e concluíram que a remoção das florestas gerou um aumento no deflúvio, enquanto, áreas reflorestadas causaram um declínio na produção de água.

Tabela 1 – Balanço hídrico em microbacias contendo diferentes coberturas florestais no Brasil

Localização	Vegetação	Precipitação (mm)	Deflúvio (mm)	ET (mm)
Agudos – SP ⁽¹⁾	<i>P. elliottii</i>	1055	138	917
Cunha – SP ⁽²⁾	Mata Atlântica	2013	1473	540
Cunha – SP ⁽²⁾	Mata Atlântica	2159	1555	604
Santa Branca – SP ⁽³⁾	<i>E. saligna</i>	1329	145	1184
Itatinga – SP ⁽⁴⁾	<i>E. saligna</i>	1838	622	1216
Santa Branca – SP ⁽⁵⁾	<i>E. saligna</i>	1280	220	1060
Santa Branca – SP ⁽⁵⁾	<i>E. saligna</i>	1280	711	569
Arapoti – PR ⁽⁶⁾	<i>P. taeda</i>	1533	144	1389
Arapoti – PR ⁽⁶⁾	<i>P. taeda</i>	1308	296	1012

Nota: ⁽¹⁾ Oliveira (1989), ⁽²⁾ Arcova et al. (1998), ⁽³⁾ Vital et al. (1999), ⁽⁴⁾ Câmara; Lima (1998), ⁽⁵⁾ Ranzini; Lima (2002), ⁽⁶⁾ Oki (2002)

No Brasil, estudos desenvolvidos em microbacias experimentais também confirmaram evidências semelhantes relacionadas ao efeito da cobertura florestal sobre o consumo de água, conforme apresentado na Tabela 1. Oliveira (1989), estudou a produção e a qualidade da água em bacias contendo diferentes coberturas vegetais, na região de Agudos – SP. Em uma das bacias, reflorestada com *Pinus elliottii* de 17 anos, o autor observou uma redução na produção de água na ordem de 50% em relação ao ano anterior de medição.

Scott e Lesch (1997), na África do Sul, também estudando microbacias pareadas, observaram que houve uma redução de 30% do deflúvio a partir do terceiro ano após a substituição da vegetação de campos naturais por *Eucalyptus grandis* e por *Pinus patula*. Vital et al. (1999), na região do Vale do Paraíba – SP, observaram em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade, que durante o crescimento da floresta houve uma

gradativa diminuição na produção de água, sendo que um ano após o corte raso da floresta, um aumento no deflúvio.

Em floresta de Mata Atlântica, Arcova et al. (1998), avaliaram o balanço hídrico em duas microbacias no Parque Estadual da Serra do Mar, em Cunha – SP e verificaram que durante o período de 6 anos de monitoramento, a floresta secundária de Mata Atlântica apresentou-se conservativa em termos de consumo de água. Contudo, os autores salientam que estudos mais específicos sobre o processo de evapotranspiração da Mata Atlântica, na região de Cunha – SP precisam ser realizados, devido à entrada adicional de água proveniente da interação das florestas com as características da região.

Em Itatinga – SP, estudos realizados em um reflorestamento de *Eucalyptus saligna*, com idade de 50 anos, em sua quarta rebrota e há 16 anos sem intervenções silviculturais, mostraram que após o primeiro ano do corte raso houve um aumento de 94 mm no deflúvio anual em relação à média dos 6 anos antecedentes ao corte (CÂMARA; LIMA, 1998). Ranzini e Lima (2002) avaliaram o comportamento hidrológico de duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus*, no Vale do Paraíba – SP e observaram uma evapotranspiração média de 83% e 44%, respectivamente. Porém, um vazamento pela parede frontal e lateral do vertedor de uma das microbacias pode ter superestimado a evapotranspiração correspondente a 83%. Já Oki (2002), no Estado do Paraná, estudando duas microbacias reflorestadas com *Pinus taeda* aos 26 anos de idade, verificou que apesar da baixa precipitação, logo após o primeiro ano do corte raso da floresta, em uma das microbacias, houve um aumento no deflúvio, em relação à microbacia testemunha.

2.2 A ciclagem de nutrientes

Os nutrientes movimentam-se basicamente através de três ciclos: o ciclo geoquímico (caracterizado pela transferência dos nutrientes entre o ecossistema e seus componentes externos), o ciclo biogeoquímico (caracterizado pela movimentação dos nutrientes entre solo-vegetação) e o ciclo bioquímico (caracterizado pela redistribuição interna da planta) (SWITZER; NELSON, 1972; PRITCHETT; FISHER, 1987).

Florestas naturais ou plantadas, quando bem manejadas, têm sua produtividade mantida através da eficiência dos processos de ciclagem de nutrientes (POGGIANI, 1985). Os processos naturais associados às entradas e perdas de nutrientes como o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, determinam a disponibilidade desses elementos que são necessários em concentrações adequadas para o crescimento das plantas (WARING; SCHLESINGER, 1985).

A floresta, quando em equilíbrio, reduz ao mínimo a saída dos nutrientes do ecossistema, através da interação solo-floresta, permitindo que o solo mantenha níveis de fertilidade ao longo do tempo. Desta forma, a floresta apresenta uma grande estabilidade, em termos de nutrientes que são introduzidos no sistema, através da chuva e intemperização do solo, com os nutrientes que são perdidos para os rios e o lençol freático (LIKENS et al., 1977; POGGIANI, 1981).

Todavia, a floresta pode apresentar inúmeras respostas, quando sua estrutura, função e mecanismos regulatórios são perturbados, visto que estão relacionados à sensibilidade e à própria complexidade do sistema. Neste caso, a serapilheira, como indispensável ao processo de homeostase da floresta, funciona como elemento regulador, através da estocagem de energia e nutrientes durante o início da fase de crescimento da floresta (BORMANN; LIKENS, 1979).

As práticas silviculturais, de um modo geral, interferem no ciclo dos nutrientes causando modificações (POGGIANI, 1985), principalmente em florestas de rápido crescimento, sendo que a sustentabilidade estará diretamente relacionada, além de outros fatores, ao balanço nutricional a médio e longo prazo.

As principais fontes de entrada de nutrientes nos ecossistemas são os aportes atmosféricos, que incluem a precipitação, a deposição de poeira, deposição oculta e deposição orográfica, como também a intemperização das rochas minerais e a adubação (BRUIJNZEEL, 1991; RANGER; TURPAULT, 1999). Em termos de saída de nutrientes, a perda pode estar associada aos processos de erosão e lixiviação profunda, ao fogo e principalmente à exportação maciça de biomassa através da colheita florestal (POGGIANI; SCHUMACHER, 1997).

Tabela 2 – Entrada de nutrientes via precipitação (P) e saída via deflúvio (Q), com o respectivo balanço (B), em microbacias cobertas com diferentes coberturas florestais no Brasil

Vegetação	N			P			K			Ca			Mg		
	P	Q	B	P	Q	B	P	Q	B	P	Q	B	P	Q	B
<i>P. elliotii</i> ⁽¹⁾	3,2	0,2	3,0	..	..	..	3,0	0,2	2,8	2,0	0,5	1,5	0,9	0,1	0,8
Mata Atlântica ⁽²⁾	11,0	15,8	-4,8	..	..	..	5,1	7,1	-2,0	4,6	12,3	-7,7	0,9	4,4	-3,5
<i>E. saligna</i> ⁽³⁾	9,7	0,8	8,9	..	..	..	3,9	2,9	1,0	5,3	3,8	1,5	1,3	0,9	0,4
<i>E. saligna</i> ⁽³⁾	9,7	1,5	8,2	..	..	..	4,9	3,8	1,1	9,6	5,1	4,5	2,8	1,1	1,7
<i>E. saligna</i> ⁽⁴⁾	2,7	1,0	1,7	3,5	4,1	-0,6	1,6	2,3	-0,7
<i>E. saligna</i> ⁽⁵⁾	22,4	1,3	21,1	0,7	0,05	0,65	5,6	4,0	1,6	2,6	4,1	-1,5	0,6	1,5	-0,9
<i>E. saligna</i> ⁽⁵⁾	22,4	2,4	20,0	0,7	0,10	0,60	5,6	9,8	-4,2	2,6	6,3	-3,7	0,6	3,5	-2,9
<i>P. taeda</i> ⁽⁶⁾	3,8	0,09	3,7	0,3	0,04	0,26	8,6	1,6	7,0	19,2	3,6	15,6	1,8	1,4	0,4
<i>P. taeda</i> ⁽⁶⁾	3,8	0,10	3,7	0,3	0,03	0,27	8,6	1,1	7,5	19,2	3,8	15,4	1,8	1,1	0,7

Nota: sinal convencional utilizado: .. dado numérico não disponível; ⁽¹⁾ Oliveira (1989), ⁽²⁾ Arcova et al. (1993), ⁽³⁾ Vital et al. (1999), ⁽⁴⁾ Câmara et al. (2000), ⁽⁵⁾ Ranzini; Lima (2002), ⁽⁶⁾ Oki (2002)

No Brasil, os estudos em microbacias (Tabela 2) mostram uma grande variação na entrada de nutrientes via precipitação e saída via deflúvio. Observa-se que, poucos estudos estimaram um balanço de nutrientes em florestas nativas. Arcova et al. (1993), estudando o balanço de nutrientes em uma bacia recoberta com Mata Atlântica no Parque Estadual da Serra do Mar, em Cunha – SP verificaram um balanço negativo para todos os nutrientes.

Vital et al. (1999), em reflorestamento de *Eucalyptus saligna*, na região do Vale do Paraíba – SP verificaram um balanço positivo para todos os nutrientes. Ranzini e Lima (2002) avaliaram o comportamento hidrológico, o balanço de nutrientes e a perda de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus* no Vale do Paraíba – SP. Observaram que após os dois primeiros anos do plantio, as entradas de nitrogênio e fósforo via precipitação foram bastante significativas nas microbacias, em termos de balanço de nutrientes. Contudo, observaram um balanço negativo para os nutrientes K, Ca e Mg.

Nos ecossistemas florestais, os nutrientes são constantemente ciclados entre a biomassa e o solo, sendo que o processo de ciclagem depende das propriedades físico-químicas dos nutrientes e da sua função fisiológica, mas principalmente, do ciclo hidrológico que mantém os processos de lixiviação do solo e da biomassa, da disponibilidade no solo e da taxa de intemperismo, sendo o balanço de nutrientes do ecossistema a interação desses vários processos do meio (FLINN et al., 1979).

2.3 O estoque de nutrientes nas florestas

Segundo Poggiani e Schumacher (2000), a quantidade de nutrientes em um ecossistema florestal é representada pelos nutrientes encontrados nos diferentes compartimentos da árvore (folhas, casca, galho e lenho), vegetação do sub-bosque, serapilheira e solo. Nos compartimentos das árvores, as concentrações de nutrientes variam de uma espécie para outra, das condições do solo, do clima e da idade da floresta (POGGIANI et al., 1983; PRITCHETT; FISHER, 1987). Apesar da concentração dos nutrientes ser maior nas folhas e galhos (BURGER; RICHTER, 1991) geralmente, a seqüência do estoque de nutrientes acumulados na biomassa apresenta a seguinte ordem decrescente: folha > casca > galho > lenho (SCHUMACHER; POGGIANI 1993, BELLOTE; SILVA, 2000).

Para o gênero *Pinus*, a concentração dos nutrientes nos compartimentos das árvores pode variar entre as espécies, bem como dentro de cada espécie numa mesma idade (WATERLOO, 1994), sendo o acúmulo máximo entre 10 e 15 anos (WELLS; JORGENSEN, 1975). Segundo Gonçalves (1995), a ordem dos nutrientes mais acumulados em *Pinus* é $N > K > Ca > Mg > P$ e para *Eucalyptus* $Ca > N > K > Mg > P$, com uma quantidade de nutrientes exportados muito maiores para as espécies de *Eucalyptus* relativamente às de *Pinus*, para os nutrientes K, Ca e Mg.

Contudo, pode haver uma inversão na concentração dos nutrientes, K e Ca, provavelmente associada à mobilidade do K, encontrado em maior concentração nas folhas, com maior mobilidade dos órgãos mais velhos para os mais jovens, não ocorrendo o mesmo com o Ca (MALAVOLTA, 1980). Laclau et al. (2003) estudando plantios de *Eucalyptus* no Congo, verificaram que a retranslocação de nutrientes no lenho durante o crescimento das árvores foi contínuo para N e Ca após 9 anos. Contudo, P, K, e Mg foram pouco incorporados na biomassa até o fim da rotação.

Castro et al. (1980) avaliaram a distribuição da biomassa e dos nutrientes em 3 talhões de *Pinus oocarpa*, com 8, 14 e 18 anos de idade, em Agudos – SP. Verificaram que a biomassa se distribuiu da seguinte forma: 14% na copa, 13% na casca e 73% no lenho, embora a distribuição

dos nutrientes correspondesse a 37% na copa, 15 % na casca e 48% no lenho. La Torraca et al. (1984) em estudo sobre recrutamento e exportação de nutrientes de *Pinus elliottii* var. *elliottii* aos 24 anos, na região de Agudos – SP, observaram que a ordem de retirada total de macronutrientes seguia a ordem de $N > K > Mg > Ca = S > P$.

Já Oki (2002), através da avaliação da biomassa e dos nutrientes para um plantio de *Pinus taeda* com 26 anos de idade, verificou que o lenho apresentava 75% da biomassa aérea, sendo 16%, 6,0% e 3,0% da biomassa, respectivamente verificado para galhos, acículas e casca. Sendo a ordem de retirada dos nutrientes pela exploração do tronco $N > Ca > Mg > K > P$.

Valeri (1988), em Telêmaco Borba – PR avaliou a quantidade de biomassa e nutrientes nos diversos compartimentos de *Pinus taeda*, aos 10 anos e verificou as seguintes quantidades totais de macronutrientes: 655 kg ha⁻¹ de N, 49 kg ha⁻¹ de P, 174 kg ha⁻¹ de K e 218 kg ha⁻¹ de Ca. Moro (2005) estudando a exportação de nutrientes em plantios de *Pinus taeda*, baseado em volume estimado pelo sistema SISPINUS, observou que os nutrientes exportados pela casca e pelo lenho apresentaram a seguinte ordem de exportação: $N > Ca > K > Mg > P$.

Já os nutrientes transferidos através da deposição da serapilheira são geralmente reutilizados para o crescimento da própria floresta (POGGIANI, 1981), sendo este o principal caminho de transferência do carbono, do nitrogênio, do fósforo e do cálcio ao solo. Todavia, o potássio é transferido principalmente pela precipitação interna na floresta.

Cunha et al. (1993), em estudo sobre a dinâmica de nutrientes em Floresta Estacional Decidual, em diversas áreas do Rio Grande do Sul, observaram que a produção anual de serapilheira foi de 7,76 t ha⁻¹, com deposição anual no solo de 206 kg ha⁻¹ de N, 11,2 kg ha⁻¹ de P, 37,8 kg ha⁻¹ de K, 269,2 kg ha⁻¹ de Ca e 29,9 kg ha⁻¹ de Mg.

Bray e Gorham (1964) observaram que geralmente há uma relação entre a quantidade de serapilheira depositada anualmente e a idade das árvores. Em geral, o aumento da deposição da serapilheira é observado até a idade em que as árvores atingem a maturidade ou fecham suas copas, ocorrendo posteriormente um ligeiro decréscimo ou estabilização, sendo que a deposição

ocorre por influência de diversos fatores, como o clima, o solo, as características genéticas da espécie, a idade e a densidade do plantio (JORGENSEN, 1980).

Reissmann e Wisniewski (2000) salientam que para o *Pinus*, os fluxos de entrada, saída e armazenamento de nutrientes na serapilheira devem ser estudados e considerados nas decisões do manejo florestal, uma vez que esses fluxos são importantes para o atendimento da demanda nutricional das árvores.

Tabela 3 – Quantidade de serapilheira acumulada ($t\ ha^{-1}$) e macronutrientes ($kg\ ha^{-1}$) para plantios de *P. taeda*, em várias idades

Idade (anos)	Quantidade	N	P	K	Ca	Mg	Referência
7	7,6	61,8	4,8	8,6	41,8	8,2	Valeri (1988)
10	19,7	161,5	10,7	9,2	61,3	9,7	Valeri (1988)
14	24,3	185,0	13,4	8,4	87,5	14,2	Valeri (1988)
15	43,3	285,3	25,5	18,2	67,5	17,0	Trevisan (1992)
15	83,9	826,3	42,5	35,2	66,4	18,1	Trevisan (1992)
15	64,4	725,0	42,2	22,2	64,0	8,9	Trevisan (1992)
19	37,4	292,5	10,4	14,8	86,1	12,1	Lopes; Garrido (1983)
24	14,0	106,1	5,0	11,8	86,9	14,2	Haag et al. (1978)

Fonte: Adaptado de Reissmann e Wisniewski (2000)

De acordo com os vários estudos sobre a produção de serapilheira de *Pinus*, Reissmann e Wisniewski (2000) observaram que grandes quantidades são acumuladas sobre o solo, formando horizontes muito espessos. Este acúmulo é atribuído, geralmente, à dificuldade de decomposição do material, ficando armazenadas grandes quantidade de nutrientes, principalmente de N, P e Ca, agravando os problemas nutricionais em área de pouca fertilidade dos solos (Tabela 3).

Todavia, a produção de biomassa, também é fortemente dependente da disponibilidade potencial de nutrientes do solo. Segundo Gonçalves (1990) a camada de solo de 0 – 20 cm apresenta teores de nutrientes mais relacionados com o crescimento das árvores, sendo essa camada onde ocorrem mais intensivamente os processos de absorção de nutrientes pelas raízes.

Pritchett e Fisher (1987) consideram que estabelecer uma amostragem representativa em áreas florestais é extremamente difícil, uma vez que faltam informações quanto à profundidade de amostragem mais correta. Gonçalves (1995), também relata que, embora as análises de solo tenham apresentado métodos práticos e viáveis de avaliação da fertilidade, existem dificuldades quanto à interpretação desses resultados. Para o gênero *Pinus*, ainda encontram-se poucas informações sobre as exigências nutricionais, tampouco informações sobre curvas de calibração de nutrientes.

2.4 Implicações para o manejo florestal

O manejo florestal, sob um contexto histórico esteve sempre relacionado a aspectos silviculturais e biológicos das florestas. Contudo, com a expansão das áreas florestais o manejo começou a estabelecer e englobar diversos parâmetros, através de estudos e técnicas analíticas para auxílio e escolha de alternativas de manejo. Assim, o manejo florestal integra todos os fatores biológicos, sociais e econômicos que afetam as decisões sobre a floresta, havendo uma inter-relação entre os fatores (LEUSCHNER, 1984).

O conceito de manejo florestal, pelas suas múltiplas dimensões e escalas, deve ser avaliado essencialmente dentro de cada escala da paisagem. O primeiro nível do manejo de florestas plantadas refere-se à escolha adequada das espécies, no que diz respeito a sua adequação às condições de solo e clima, bem como da interação com o meio. Ao passo que, o próximo nível caracteriza-se pela própria unidade de manejo, em termos de indicadores para avaliação da sustentabilidade do solo, da água, as microbacias, da biodiversidade entre outros componentes da paisagem. Na seqüência, a microbacia representa a escala da água, como sendo um dos recursos mais importantes da sustentabilidade. Nessa escala, o monitoramento apresenta-se adequado para a obtenção de respostas das práticas de manejo, relacionados principalmente a hidrologia e a manutenção da capacidade produtiva do solo ao longo do tempo. Ao final, seguindo-se para escalas da ordem da paisagem, da região e da própria manutenção da biosfera (LIMA; ZAKIA, 2006).

Sob a ótica do manejo florestal, portanto, o solo e a água são considerados como os recursos mais importantes para a sustentabilidade. De acordo com Barros et al. (2000), o manejo florestal requer o entendimento do balanço nutricional, dependendo principalmente das estimativas dos fluxos de entrada e saída de nutrientes. Nesse sentido, a produtividade florestal nem sempre se apresenta como uma forma de avaliação da manutenção da produtividade do solo, uma vez que depende principalmente dos efeitos associados às práticas de manejo e as técnicas silviculturais empregadas.

Segundo Reissmann e Wisniewski (2000), as espécies do gênero *Pinus* demonstram uma capacidade extraordinária de gerenciamento dos recursos nutricionais em solos de baixa fertilidade, apresentando rápido crescimento sem manifestar sintomas visuais de deficiência. Contudo, sob esse ponto de vista, tais aspectos reforçaram a expectativa de que plantios com a espécie dispensariam grandes cuidados com a fertilização.

No entanto, estudos têm demonstrado que o *Pinus* responde menos à adubação que o *Eucalyptus*. Para espécies do gênero *Pinus*, os melhores resultados foram obtidos na aplicação de fósforo, potássio e cálcio, magnésio na forma de calcário, observando-se que o nitrogênio se apresentou prejudicial ao desenvolvimento das árvores (HAAG, 1983). Reissmann et al. (1990), em estudo realizado na região de Ponta Grossa e Telêmaco Borba, no Estado do Paraná, verificou que o *Pinus taeda* apresentou mais sensibilidade às propriedades do solo e mais exigência em nutrientes quando comparado ao *Pinus elliottii*.

Balloni, Jacob e Simões (1978), em experimentos de adubação de *P. elliottii* e *P. taeda* já haviam verificado respostas positivas para a adubação fosfatada, mas ausência de resposta aos demais nutrientes. Muniz et al. *apud* Carvalho et al. (1983) verificaram que para as espécies de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, aos 7 anos de idade, a adubação nitrogenada foi prejudicial ao crescimento das plantas, devido ao alto teor de matéria orgânica do solo. Sobretudo, para o *Pinus taeda*, a adubação fosfatada apresentou um efeito linear no crescimento das plantas.

Laso Garicoits (1990), constatou que o crescimento do *P. taeda* foi fortemente afetado mediante limitações de disponibilidades de P, K, Mg e Zn, destacando como mais limitantes K e Zn. Vogel (2003), verificou que houve resposta positiva para o P e K, demonstrando a importância desses nutrientes no crescimento inicial do *P. taeda*. Já em condições de solos arenosos e de baixa fertilidade o *P. taeda* apresentou resposta positiva à aplicação de K, Mg e B (SILVA et al., 2003).

Vogel et al. (2005), estudaram o efeito de diferentes doses de N, P e K no crescimento inicial de plantas de *Pinus taeda*, aos 19 meses de idade e verificaram que o P apresentou resposta linear e quadrática significativa no crescimento inicial, com máximo ganho de volume cilíndrico, nas doses de 64 e 87 kg ha⁻¹, respectivamente de P₂O₅ e K₂O.

Bizon (2005), estudou diferentes sítios de produtividade do *Pinus taeda*, no sul do Estado de São Paulo e noroeste do Estado do Paraná, com o objetivo principal de avaliar a sustentabilidade nutricional desses plantios, através da entrada e saída de nutrientes. Através de estimativas de produção e do estoque de nutrientes para o ciclo de 25 anos, simulou vários cenários de manejo, utilizando métodos de colheita (remoção do lenho ou total da árvore), manejo de resíduos (cultivo mínimo e queima) e de erosão (nula ou perdendo 2 cm por rotação), necessários para zerar o estoque do sistema solo-floresta. Os resultados mostraram que, através da análise do número de ciclos, o nitrogênio foi o único elemento que não apresentou nenhum balanço positivo, independentemente do cenário de manejo. Verificando também que a ordem de risco de limitação nutricional observada foi de N > P > Mg > K > Ca, através do número de balanços positivos e ciclos médios de balanços negativos.

Não obstante, para o manejo florestal também é importante se conhecer a relação existente entre o consumo de água dos reflorestamentos e seus respectivos incrementos volumétricos. Lima (1996) afirma que a fase inicial de crescimento corresponde ao período em que as plantações de *Eucalyptus*, assim como de outras espécies, demandam as maiores quantidades de água. Portanto, a eficiência do uso da água da floresta corresponde à taxa de biomassa produzida por unidade de água evapotranspirada (SANDS; MULLIGAN, 1990).

Huber e Trecaman (2004) estudaram na região centro sul do Chile, a eficiência do uso da água de plantios de *Pinus radiata*, entre 11 e 15 anos de idade, sob diferentes práticas de manejo. Verificaram que a quantidade de água necessária para produzir um m³ de volume de madeira, variou entre 241 e 717 m³, principalmente influenciados pela densidade dos plantios, pela temperatura e pelas características do solo.

Stape et al. (2004) estudaram na região noroeste do Brasil, durante 2 anos, a eficiência do uso da água de um plantio clonal de 3,4 anos de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*, em solo arenoso. Verificaram que a eficiência do uso da água na parcela controle aumentou nos anos normal e chuvoso, respectivamente 1,8 e 3,3 kg de madeira/m³ de água, sendo que na parcela irrigada a eficiência do uso da água aumentou em 75% no ano normal e 18% no ano chuvoso. Portanto, concluíram que a eficiência do uso da água tende a ser maior com a maior disponibilidade de água.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado nas microbacias Mortandade (Mata Atlântica) e Colônia (*Pinus*) localizadas na parte central da Fazenda Monte Alegre (Figura 1), pertencente à Klabin Florestal Paraná. A Fazenda situa-se entre as latitudes 24°02'02" e 24°27'48" e as longitudes 50°17' e 50°55', Município de Telêmaco Borba, região centro-leste do Estado do Paraná, a 250 km de distância de Curitiba, em uma altitude média de 885 metros. As microbacias estão inseridas na bacia do Rio Tibagi, principal afluente do Rio Paranapanema, com uma rede hidrográfica de 65 afluentes maiores, compondo a região de captação da grande bacia do Rio Paraná.

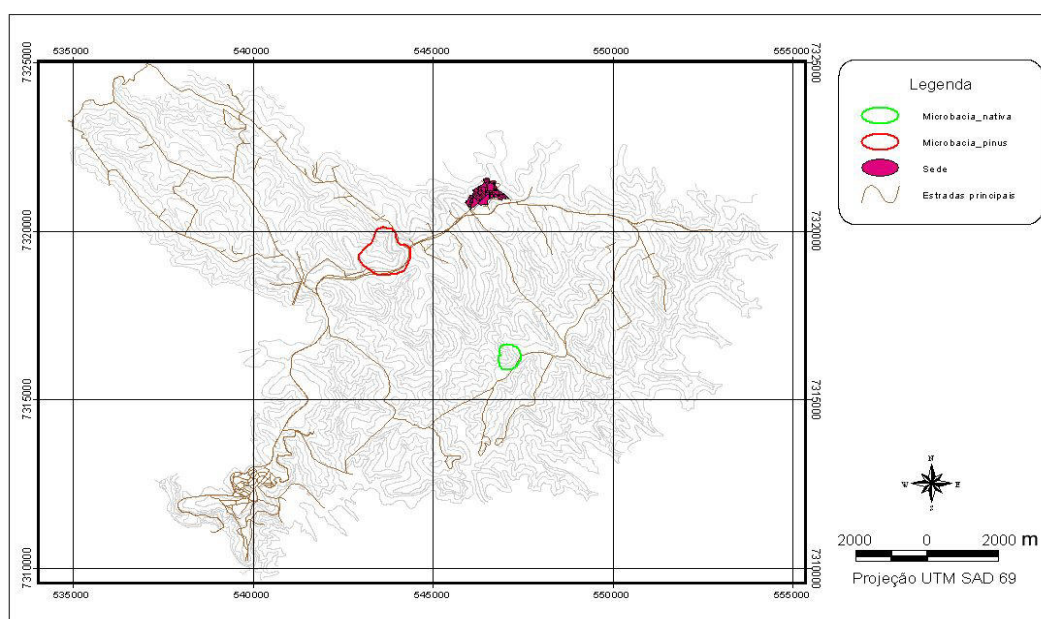


Figura 1 – Localização das microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) na parte central da Fazenda Monte Alegre, distantes em linha reta aproximadamente 4900 metros

A Klabin Florestal Paraná possui uma área total de 220 mil hectares, sendo 120 mil de floresta plantada e 85 mil hectares de Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL). O *Pinus taeda* é a espécie mais plantada, com 66 mil hectares (54,9%), em seguida com

Eucalyptus spp. com 34 mil (29,1%), *Pinus elliottii* com 10 mil (8,7%) e 9 mil (7,3%) com outras espécies (BLOOD, 2005).

O clima, segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfa/Cfb, caracterizado como subtropical transicional para o temperado, úmido mesotérmico, sem estação seca definida. Os verões são quentes e tendem à concentração de chuvas e, no inverno, as geadas ocorrem com pouca frequência. A temperatura média anual é de 19,3 °C, com temperatura de 22,2 °C no mês mais quente (janeiro a fevereiro) e temperatura de 15,6 °C no mês mais frio (junho e julho). A precipitação média anual é de 1500 mm, com um excedente hídrico de 767 mm (BLOOD, 2005).

3.2 Caracterização das microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica)

3.2.1 Microbacia Colônia (*Pinus*)

As atividades na microbacia se iniciaram em 1958. Contudo, antes desse período a área havia sido ocupada por uma “colônia” de moradores motivo pelo qual a microbacia recebeu este nome. O primeiro plantio foi em 11,6 ha de *Eucalyptus* spp. em área originalmente de campo, sendo que em 1963 um incêndio de grandes proporções na região, atingiu a Fazenda Monte Alegre destruindo aproximadamente 3 ha de área plantada na microbacia. No ano de 1964 foram plantados mais 15 ha com *Pinus elliottii* var. *elliottii* e em 1974, em área originalmente ocupada por floresta foram plantados 54 ha com *Pinus taeda*.

A microbacia Colônia (*Pinus*) com 135,81 ha, atualmente está reflorestada com 70% de *Pinus taeda*, com idade de 4 e 8 anos, 8% com *Eucalyptus grandis* e 22% ocupados com Área de Preservação Permanente (ANEXO A). O preparo do solo na área do plantio consistiu no rebaixamento das galhadas e no enleiramento da vegetação, sem a realização da queima dos resíduos.

A adubação foi realizada pós-plantio somente nos talhões de *E. grandis* (13 anos) e *P. taeda* (8 anos) com a aplicação de 5 t ha⁻¹ de cinzas de biomassa, composta por 0,05% de N, 0,35% de P, 3,8% de K, 14% de Ca e 2,6% de Mg oriundas das caldeiras da fábrica. No talhão de

E. grandis já foram realizados 2 desbastes, atualmente restando 220 árvores ha⁻¹ e no *P. taeda* de 8 anos foram realizadas 3 desramas, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Informações sobre o plantio e tratos silviculturais na microbacia Colônia (*Pinus*)

Talhão	Plantio (anos)	Área (ha)	Espaçamento (m)	Desrama (ano)	Desbaste (ano)	Uso anterior do solo
86	1992	11,6	2,5 x 2,5	..	1997, 2001	<i>Eucalyptus</i> spp.
88	1997	15,1	2,5 x 3,0	2001, 2003, 2005	..	<i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i>
135	2001	22,6	3,0 x 2,0	..	..	<i>Pinus taeda</i>
136 A	2001	13,9	3,0 x 2,0	..	..	<i>Pinus taeda</i>
137 B	2001	17,5	3,0 x 2,0	..	..	<i>Pinus taeda</i>

Nota: sinal convencional utilizado: .. não se aplica dado numérico; Talhão 86: *Eucalyptus grandis*; Talhões 88, 135, 136 A, 137 B: *Pinus taeda*

O manejo silvicultural empregado para o *Pinus* é o alto fuste. A condução do reflorestamento consiste na realização de 4 desbastes, respectivamente aos 7, 10, 13 e 16 anos de idade. A primeira desrama é realizada na idade dos 3 aos 4 anos, com 50% da altura total, a segunda dos 5 aos 6 anos (4,5 metros) e dos 7 aos 9 anos, até a altura de 6 metros. Plantios com finalidade para serraria são desbastados aos 9 e 14 anos, com o corte final aos 20 anos de idade e para celulose o corte final realiza-se aos 14 anos (BLOOD, 2005).

O *Eucalyptus* é conduzido por talhadia. Os plantios destinados para serraria são desbastados apenas aos 4 e 7 anos, com o corte raso aos 20 anos de idade, sendo que para celulose, esses desbastes são realizados, respectivamente aos 6, 13 e 21 anos. A desrama ocorre de 20 a 30 meses até 5 metros de altura e, posteriormente, dos 48 aos 60 meses, de 8 até 9 metros de altura (BLOOD, 2005).

Na Tabela 5, são apresentadas as características dendrométricas do *P. taeda* e do *E. grandis*, com base no inventário realizado na microbacia Colônia (*Pinus*) em junho de 2005. O volume total por hectare foi calculado pela equação volumétrica desenvolvida pela empresa para *P. taeda* (Equação 1) e *E. grandis* (Equação 2).

$$Vol = \exp(-11,713717 + 2,203391.\ln(D) + 1,270715.\ln(H)) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$Vol = \exp(-10,406874 + 1,885760.\ln(D) + 1,135186.\ln(H)) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

Vol = volume da árvore com casca (m^3)

D = DAP da árvore (cm)

H = altura total da árvore (m)

Tabela 5 – Características dendrométricas de DAP (diâmetro a altura do peito), H (altura total), G (área basal) e volume com casca dos talhões da microbacia Colônia (*Pinus*)

Talhão	Idade (anos)	Área (ha)	Árvores/ha	DAP (cm)	H (m)	G ($m^2 ha^{-1}$)	Volume ($m^3 ha^{-1}$)
86	13	11,6	222	26,9 (4,0)	34,3 (3,3)	12,9 (0,070)	190,2 (1,2)
88	8	15,1	1141	18,6 (4,7)	13,2 (2,4)	33,0 (0,027)	186,4 (0,233)
135	4	22,6	905	7,9 (2,1)	5,5 (1,1)	4,7 (0,004)	7,5 (0,009)
136 A	4	13,9	1017	7,1 (1,8)	4,9 (1,1)	4,3 (0,005)	5,8 (0,010)
137 B	4	17,5	1163	7,9 (2,2)	5,4 (1,2)	6,2 (0,005)	9,7 (0,012)

Nota: Talhão 86: *Eucalyptus grandis*; Talhões 88, 135, 136 A, 137 B: *Pinus taeda*. Desvio-padrão apresentado entre parêntesis

3.2.2 Microbacia Mortandade (Mata Atlântica)

A microbacia Mortandade com uma área total de 36,71 ha é coberta com uma vegetação caracterizada pela transição entre a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Semidecidual, bioma Mata Atlântica (IBGE, 2004). A ocorrência de *Araucaria angustifolia* limita-se perto dos 800 metros de altitude e espécies típicas da Floresta Estacional Semidecidual passam a ser observadas como a *Aspidosperma polyneuron* (peroba-rosa) (TOREZAN, 2002).

A microbacia está inserida dentro do Parque Ecológico, que abrange uma área de 11 mil ha da Fazenda Monte Alegre. Para o inventário das espécies florestais na microbacia foram abertos 3 transectos com a instalação de 26 parcelas circulares de 8 metros de raio, mantendo-se uma distância fixa de 25 metros entre parcelas, totalizando 0,5 ha amostrados (ANEXO B). Todos os indivíduos com DAP (diâmetro a altura do peito) maior que 5 cm foram amostrados e a altura total estimada com a ajuda do aparelho VERTEX III.

A Tabela 6 apresenta as características dendrométricos do inventário das espécies florestais realizado parcialmente na área da microbacia Mortandade (Mata Atlântica).

Tabela 6 – Características dendrométricos de DAP (diâmetro a altura do peito), H (altura total), G (área basal) e volume com casca das espécies florestais da microbacia Mortandade (Mata Atlântica)

Transecto/Parcela	Nº indivíduos	DAP (cm)	H (m)	G (m ² ha ⁻¹)
T1/P1	23	17 (16,5)	13,7 (7,6)	48,8 (4,2)
T1/P2	10	26 (16,7)	21,9 (11,4)	36,0 (4,3)
T1/P3	5	26 (9,6)	17,7 (2,7)	14,3 (1,9)
T1/P4	7	16 (7,9)	14,0 (4,4)	8,9 (1,0)
T1/P5	7	19 (11,4)	17,8 (6,7)	12,5 (2,0)
T1/P6	10	17 (11,4)	15,7 (8,1)	15,4 (1,8)
T1/P7	13	19 (16,2)	14,6 (4,4)	30,6 (3,2)
T1/P8	13	20 (31,0)	11,8 (10,9)	65,4 (12,1)
T1/P9	13	29 (20,9)	17,7 (8,1)	64,1 (6,8)
T1/P10	8	27 (27,0)	17,6 (8,4)	42,6 (8,8)
T1/P11	9	44 (32,7)	22,3 (10,4)	101,0 (18,0)
T2/P1	23	15 (11,1)	12,9 (5,6)	30,7 (2,1)
T2/P2	9	23 (14,0)	16,7 (5,9)	24,7 (3,5)
T2/P3	9	25 (14,4)	16,0 (6,0)	28,3 (3,4)
T2/P4	17	23 (17,9)	14,4 (5,9)	56,3 (4,9)
T2/P5	11	14 (10,2)	12,0 (7,4)	12,7 (1,2)
T2/P6	14	16 (5,1)	15,8 (4,7)	14,9 (1,1)
T2/P7	10	20 (13,6)	15,2 (4,1)	22,6 (2,3)
T2/P8	9	36 (35,5)	19,2 (10,2)	84,9 (9,4)
T3/P1	9	22 (16,6)	15,7 (8,5)	26,1 (4,2)
T3/P2	7	27 (17,5)	17,1 (5,0)	26,5 (4,3)
T3/P3	21	22 (16,4)	16,3 (7,3)	61,3 (4,4)
T3/P4	12	19 (26,4)	15,0 (11,1)	46,2 (11,1)
T3/P5	8	20 (12,5)	17,6 (7,4)	16,8 (2,5)
T3/P6	8	29 (24,9)	19,4 (10,0)	42,5 (9,2)
T3/P7	5	21 (16,2)	16,9 (6,5)	12,9 (2,8)
Média	11 (5,0)	22,7 (6,7)	16,3 (2,6)	36,4 (24,0)

Nota: Desvio-padrão apresentado entre parêntesis

Devido ao próprio processo de ocupação do solo no Estado do Paraná, aliado à exploração madeireira ocorrida no início do Século XX (SCHUCHOVSKI, 2003) e ao incêndio florestal ocorrido na Década de 60, a cobertura vegetal natural está na fase de sucessão secundária, conforme inventário das espécies florestais realizado parcialmente na área (Tabela 6). Observou-se nas áreas mais declivosas e de difícil acesso árvores remanescentes da vegetação primária, como uma *Araucaria angustifolia* com mais de 40 metros e um DAP de 112 cm.

O levantamento florístico foi parcialmente realizado em 3 áreas de 200 m², equidistantes entre si, representando a situação a partir das chamadas “matas de planalto” em

sentido às “matas ciliares”, totalizando 600 m². O material botânico foi identificado no Departamento de Ciências Biológicas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo e, posteriormente, incorporado ao Herbário da Klabin Papéis do Paraná. Foram identificados 90 indivíduos, entre árvores e arbustos, distribuídos em 19 espécies, 6 gêneros e 16 famílias, das quais se destacaram Meliaceae, Lauraceae, Monimiaceae, Moraceae, Myrtaceae e Fabaceae (ANEXO C).

Contudo, é importante ressaltar que levantamentos mais específicos de inventário fitossociológico e florístico das espécies florestais abrangendo toda a área da microbacia Mortandade (Mata Atlântica) deverão ser realizados com o propósito de avaliar melhor as condições gerais da cobertura vegetal.

3.2.3 Caracterização do solo

A formação geológica das microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) pertence à Formação Itararé, composta por sedimentos depositados em condições muito complexas, no Período Carbonífero e Permiano da Era Paleozóica (MAACK, 1948). Localizada no Segundo Planalto Paranaense ou Planalto Ponta Grossa, próximo à borda leste da Bacia Sedimentar, entre 600 e 1000 metros, a formação é constituída por rochas sedimentares glaciais, destacando-se os tilitos, arenitos fluvio-glaciais e menos comuns, siltitos, varvitos, argilitos e folhelhos.

O levantamento de reconhecimento semi-detalhado dos solos da Fazenda Monte Alegre realizado em 1992 classificou como predominantes os Latossolos Vermelhos Escuros (LE) em 57% da área da microbacia Colônia (*Pinus*), observando-se a presença de Cambissolos (C) e Argissolos próximos aos canais, como mostrado na Figura 2. O Latossolo Vermelho Escuro (LE) apresenta textura muito argilosa no horizonte “A” moderado, com relevo variando de suave ondulado a ondulado, muito profundo com seqüência de horizonte A-Bw-C, o Cambissolo (C) com textura franco arenosa no horizonte “A” moderado, álico e relevo ondulado e o Argissolo com textura franco argilosa no horizonte “A” moderado, álico e relevo ondulado (BLOOD, 2005).

Na microbacia Mortandade (Mata Atlântica) o solo é predominantemente Neossolo litólico (LI), com textura franca no horizonte “A” proeminente, álico, relevo ondulado e profundidade menor que 50 cm (Figura 2).

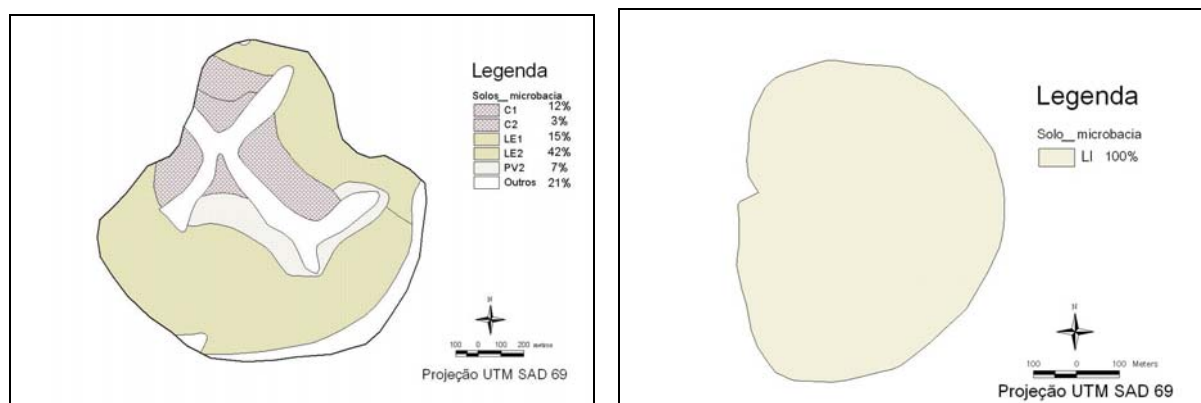


Figura 2 – Mapa de solos das microbasias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica)

As amostragens de solo nas microbasias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) foram realizadas em junho de 2006 nas profundidades de 0 – 20, 20 – 60 e 60 – 100 cm, em 18 parcelas da microbacia Colônia (*Pinus*) e 14 parcelas da microbacia Mortandade (Mata Atlântica). Em cada parcela foram retiradas amostras de solo em 5 pontos e homogeneizadas para que se obtivesse uma amostra composta da parcela. Deste modo, cada parcela obteve 3 amostras compostas, as quais corresponderam as 3 profundidades amostradas.

As amostras foram pesadas e secas em estufa a 45 °C até peso constante, sendo peneiradas em tela de malha de 2 mm e encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ciências Florestais, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. As análises química e granulométrica foram determinadas segundo metodologia descrita por Raij (2001).

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, a matéria orgânica por colorimetria, fósforo, potássio, cálcio e magnésio por espectrofotometria. Na análise granulométrica foram determinados os teores de areia total, silte e argila. A variabilidade do solo entre as microbasias foi calculada através do teste “t” com nível de significância a 5%.

3.3 Caracterização da dinâmica hidrológica

3.3.1 Medições de precipitação e vazão

As características morfométricas das microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Características morfométricas das microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica)

Características morfométricas	Colônia (<i>Pinus</i>)	Mortandade (Mata Atlântica)
Área (ha)	135,81	36,71
Perímetro (m)	4567	2242
Orientação	SE – NO	L – O
Fator de forma (Kf)	0,84	1,10
Densidade de drenagem (Dd)	1,58	1,77
Índice de circularidade (Ic)	0,82	0,92
Coefficiente de compacidade (Kc)	0,94	1,71
Razão de alongação (Re)	1,03	1,18
Comprimento do canal principal (m)	1274	578
Comprimento do canal secundário (m)	2146	650
Ordem da microbacia (Strahler, 1957)	2 ^a	2 ^a

Fonte: Base de dados da ReMAM (2005)

As microbacias Mortandade (Mata Atlântica) e Colônia (*Pinus*) foram instrumentadas em março de 2004, com a instalação das estações linimétrica e pluviométrica (Figuras 3 e 4). Para o estudo foram realizadas medições de precipitação e vazão durante o período de agosto de 2005 a julho de 2006, correspondente a um ano hídrico.

O cálculo da vazão para a microbacia Mortandade foi realizado através das seguintes equações para o vertedor composto (triangular truncado + retangular de parede delgada), conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Equações para o cálculo da vazão ($m^3 s^{-1}$) para a cota h (m) da microbacia Mortandade (Mata Atlântica)

Secção	Equação para cálculo da vazão	h
Vertedor desassoreado	$Qd = 0,001(6173,7H^3 + 1574,8H^2 - 49,36H + 0,1361)$	$0,050 \leq H \leq 0,240$
	$Qd = 0,001(-974,37H^3 + 348,7H^2 + 274,88H - 90,626)$	$0,241 \leq H \leq 0,461$
	$Qd = 0,001(-2571,4H^3 + 10480H^2 - 4345,8H + 705,42)$	$0,461 \leq H \leq 1,15$



Figura 3 – Estação linimétrica da microbacia Mortandade – Mata Atlântica. A = vertedor composto; B = Plataforma de sedimentação; C Tanque principal de sedimentação e tranquilizador do fluxo; D = Régua linimétrica; E = Cilindro de abrigo do linígrafo; F = Caixa do *datalogger*; G = Pluviômetro para coleta de água; H = Pluviógrafo; I = Painel solar

Para as vazões abaixo do limite crítico de 0,05 metros (Equação 4) foi utilizada a seguinte formulação conceitual (Bos, 1976):

$$Q = Ce^{\frac{8}{15}} (2g)^{0.50} \tan^{\left(\frac{\theta}{2}\right)} h^{2.50} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

Q = vazão (m^3/s)

Ce = coeficiente de vazão (adimensional), estimado a partir das dimensões do vertedor

g = aceleração da gravidade

$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \theta$ = ângulo do vertedor triangular (no caso 150°)

h = altura (m)



Figura 4 – Estação limimétrica da microbacia Colônia – eflorestamento de *Pinus taeda*. A = vertedor triangular; B = Plataforma de sedimentação; C = Tanque principal de sedimentação e tranqüilizador do fluxo; D = Régua limimétrica; E = Cilindro de abrigo do linígrafo; F = Caixa do *datalogger*

Para a microbacia Colônia (*Pinus*), o cálculo da vazão foi realizado através das seguintes equações para o vertedor triangular de crista curta (Tabela 9):

Tabela 9 – Equações para o cálculo da vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) para a cota h (m) da microbacia Colônia (*Pinus*)

Secção	Equação para cálculo da vazão	h
Vertedor triangular de crista curta	$Q = 0,001(3547,1H^3 + 605,16H^2 - 7,1822H + 0,0366)$	$0,030 \leq H \leq 0,317$
	$Q = 0,001(4078,2H^3 - 2623,6H^2 + 2279H - 417,1)$	$> 0,317$

As medições de vazão foram realizadas através da aplicação das equações (Tabelas 8 e 9) a partir da leitura da cota, pelo linígrafo, localizado sobre o poço tranqüilizador acoplado ao tanque principal. As medições da precipitação foram registradas por um pluviógrafo instalado próximo à estação limimétrica, sendo os registros de cota e precipitação armazenados

em sistema digital (*datalogger*), planilha eletrônica, arquivo extensão (.dat) em intervalos de 10 minutos, descarregados quinzenalmente.

Nas estações linimétricas e pluviométricas foram coletadas amostras de água do deflúvio e da precipitação, quinzenalmente, para determinação da concentração de nutrientes. As amostras coletadas foram conservadas a +4 °C e encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ciências Florestais, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

As concentrações de nitrato, fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram determinadas de acordo com métodos padronizados pela American Public Health Association (1975). O potássio, o cálcio e o magnésio foram determinados por espectrofotometria, o nitrato através do método da brucina e o fósforo por colorimetria. O fluxo de nutrientes do deflúvio e da precipitação foi determinado multiplicando-se a concentração de nutrientes pelos seus respectivos volumes quinzenais.

3.3.2 Determinação do ano hídrico e balanço hídrico

O ano hídrico foi determinado segundo Moster et al. (2003), com base no Balanço hídrico normal mensal para a região de Telêmaco Borba – PR calculado pelo método de Thornthwaite; Mather (1955), com dados climatológicos de 1971 a 1996 (SENTELHAS et al., 1999). A partir da determinação do ano hídrico, utilizou-se a equação simplificada do balanço hídrico, pelo método do balanço de massa, considerando-se a variação de armazenamento de água no solo como um valor próximo à zero.

A equação simplificada do balanço hídrico das microbacias para o período de um ano hídrico é apresentada na Equação 3. Para efeito de comparação do balanço hídrico entre as microbacias e verificação dos dados da precipitação mensal foi determinada a curva de dupla massa.

$$ET = P - Q \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:

ET = evapotranspiração (mm)

P = precipitação (mm)

Q = deflúvio (mm)

3.4 Estimativa da biomassa aérea e mineralomassa estocada

Os métodos utilizados para a quantificação da biomassa e mineralomassa na microbacia Colônia (*Pinus*) foram adaptados de Laclau et al. (2000). A biomassa aérea e a mineralomassa foram estimadas a partir da amostragem de 30 árvores, 10 árvores para cada idade de 4 e 8 anos do *Pinus taeda* e 13 anos do *Eucalyptus grandis*, observando-se que as mesmas não estivessem mortas, bifurcadas, quebradas ou inclinadas pelo vento, com base em classes de área basal determinadas através do inventário florestal realizado em junho de 2005 (ANEXO D).

As árvores selecionadas foram derrubadas, sendo separados os compartimentos de folhas/acículas, galhos, casca e lenho. O lenho para *Pinus taeda* foi seccionado a cada 2 metros e para *Eucalyptus grandis* a cada 3 metros. O diâmetro, a altura e as pesagens foram todas mensuradas no campo (APÊNDICE A). Amostras dos compartimentos foram separadas para a determinação da umidade e para análise química, em sacos de papel, devidamente etiquetadas e levadas para secagem em estufa à temperatura de 65 °C até peso constante e o material moído em moinho tipo Willey, com malha 10 mesh.

Após processadas, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ciências Florestais, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, para determinação das concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, segundo metodologia de Malavolta et al. (1997). O nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl, o fósforo e o enxofre por colorimetria e os elementos potássio, cálcio e magnésio por espectrofotometria.

Para a análise de regressão foi elaborada uma tabela com a biomassa e a concentração dos nutrientes para cada compartimento, espécie e idade, com os respectivos valores de DAP e altura. A análise foi realizada com o software SAS (Statistical Analysis System) versão 9.0, sendo testados modelos lineares com procedimento “*Stepwise*”. As variáveis independentes do modelo foram diâmetro a altura do peito (DAP) e altura (H) e as dependentes, a biomassa e a quantidade dos nutrientes no compartimento.

Os modelos foram selecionados com base nos ajustes dos coeficientes de determinação (R^2), erro do quadrado médio e representação gráfica da distribuição dos resíduos. As variáveis inseridas nos modelos têm significância a 10% e foram ponderadas pelo inverso do DAP $\left(\frac{1}{DAP}\right)$.

O acúmulo da biomassa aérea foi estimado a partir da diferença do incremento corrente da biomassa em cada compartimento e a incorporação dos nutrientes estimado através do acúmulo da biomassa de cada compartimento multiplicado pela respectiva concentração de nutrientes, a partir da amostragem das 10 árvores para o período de 2005 a 2006.

3.5 Estimativa da produção de folheto e acúmulo de serapilheira

Na microbacia Mortandade (Mata Atlântica) a estimativa da produção do folheto foi realizada nas 3 parcelas de 200 m² do inventário florístico, equidistantes entre si, representando a situação a partir das chamadas “matas de planalto” em direção às “matas ciliares”. Em cada parcela foram distribuídos aleatoriamente 10 coletores de madeira de 0,25 m², com fundo de tela de náilon de 1 mm² e 20 cm de altura, totalizando 30 coletores. Na microbacia Colônia (*Pinus*) foram instalados 5 coletores de madeira (Figura 5), em 3 parcelas representando situações distintas do plantio, totalizando 15 coletores.

As coletas do folheto foram realizadas mensalmente, durante o período de março de 2005 a fevereiro de 2006.

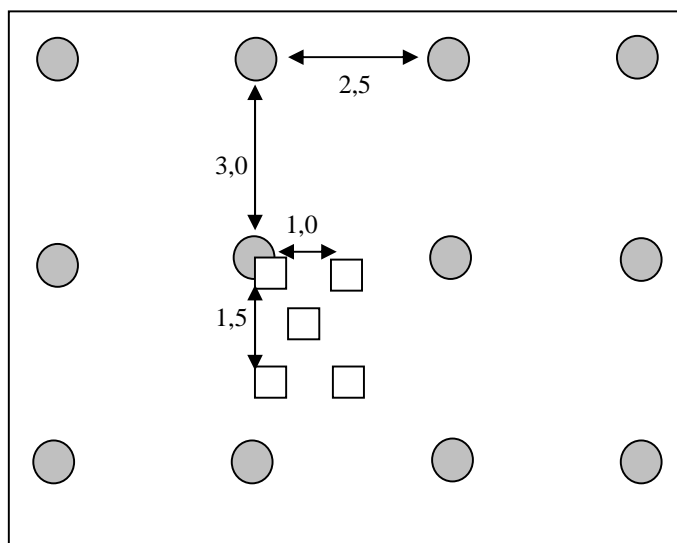


Figura 5 – Esquema representativo da disposição dos coletores na microbacia Colônia (*Pinus*)

As amostras coletadas mensalmente foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente etiquetados, levados à secagem em estufa a 65 °C até peso constante, pesadas em balança eletrônica, moídas em moinho tipo Willey, malha 10 mesh e homogeneizadas, para serem determinadas as concentrações de nutrientes.

As concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram determinadas de acordo com o método descrito por Malavolta et al. (1997), no Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ciências Florestais, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. O nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl, o fósforo por colorimetria e os elementos potássio, cálcio e magnésio por espectrofotometria. A quantidade de nutrientes no folheto foi determinada multiplicando-se o peso seco do material pelas suas respectivas concentrações de nutrientes.

A serapilheira foi quantificada nas duas microbacias em março de 2005 e fevereiro de 2006, utilizando-se um quadrado de madeira de 0,25 m² onde se coletou todo o material vegetal em seu interior. As amostras foram coletadas em 15 parcelas da microbacia Colônia (*Pinus*), sendo amostrados 5 pontos sobre o solo e na microbacia Mortandade (Mata Atlântica) foram coletadas 10 amostras nas 3 parcelas de 200 m² do inventário florístico, totalizando 30 amostras

O acondicionamento e os demais procedimentos seguiram a metodologia aplicada para o folheto. Os nutrientes liberados pela decomposição da serapilheira foram estimados através da Equação 5 (Ranger; Colin-Belgrand, 1996). A absorção de nutrientes do solo pelas árvores foi determinada através da soma dos nutrientes permanentemente imobilizados na árvore (galho + casca + lenho) e dos nutrientes transferidos pela deposição do folheto.

$$Ds = S_1 + Q_{1-2} - S_2 \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

Ds = decomposição da serapilheira

S_1 = nutrientes acumulados na serapilheira do primeiro ano (kg ha^{-1})

Q_{1-2} = variação da transferência de nutrientes pelo folheto ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)

S_2 = nutrientes acumulados na serapilheira do segundo ano (kg ha^{-1})

3.6 Estimativa do estoque de nutrientes no solo

O estoque total dos nutrientes P, K, Ca e Mg disponíveis no solo (kg ha^{-1}) das microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) foram determinados multiplicando-se a concentração do nutriente pela respectiva profundidade e em função disso estimado por hectare. O N total foi estimado a partir da matéria orgânica, sendo considerado somente 10% disponível às plantas, uma vez que as demais formas encontram-se indisponíveis (parte de frações muito estáveis) (GONÇALVES et al., 2001).

3.7 Estimativa do balanço geoquímico nas microbacias

O balanço geoquímico das microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) foi estimado pela diferença entre o fluxo de entrada de nutrientes via precipitação (kg ha^{-1}) e o fluxo de saída de nutrientes pelo deflúvio (kg ha^{-1}) para um ano hídrico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dinâmica hidrológica das microbacias

Com base no Balanço hídrico normal mensal de Thornthwaite; Mather (1955), o ano hídrico para a região do Município de Telêmaco Borba - PR corresponde ao período de agosto a julho. A curva de dupla massa evidenciou que os dados registrados da precipitação diária acumulada foram altamente consistentes para efeito de comparação entre as duas microbacias (Figura 6).

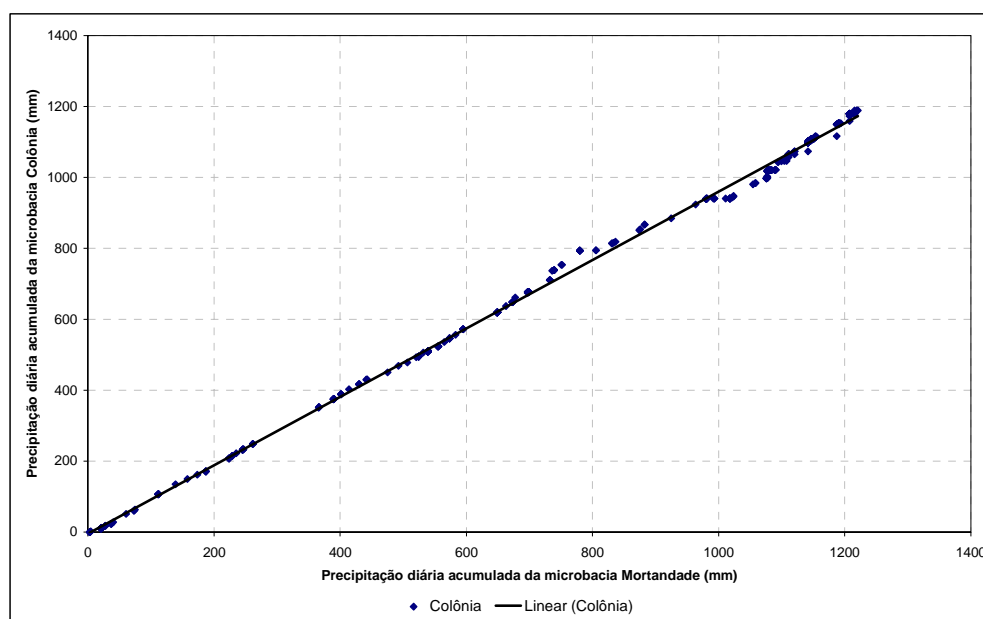


Figura 6 – Curva de dupla massa da precipitação diária das microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) para o período de um ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006)

A precipitação total registrada para um ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006) nas microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) foi de 1192 mm e 1218 mm, respectivamente. A distribuição mensal das chuvas demonstrou que os meses de outubro de 2005 e janeiro de 2006 apresentaram os maiores valores de precipitação, respondendo a 46% da precipitação total, ao passo que o período de abril a maio de 2006 apresentou-se como o mais

seco. As precipitações das microbacias registraram valores semelhantes aos da Estação Meteorológica Lagoa, localizada a 3020 m da microbacia Colônia (*Pinus*) e 6360 m da microbacia Mortandade (Mata Atlântica) (Figura 7).

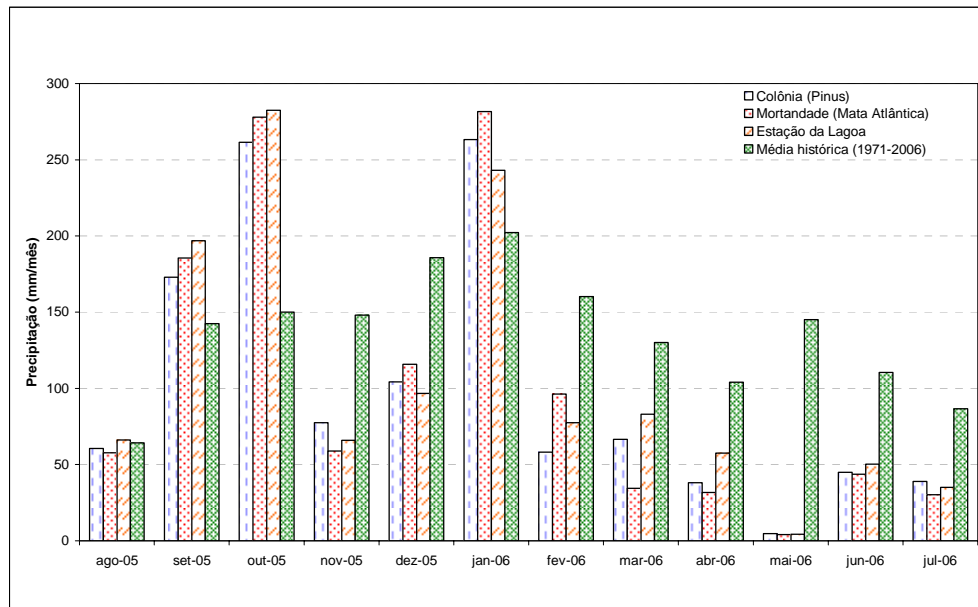


Figura 7 – Precipitações das microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) e da Estação Meteorológica Lagoa para um ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006) e a média histórica de 1971 a 1996

As precipitações para um ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006) demonstraram que as chuvas foram atípicas comparadas à média histórica de 25 anos (SENTELHAS et al, 1999) para a região de Telêmaco Borba – PR. Em outubro de 2005 e janeiro de 2006, as precipitações foram, respectivamente, em média 46% e 28% superiores à média histórica, observando-se que no mês de maio de 2006 houve uma diminuição de 97%. O ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006) registrou um decréscimo de 300 mm de chuva comparado à média anual para a região.

Nas Figuras 8 e 9 observa-se que as duas microbacias apresentaram um padrão semelhante de resposta à precipitação. A vazão média verificada na microbacia Colônia (*Pinus*) para um ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006) foi de 6,0 l/s, com um pico máximo de 70,9 l/s ocorrido dia 05 de outubro de 2005 e mínimo de 0,9 l/s em 25 de julho de 2006.

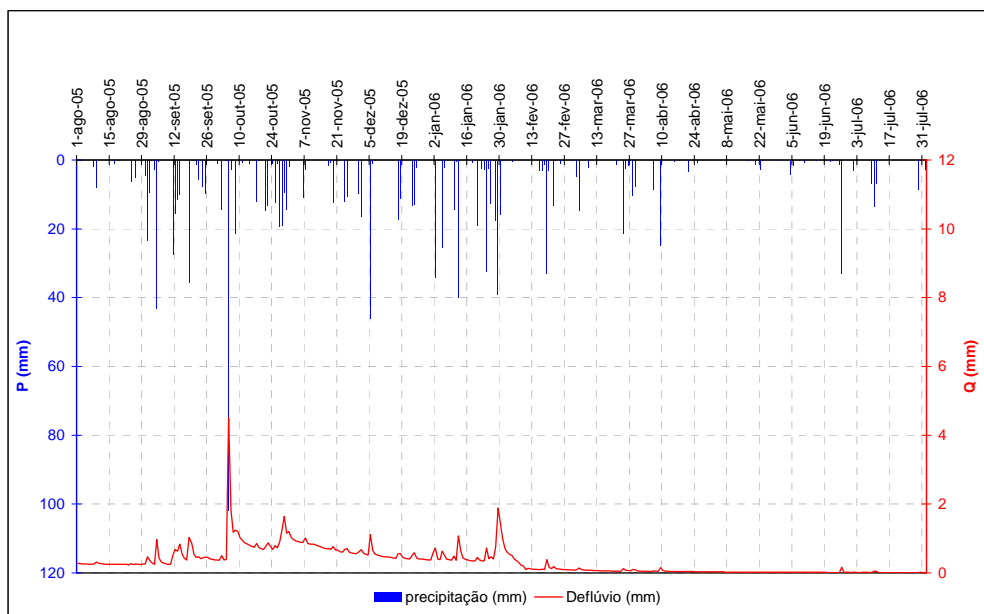


Figura 8 – Hidrograma da microbacia Colônia (*Pinus*) para um ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006)

Na microbacia Mortandade (Mata Atlântica) a vazão média foi de 2,6 l/s, com um pico máximo de vazão de 47,3 l/s e mínimo de 0,5 l/s, para um ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006), eventos ocorridas nas mesmas datas da microbacia Colônia (*Pinus*).

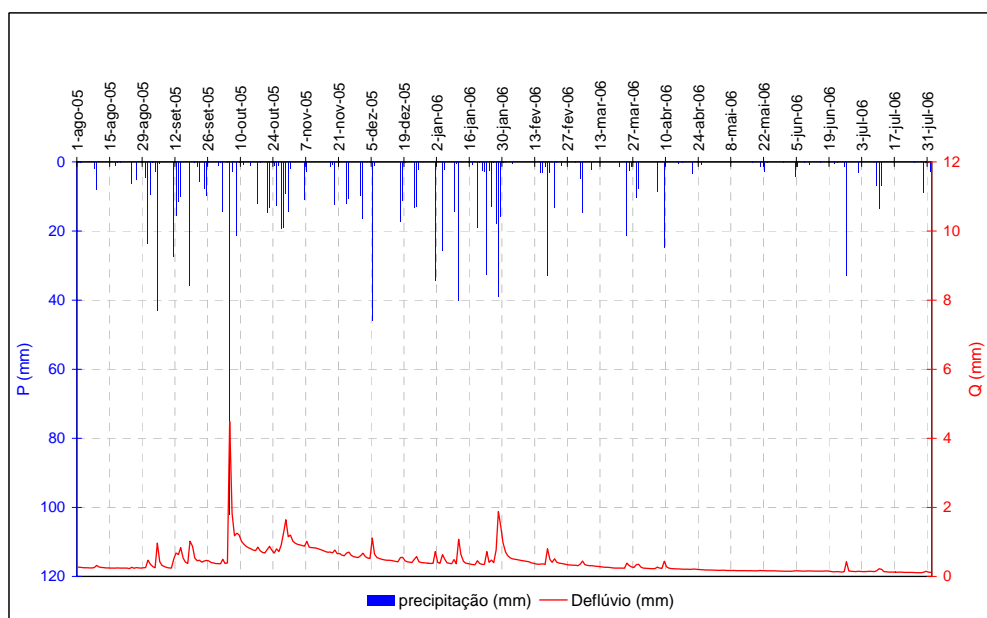


Figura 9 – Hidrograma da microbacia Mortandade (Mata Atlântica) para um ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006)

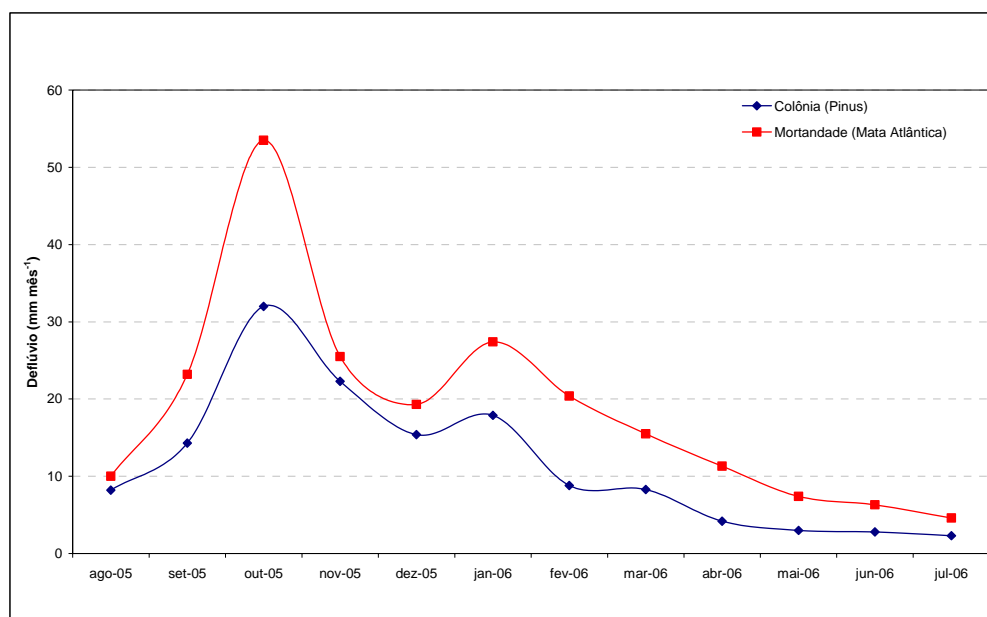


Figura 10 – Deflúvio das microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) para um ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006)

Observa-se que o deflúvio para um ano hídrico na microbacia Mortandade (36,7 ha) de Mata Atlântica foi de 224 mm e para a microbacia Colônia (135,8 ha), com reflorestamento de *Pinus taeda* de 140 mm (Figura 10). O Balanço hídrico de massa das microbacias para um ano hídrico é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Balanço hídrico de massa para as microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica)

Microbacia	Ano hídrico (agosto-julho)	P (mm)	Q (mm)	ET (mm)
Colônia	2005-2006	1192	140	1052 (88%)
Mortandade	2005-2006	1218	224	994 (81%)

A evapotranspiração estimada foi de 88% e 81%, respectivamente para as microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica). O maior consumo de água verificado na microbacia Colônia (*Pinus*), relativamente ao da microbacia Mortandade (Mata Atlântica) foi de 58 mm, durante um ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006).

A hipótese para o consumo de água semelhante entre as duas microbacias justifica-se pela fase de crescimento juvenil do *Pinus taeda*, que ainda está consumindo pouca água, com tendência a aumentar à medida que o *Pinus* atingir a maturidade (SWANK; DOUGLAS, 1975; WHITEHEAD; ROBINSON, 1993; TAMM, 1995; LIMA, 1996; SCOTT; LESCH, 1997; VITAL et al., 1999). As características dendrométricas para *P. taeda* aos 4 e 8 anos e *E. grandis* aos 13 anos na microbacia Colônia (*Pinus*) são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Características dendrométricas de DAP (diâmetro a altura do peito), H (altura), Área basal, número de árvores, volume com casca e biomassa do lenho para *P. taeda* e *E. grandis* para o período de 2005 a 2006 na microbacia Colônia (*Pinus*)

Variáveis	<i>P. taeda</i> (4 anos)	<i>P. taeda</i> (5 anos)
Árvores (ha)	1028	1028
DAP (cm)	7,6 (2,0)	11,1 (2,5)
H (m)	5,3 (1,1)	6,6 (1,2)
Área basal (m ² ha ⁻¹)	5,1 (0,005)	10,5 (0,009)
Volume (m ³ ha ⁻¹)	7,7 (0,010)	21,6 (0,026)
Biomassa do lenho (t ha ⁻¹)	9,0	14,5
	<i>P. taeda</i> (8 anos)	<i>P. taeda</i> (9 anos)
Árvores (ha)	1141	1141
DAP (cm)	18,6 (4,7)	20,0 (5,2)
H (m)	13,2 (2,4)	15,3 (2,7)
Área basal (m ² ha ⁻¹)	33,0 (0,027)	38,2 (0,033)
Volume (m ³ ha ⁻¹)	186,4 (0,233)	263,3 (0,335)
Biomassa do lenho (t ha ⁻¹)	59,3	79,3
	<i>E. grandis</i> (13 anos)	<i>E. grandis</i> (14 anos)
Árvores (ha)	222	222
DAP (cm)	26,9 (4,0)	28,6 (4,4)
H (m)	34,3 (3,3)	37,1 (3,8)
Área basal (m ² ha ⁻¹)	12,8 (0,070)	14,6 (0,083)
Volume (m ³ ha ⁻¹)	190,2 (1,2)	234,9 (1,5)
Biomassa do lenho (t ha ⁻¹)	84,6	104,2

Nota: Desvio-padrão apresentado entre parêntesis

Apesar do consumo de água do *Pinus taeda* apresentar-se semelhante ao verificado pela vegetação da Mata Atlântica, em fase de sucessão secundária, observou-se um incremento volumétrico de 180% para o *P. taeda* de 4 para 5 anos, ao passo que o *P. taeda* de 8 para 9 anos e o *E. grandis* de 13 para 14 anos apresentaram, respectivamente 41% e 23%. Conforme observado por Huber e Trecaman (2004) e Stape et al. (2004), as plantações florestais requerem uma grande quantidade de água para o seu crescimento.

O acompanhamento visual do crescimento do plantio de *P. taeda* de 4 para 5 anos na microbacia Colônia (*Pinus*) pode ser observado nas Figuras 11(a) e 11(b).



Figura 11 – Vista parcial do plantio de *P. taeda* (a) aos 4 anos e (b) aos 5 anos de idade na microbacia Colônia (*Pinus*)

4.2 Estoque de nutrientes nos compartimentos das microbacias

Para efeito da análise dos parâmetros biogeoquímicos, estudos mais detalhadas foram realizadas em amostras pontuais nas duas microbacias, em termos da textura e principalmente da fertilidade do solo, no que diz respeito ao conteúdo de nutrientes no perfil.

Com relação à textura (Tabela 12), silte e argila variaram significativamente entre os solos das microbacias, com maior teor de silte (35%) na microbacia Mortandade (Mata Atlântica), refletindo maior presença de minerais primários e intemperizáveis e um maior teor de argila (37%) na microbacia Colônia (*Pinus*). Porém, as diferenças observadas nas frações finas do solo (silte e argila) se compensam e os teores de areia total são idênticos nas duas microbacias.

Tabela 12 – Características da textura do solo nas microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica)

Microbacia	Profundidade cm	Areia total	Silte %	Argila
Colônia (<i>Pinus</i>)	0-20	44 ^{NS}	20*	37*
	20-60	39 ^{NS}	19*	43*
	60-100	35 ^{NS}	19*	45*
Mortandade (Mata Atlântica)	0-20	43 ^{NS}	35*	22*
	20-60	42 ^{NS}	32*	27*
	60-100	36 ^{NS}	33*	31*

* Diferença significativa ao nível de 5% para uma camada entre o solo da microbacia Colônia e o solo da microbacia Mortandade; ^{NS} diferença não-significativa

O teor médio de nutrientes encontrado nos solos das microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) são apresentados na Tabela 13. Através da análise de variância verificou-se que os únicos parâmetros que não apresentam diferença significativa ao nível de 5% nas microbacias foram P, Ca, SB e V. Os demais parâmetros diferiram significativamente pelo teste “t” em uma das profundidades.

Os menores valores de pH foram encontrados na microbacia Mortandade (Mata Atlântica) apresentando diferença significativa na profundidade de 60-100 cm. Solos com pH menor que 4,3 (EMBRAPA, 1999), são solos considerados extremamente ácidos, sendo que os valores encontrados na microbacia Colônia (*Pinus*) estão dentro dos limites aceitáveis de

crescimento para o *P.taeda*, não influenciado de forma negativa o crescimento da espécie (RIGATTO, 2002).

Tabela 13 – Características da fertilidade do solo nas microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica)

Microbacia	Profundidade cm	pH	P	M.O.	K	Ca	Mg	SB	T	V
		CaCl ₂	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³				%	
Colônia	0-20	4,2 ^{NS}	5 ^{NS}	27*	0,7*	15,6 ^{NS}	3,8 *	20 ^{NS}	101*	19 ^{NS}
	20-60	4,2 ^{NS}	3 ^{NS}	18*	0,4*	9,0 ^{NS}	2,4 ^{NS}	12 ^{NS}	78 ^{NS}	14 ^{NS}
	60-100	4,4 *	3 ^{NS}	12*	0,5*	6,3 ^{NS}	2,3 *	9 ^{NS}	59 *	16 ^{NS}
Mortandade	0-20	4,1 ^{NS}	5 ^{NS}	18*	1,5*	11,7 ^{NS}	4,4 *	15 ^{NS}	84 *	20 ^{NS}
	20-60	4,1 ^{NS}	4 ^{NS}	12*	1,5*	9,3 ^{NS}	7,2 ^{NS}	22 ^{NS}	100 ^{NS}	24 ^{NS}
	60-100	4,0 *	3 ^{NS}	8*	1,3*	7,8 ^{NS}	7,4*	17 ^{NS}	127*	14 ^{NS}

* Diferença significativa ao nível de 5% para uma camada entre o solo da microbacia Colônia e o solo da microbacia Mortandade; ^{NS} diferença não-significativa

Para a matéria orgânica os maiores teores foram observados na profundidade de 0-20 cm, na microbacia Colônia (*Pinus*) 27 g dm⁻³, sendo que nas 3 profundidades amostradas houve diferença significativa entre as duas microbacias. Essa maior quantidade de matéria orgânica pode ser atribuída à dificuldade de decomposição do material e às condições ambientais desfavoráveis do meio, inibindo o processo de decomposição. Um outro fator explicando a diferença de matéria orgânica poderia ser relacionado diretamente ao teor de argila superior no solo da microbacia Colônia (*Pinus*), uma vez que a argila funciona como um agente estabilizante da matéria orgânica, reduzindo sua velocidade de mineralização (SÁNCHEZ, 1981, FELLER; BEARE, 1997). Até 100 cm de profundidade, as maiores concentrações foram encontradas na microbacia Colônia (*Pinus*) com 113,3 t ha⁻¹, sendo na microbacia Mortandade (Mata Atlântica) observado 75,6 t ha⁻¹.

As concentrações de K e Mg foram significativamente menores na maioria das camadas do solo da microbacia Colônia (*Pinus*), o que pode ser atribuído à forte exigência nutricional do *Pinus taeda* durante o crescimento juvenil (REISSMANN; WISNIEWSKI, 2000). Contudo, as concentrações médias variaram entre 0,4 a 7,4 mmol_c dm⁻³ para esses elementos nas duas microbacias. O Ca não apresentou diferença significativamente entre as microbacias. A maior concentração de Ca foi de 15,6 mmol_c dm⁻³ na microbacia Colônia (*Pinus*), diminuindo sua concentração em profundidade.

De modo geral, os solos das microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) possuem baixa fertilidade. Na microbacia Colônia (*Pinus*) o estoque de nutrientes no possui em média 614 kg ha⁻¹ de N, 35 kg ha⁻¹ de P, 173 kg ha⁻¹ de K, 1147 kg ha⁻¹ de Ca e 308 kg ha⁻¹ de Mg (Tabela 14). Dentre os nutrientes avaliados, o P foi o nutriente mais limitante e o Ca o mais abundante. Porém, as maiores variações foram para os nutrientes N, K e Mg entre as duas microbacias.

Tabela 14 – Estoque de biomassa e serapilheira (t ha⁻¹) e nutrientes (kg ha⁻¹) nos diferentes compartimentos das Microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) (N mineralizável e P, K, Ca e Mg trocáveis até 100 cm de profundidade no solo)

Compartimento	<i>P. taeda</i> (4 anos)						<i>P. taeda</i> (8 anos)					
	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg
Acícula	4,6	76,8	5,0	21,1	18,0	3,6	15,2	195,8	12,0	67,0	32,4	13,4
Galho	1,6	23,0	1,8	6,3	6,6	1,6	10,2	39,3	5,2	11,2	15,8	4,6
Casca	3,8	7,4	0,5	3,5	3,9	0,3	12,2	41,2	1,0	7,5	3,5	2,2
Lenho	9,0	30,3	9,5	11,2	6,0	1,4	59,3	160,9	27,7	42,8	35,1	10,9
TOTAL	19,0	137,5	16,9	42,1	34,4	6,9	96,9	437,2	45,9	128,5	86,8	31,1
Serapilheira	-	-	-	-	-	-	23,9	208,0	7,6	12,8	86,1	22,6
Solo												
0-20	..	336	9	79	832	123	..	268	11	41	191	24
20-60	..	214	13	93	929	162	..	233	19	61	307	39
60-100	..	154	12	88	635	438	..	135	14	37	176	27
TOTAL		704	34	260	2396	723		636	44	139	674	90

Compartimento	<i>E. grandis</i> (13 anos)						Mata Atlântica					
	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg
Folha	4,1	62,4	3,9	22,1	19,7	6,4	...	...	...	...	...	...
Galho	6,6	21,2	1,3	8,7	11,1	33,7	...	...	...	...	...	...
Casca	6,6	25,3	2,6	28,5	96,9	10,9	...	...	...	...	...	...
Lenho	84,6	146,6	13,5	33,5	23,2	7,9	...	...	...	...	...	...
TOTAL	101,9	255,5	21,3	92,8	151,0	58,9	...	...	...	...	...	...
Serapilheira	...	...	...	...	...	...	12,3	242,1	7,9	20,7	156,2	24,2
Solo												
0-20	..	230	6	41	91	50	..	205	11	117	375	108
20-60	..	169	11	46	173	28	..	137	18	235	941	349
60-100	..	102	11	36	107	34	..	98	9	199	624	360
TOTAL		501	28	123	371	112		440	38	551	1940	817

Nota: sinal convencional utilizado: - dado numérico igual a zero não resultante de arredondamento; .. não se aplica dado numérico; ... dado numérico não determinado

Com relação ao estoque de nutrientes na biomassa aérea, estimado a partir dos modelos desenvolvidos para cada compartimento da árvore (ANEXO E), o maior estoque foi verificado para *Eucalyptus grandis* com 101,9 t ha⁻¹, seguido de 96,5 t ha⁻¹ e 19,0 t ha⁻¹, respectivamente, para *Pinus taeda* de 8 e 4 anos de idade.

A ordem dos nutrientes mais acumulados no *P. taeda* foi N > K > Ca > P > Mg, corroborando com a mesma seqüência verificada por Gonçalves (1995). Porém, diferiu da seqüência encontrada por Valeri (1988), Moro (2005) e Oki (2002), que verificaram uma alteração na posição apenas para os nutrientes K e Ca, provavelmente devido à maior mobilidade do K (MALAVOLTA, 1980; LACLAU et al., 2003).

A distribuição relativa da biomassa e dos nutrientes nos diferentes compartimentos das árvores de *P. taeda* aos 4 e 8 anos e *E. grandis* aos 13 anos é apresentada na Figura 12. Observa-se que a proporção de matéria seca no lenho entre as idades de 4 e 8 anos do *P. taeda*, respectivamente, representou 40% e 60% da matéria seca total. Enquanto que para o *E. grandis* aos 13 anos, a matéria seca do lenho representou 80% do total de matéria seca produzida. Castro et al. (1980) verificaram para *Pinus oocarpa* com diferentes idades que a biomassa se distribuiu 14% na copa, 13% na casca e 73% no lenho. Já Oki (2002) observou para *Pinus taeda* com 26 anos de idade, uma distribuição da biomassa aérea em 22% na copa, 3% na casca e 75% no lenho. Com relação à distribuição relativa dos nutrientes, a copa (acículas + galho) apresentou em média 80% e 60% de todos os nutrientes para as idades de 4 e 8 anos do *P. taeda*, exceto para P que apresentou-se 60% no tronco (casca + lenho). Para o *E. grandis* aos 13 anos, o tronco (casca + lenho) apresentou 80% do Ca, comparativamente aos demais nutrientes.

Quanto à serapilheira acumulada no *Pinus taeda* aos 8 anos de idade na microbacia Colônia (*Pinus*) observou-se que a quantidade acumulada foi 2 vezes superior ao encontrado para a Mata Atlântica na microbacia Mortandade. A deposição de acículas para o período de um ano no *Pinus taeda* aos 8 anos foi de 9,5 t ha⁻¹, apresentando-se dentro do intervalo encontrado para outros plantios de *P. taeda*. Contudo, o resultado foi 2 vezes superior ao verificado para um plantio de 7 anos (REISSMANN; WISNIEWSKI, 2000), o que pode ser justificado pela influência de diversos fatores (JORGENSEN, 1980).

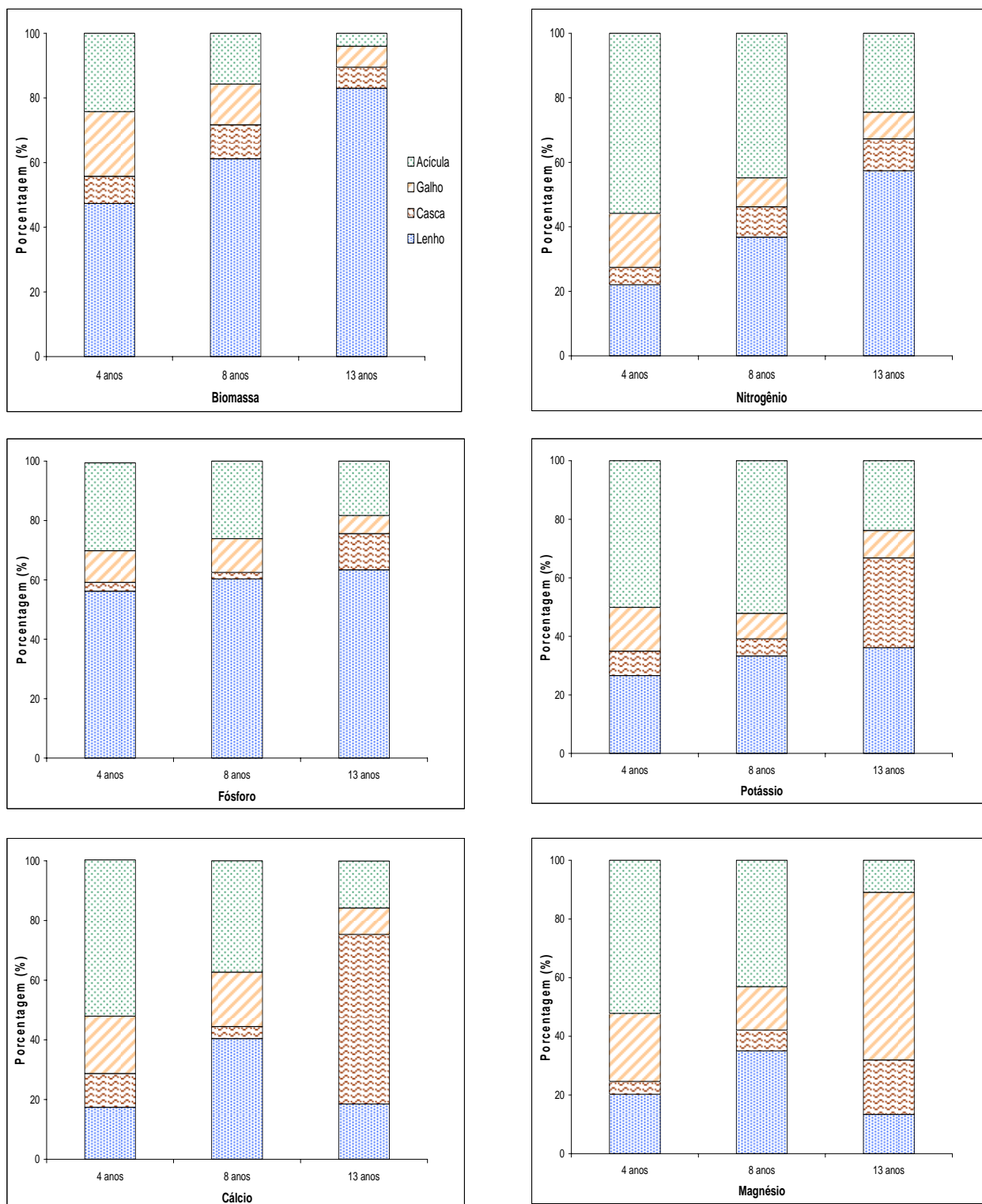


Figura 12 – Distribuição relativa de biomassa aérea estocada e dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg nos diferentes compartimentos das árvores de *P. taeda* (4 e 8 anos) e *E. grandis* (13 anos), na microbacia Colônia (*Pinus*)

Tabela 15 – Dinâmica da matéria seca, dos nutrientes acumulados na serapilheira e da liberação dos nutrientes (kg ha⁻¹) para o período de 2005 a 2006 na Mata Atlântica da microbacia Mortandade e no *Pinus taeda* de 8 anos da microbacia Colônia (*Pinus*)

	Matéria seca	N	P	K	Ca	Mg
Mata Atlântica						
Serapilheira (ano 1)	12100	222,3	8,3	18,3	169,5	21,5
Serapilheira (ano 2)	12400	261,9	7,4	23,1	142,8	26,9
Folheto (1-2)	7300	140,4	5,0	31,7	84,1	17,5
Liberado	7000	100,8	5,9	26,9	110,8	12,1
<i>Pinus taeda</i> (8 anos)						
Serapilheira (ano 1)	19000	194,1	7,4	9,6	65,4	17,9
Serapilheira (ano 2)	27300	221,9	7,7	15,9	106,8	27,2
Folheto (1-2)	9500	72,8	3,5	11,0	44,2	7,9
Liberado	1200	45	3,2	4,7	2,8	-1,4

Observa-se que N e Ca foram os nutrientes mais acumulados na serapilheira tanto na Mata Atlântica como no *Pinus taeda* de 8 anos. A quantidade dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg liberados durante um ano no *Pinus taeda* foram muito inferiores aos valores verificados na Mata Atlântica, principalmente para N e Ca. Com base no estoque de nutrientes da serapilheira do *Pinus taeda* de 8 anos foram liberados somente 21% de N e 3% de Ca, sendo que na Mata Atlântica foram liberados, respectivamente 41% e 70%. No *Pinus taeda* ligeiramente observou-se uma imobilização de Mg na serapilheira.

Já a quantidade de matéria seca na serapilheira do *Pinus taeda* no segundo ano aumentou 44% ao passo que na Mata Atlântica o acúmulo foi de apenas 2%. De acordo com Reissmann e Wisniewski (2000), grandes quantidades de serapilheira foram observadas sobre o solo em diversos estudos realizados em plantios de *Pinus taeda*, formando horizontes muito espessos, devido à dificuldade de decomposição do material o que pode ser explicada pelo alto teor de argila encontrado no solo da microbacia Colônia (*Pinus*) (SÁNCHEZ, 1981, FELLER; BEARE, 1997). Conseqüentemente, grandes quantidades de nutrientes estão armazenadas na serapilheira, podendo desencadear futuros problemas nutricionais e afetar o crescimento do *Pinus taeda*. Portanto, o baixo retorno dos nutrientes ao solo no plantio de *Pinus taeda* de 8 anos precisará ser considerado nas práticas do manejo.

4.3 Acúmulo de biomassa e incorporação dos nutrientes para *Pinus taeda*

Com relação à biomassa aérea observou-se que a maior quantidade de matéria seca acumulada foi no lenho, em seguida para acículas, galhos e casca. Entre as duas idades de 4 e 8 anos, o acúmulo na copa (acícula + galho) foi semelhante, em média 9 t ha^{-1} . Contudo, o acúmulo de massa seca no tronco (casca + lenho) foi 3,5 vezes superior aos 8 anos de idade (Figura 13).

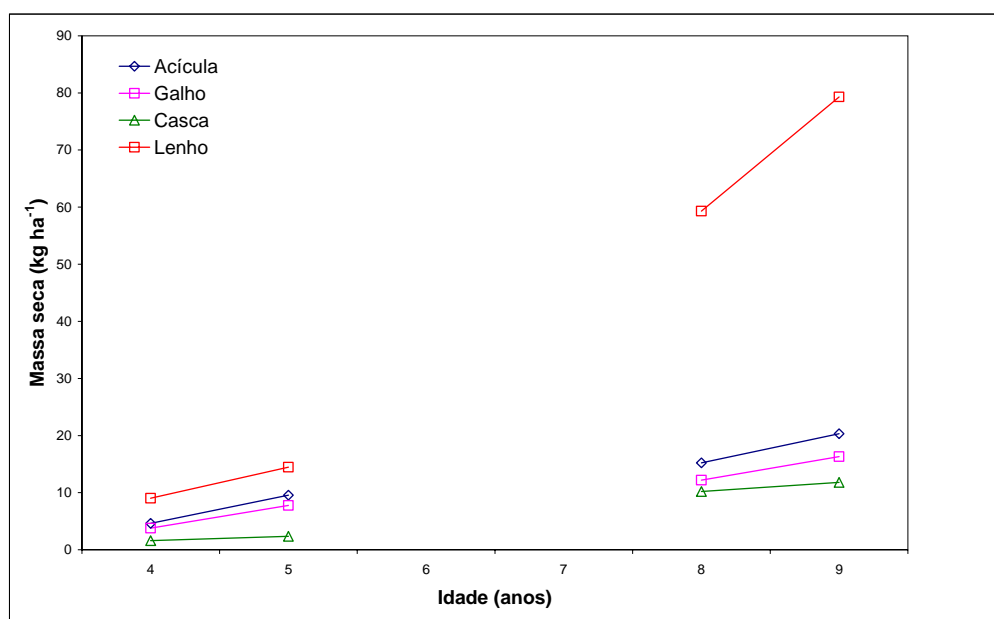


Figura 13 – Dinâmica do acúmulo de biomassa aérea nos diversos compartimentos de *Pinus taeda* nas idades de 4 para 5 anos e 8 para 9 anos na microbacia Colônia (*Pinus*)

A proporção de matéria seca acumulada na copa (acícula + galho) representou 60% da massa seca aérea aos 4 anos, enquanto que aos 8 anos essa proporção diminuiu para 30%. Isso se explica porque nessa fase o acúmulo de massa seca no tronco (casca + lenho) ocorre em maior proporção, sendo que a formação da copa já está em fase de relativa estabilidade. A incorporação dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg na biomassa são apresentados na Figura 14.

Observa-se entre as idades de 4 e 8 anos, que o acúmulo de massa seca aérea foi 2 vezes superior aos 8 anos, porém a incorporação de N para *Pinus taeda* foi de 127 kg ha^{-1} e 108 kg ha^{-1} , respectivamente. O mesmo pode ser observado para os nutrientes P e Ca que apresentaram um acúmulo reduzido na biomassa, respectivamente de 13 e 38 kg ha^{-1} para 12 e 41 kg ha^{-1} . Contudo,

K e Mg apresentaram uma incorporação gradativa com o acúmulo de massa seca aérea entre as idades de 4 e 8 anos, respectivamente de 38 e 6 kg ha⁻¹ para 41 e 10 kg ha⁻¹.

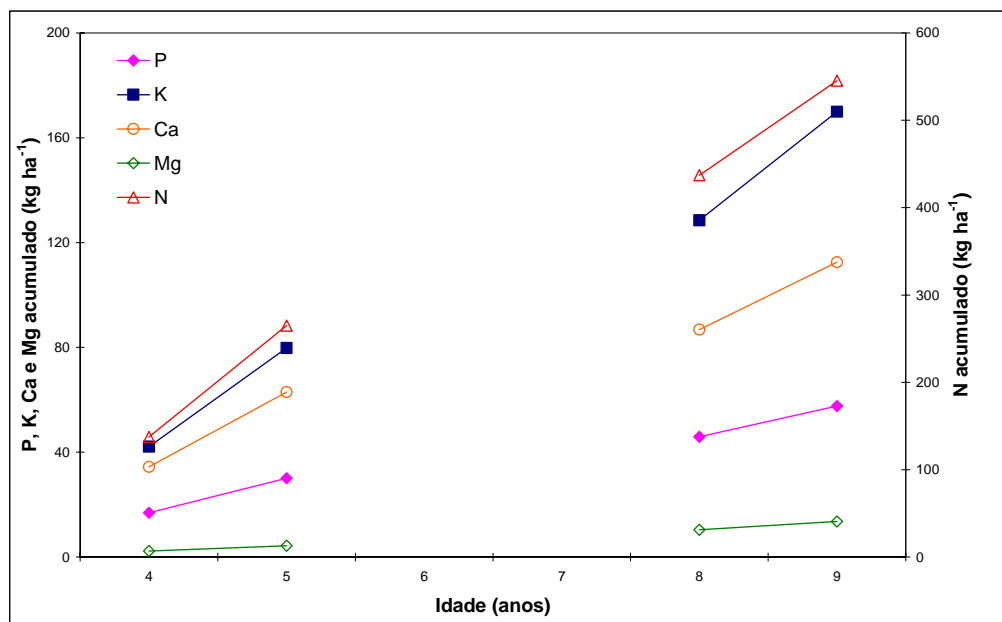


Figura 14 – Dinâmica da incorporação dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg na biomassa aérea de *Pinus taeda* nas idades de 4 para 5 anos e para 9 anos na microbacia Colônia (*Pinus*)

A demanda de nutrientes durante 12 meses de crescimento (8 aos 9 anos) para o *Pinus taeda* de N foi suprido 40% pela liberação dos nutrientes da serapilheira, sendo para P, K, Ca e Mg, respectivamente 23, 15, 4 e 2%. Em média, os nutrientes liberados pela serapilheira atenderam somente 17% da demanda nutricional das árvores (Tabela 16), certamente uma das hipóteses pode ser em virtude da retenção de nutrientes na serapilheira.

Tabela 16 – Quantidades de nutrientes imobilizados (casca + galho + lenho), liberados sobre o solo e absorvidos pelas árvores de *Pinus taeda*, em 12 meses de crescimento (8 aos 9 anos) na microbacia Colônia (*Pinus*)

Nutriente	Imobilizado na árvore	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	
		Liberado da serapilheira	Absorvido pela árvore
N	42	45	114,8
P	10	3,2	13,5
K	19	4,7	30,0
Ca	15	2,8	59,2
Mg	5	0,3	14,6

As informações sobre o decréscimo no acúmulo de N, P e Ca provavelmente justificam-se pela retenção dos nutrientes em grandes quantidades na serapilheira. Embora poucos estudos sobre adubação tenham sido desenvolvidos até o momento para o *Pinus* foram obtidas respostas positivas, principalmente para a adubação fosfatada, bem como para a aplicação de K e Mg (BALLONI; JACOB; SIMÕES, 1978; MUNIZ et al. apud CARVALHO et al., 1983; SILVA et al., 2003; VOGEL, 2003; VOGEL et al., 2005). Já adubações com aplicação de N mostraram-se prejudiciais ao crescimento das árvores (HAAG, 1983; VOGEL et al., 2005), principalmente em solos com alto teor de matéria orgânica (MUNIZ et al. apud CARVALHO et al., 1983).

Portanto, o entendimento da demanda nutricional para *Pinus* mostra-se novamente de grande valia para que as práticas de manejo possam ser adequadas, principalmente sobre os períodos de maior exigência nutricional e sobre as quantidades de nutrientes absorvidas pelas árvores nas suas diversas fases de desenvolvimento. O que sugere que a médio e longo prazos seja necessária a adubação em virtude da alta retenção de nutrientes na serapilheira, agravando os problemas nutricionais em solos de baixa fertilidade.

4.4 Balanço geoquímico nas microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica)

A Tabela 17 apresenta o balanço geoquímico para o período de um ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006) para as microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica). De acordo com os eventos de chuva durante o período, a entrada de N ocorrida no dia 05 de outubro de 2005 representou aproximadamente 20% da entrada total de N.

Tabela 17 – Balanço geoquímico dos nutrientes ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) nas microbacias Colônia (*Pinus*) e mortandade (Mata Atlântica) para um ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006)

	Microbacia Mortandade					Microbacia Colônia				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
ENTRADA										
Precipitação	10,7	0,40	3,7	3,3	1,0	10,7	0,40	3,7	3,3	1,0
SAÍDA										
Deflúvio	2,7	0,1	3,7	4,9	2,5	1,3	0,05	2,1	4,5	2,0
BALANÇO	8,0	0,30	0,0	-1,6	-1,5	9,4	0,35	1,6	-1,2	-1,0

De forma geral, a entrada de N foi semelhante aos valores encontrados por diversos estudos em microbacias no Brasil (ARCOVA et al., 1993; VITAL et al., 1999; CÂMARA et al., 2000; RANZINI; LIMA, 2002). Contudo, o N foi 3 vezes superior aos valores encontrados por Oliveira (1989) e Oki (2002). Os valores verificados para os nutrientes P, K e Mg são semelhantes às entradas observadas em diferentes regiões do Brasil. Já o Ca foi 5 vezes inferior ao encontrado por Oki (2002) de $19,2 \text{ kg ha}^{-1}$. No entanto, Laclau et al. (2003) observaram, por exemplo, que as deposições secas (gases e aerossóis) são subestimadas com a utilização do coletor de precipitação utilizado no presente trabalho, comparado às deposições secas verificadas nas copas das árvores.

Na microbacia Mortandade (Mata Atlântica) a saída dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg pelo deflúvio durante um ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006) foram bem inferiores aos valores encontrados por Arcova et al. (1993) também para uma microbacia coberta por Mata Atlântica. Já a saída dos nutrientes pelo deflúvio na microbacia Colônia (*Pinus*) foi semelhante ao verificado por diversos estudos em outras microbacias (OLIVEIRA, 1989; VITAL et al., 1999; CÂMARA et al., 2000; RANZINI; LIMA, 2002; OKI (2002).

Com base no balanço geoquímico das microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) para um ano hídrico (agosto de 2005 a julho de 2006) observou-se um fluxo positivo para os nutrientes N, P e K e negativo para Ca e Mg, apresentando um balanço semelhante entre as duas microbacias. Já Arcova et al. (1993) verificaram que o balanço de nutrientes para uma microbacia coberta com Mata Atlântica apresentou-se negativo para todos os nutrientes. Oliveira (1989) e Oki (2002) verificaram para plantios com *Pinus* um balanço positivo para todos os nutrientes. Contudo, Ranzini e Lima (2002) observaram um balanço negativo para K, Ca e Mg.

Vale ressaltar, no entanto, que o funcionamento da microbacia é muito complexo. O balanço geoquímico apresentou apenas uma tendência geral do fluxo dos nutrientes, uma vez que foi verificado através do fluxo biogeoquímico que uma parte de um plantio da microbacia Colônia (*Pinus*), apresentou uma maior demanda de nutrientes pelas árvores em relação ao que foi disponibilizado pela decomposição da serapilheira.

5 CONCLUSÕES

Embora as microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) possuam diferentes áreas de drenagem, os resultados permitem as seguintes conclusões:

- a. Na microbacia Colônia (*Pinus*) a evapotranspiração foi maior comparado à microbacia Mortandade (Mata Atlântica). Contudo, considerando-se a precisão da estimativa da evapotranspiração, o consumo de água pelo *Pinus taeda* foi relativamente mínimo comparado à Mata Atlântica que se apresenta em fase de sucessão secundária. Conseqüentemente, o consumo de água verificado entre as duas microbacias foi semelhante.
- b. As duas microbacias apresentaram diferentes tipos de solo, principalmente entre as frações finas de silte e argila, embora observadas essas diferenças entre os solos, as duas microbacias são passivas de comparação.
- c. A decomposição da serapilheira e a liberação dos nutrientes foi maior na Mata Atlântica comparado ao plantio de *Pinus taeda* de 8 anos. Esse fato é influenciado principalmente pela natural resistência à decomposição das acículas, onde grandes quantidades de nutrientes ficam retidas no material.
- d. O balanço geoquímico dos nutrientes entre as duas microbacias foi semelhante para N, P, K, Ca e Mg.

Portanto, as microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (Mata Atlântica) foram semelhantes com relação à dinâmica hidrológica, ao consumo de água, às propriedades químicas do solo e principalmente no balanço geoquímico dos nutrientes. Assim, essas verificações permitem comparações entre as duas microbacias, apoiando a hipótese de que futuras diferenças na hidrologia e na biogeoquímica poderão ser atribuídas ao manejo florestal. Do ponto de vista das práticas de manejo, é importante salientar que a compreensão dos processos internos dos nutrientes, em relação à sua liberação, modificação e transformação deverão ser mais estudados a fim de se entender o funcionamento das microbacias.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 14th ed. Washington, 1976. 1193 p.

ARCOVA, F.C.S.; CICCO, V.; SHIMOMICHI, P.Y. Qualidade da água e dinâmica dos nutrientes em bacia hidrográfica recoberta com Mata Atlântica. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 5, n. 1, p.1 – 20, jul. 1993.

ARCOVA, F.C.S; LIMA, W.P.; CICCO, 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, jun. 1998.

BALLONI, E.A.; JACOB, W.S.; SIMÕES, J.W. Resultados parciais de experimentação desenvolvida pelo setor de implantação florestal com diferentes espécies de *Pinus*. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 18, p. 1 – 117, jul. 1978.

BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 270 – 286.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J.L.M; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 105 – 134.

BIZON, J. M. C. **Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de *Pinus taeda* L. usando um balanço de entrada-saída de nutrientes**. 2005. 92 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

BLOOD, E.F.Y. (Org.) **Plano de manejo florestal**: versão 2004. Telêmaco Borba, Paraná: Klabin, 2005. 275 p.

BORMANN, F.H.; LIKENS, G.E. **Patterns and process in a forested ecosystem**. New York: Springer-Verlag, 1979. 253 p.

BOS, M.G. **Discharge measurement structures**. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1976. 464 p.

BRAY, J.R.; GORHAM, E. Litter production in forests of the world. **Advances in Ecological Research**, v. 2, p. 101 – 157, 1964.

BROOKS, K.N.; FOLLIOTT, P.F.; GREGERSEN, H.M.; THAMES, J.L. **Hydrology and the management of watersheds**. Ames: Iowa State University Press, 1991. 391 p.

BROWN, A.E.; ZHANG, L.; McMAHON, T.A.; WESTERN, A.W.; VERTESSY, R.A. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. **Journal of Hydrology**, The Netherlands, v. 310, p. 28 – 61. 2005.

BRUIJNZEEL, L.A. Nutrient input-output budgets of tropical forest ecosystems: a review. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 7, p. 1 – 24, 1991.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CÂMARA, C.D.; LIMA, W.P. Corte raso de uma plantação de *Eucalyptus saligna* de 50 anos: impactos sobre o balanço hídrico e a qualidade da água em uma microbacia experimental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 41 – 58, dez. 1998.

CÂMARA, C.D.; LIMA, W.P.; VIEIRA, S. A. Corte raso de uma plantação de *Eucalyptus saligna* de 50 anos: impactos sobre a ciclagem de nutrientes em uma microbacia experimental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 57, p. 99 – 109, jun. 2000.

CARON NETO, M. *Pinus* conquista espaço na região Sul. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 58, n. 10, p. 24 – 28, 2001.

CARVALHO, J.G.; CASTRO, H.A.; YAMADA, I.; SPELTZ, G.E. Nutrição mineral de *Pinus*. In: HAAG, H.P. **Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelina* no Brasil**. Campinas: Fundação Cargil, 1983.p.71 – 134 .

CASTRO, C.F.A.; POGGIANI, F.; NICOLIELO, N. Distribuição da fitomassa e nutrientes em talhões de *Pinus oocarpa* com diferentes idades. **IPEF**, Piracicaba, n. 20, p. 61 – 74 , jun. 1980.

CUNHA, G.C.da; GRENDENE, L.A.; DURLO, M.A.; BRESSAN, D.A. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n.1, p.35 – 64, 1993.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação. 1999. 412 p.

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 69 – 116, 1997.

FLINN, D.W.; BREN, L.J.; HOPMANS, P. Soluble nutrient inputs from rain and outputs in stream water from small forest catchments. **Australian Forestry**, Melbourne, v. 12, n.1, p. 39 – 49 , 1979.

GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. **Documentos Florestais**. Piracicaba, n. 15, p. 1 – 23 , 1995.

GONÇALVES, J.L.M.; DEMATTÊ, J.L.I.; COUTO, H.T.Z. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 24 – 39, 1990.

GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.C.F.S.; SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 601 – 616 , 2001.

HAAG, H.P. **Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelia* no Brasil**. Campinas: Fundação Cargil, 1983. 210 p.

HOYT, W.G.; TROXELL, H.C. Forest and streamflow. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, Reston, v. 56, p. 1 – 32 , 1932.

HUBER, A.; TRECAMAN, R. Eficiencia del uso del agua en plantaciones de *Pinus radiata* in Chile. **Bosque**, Valdivia, v. 25, n. 3, p. 33 – 43 , 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas e vegetação**. 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticia_visualiza> Acesso em: 19 out. 2006.

JORDAN, C.F. The nutrient balance of amazonian rain forest. **Ecology**, Brooklyn, v. 63, n. 3, p. 647 – 654, 1982.

JORGENSEN, J.R. Nutrient changes in decomposing loblolly pine forest floor. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 6, p. 1307 – 1314, 1980.

LA TORRACA, S.M.; HAAG, H.P.; MIGLIORINI, A.J. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em um latossolo vermelho escuro na região de Agudos, SP. **IPEF**, Piracicaba, n. 27, p. 41 – 47, 1984.

LACLAU, J.-P.; BOUILLET, J.-P, RANGER, J. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of *Eucalyptus* in Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 128, p. 181 – 196, 2000.

LACLAU, J.-P.; RANGER, J.; BOUILLET, J.-P. ; NZILA, J. D.; DELEPORTE, P. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and a adjacent savanna ecosystem in Congo. 1. Chemical composition of rainfall, throughfall and stemflow solutions. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 176, p. 105 – 119, 2003.

LASO GARICOITS, L.S. **Estado nutricional e fatores do solo limitantes do crescimento de *Pinus taeda* L. em Telêmaco Borba**. 1990. 128 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990.

LEUSCHNER, W.A. **Introduction to forest resource management**. New York: John Wiley, 1984. 304 p.

LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H.; PIERCE, R.S. **Biochemistry of a forest ecosystem**. New York: Springer-Verlag, 1977. 146 p.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: EDUSP, 1996. 301 p.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M. J. B. Indicadores hidrológicos em áreas florestais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 31, p. 53 – 64, 1998.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. **As florestas plantadas e a água: implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: RIMA, 2006. 226 p.

MAACK, R. Notas preliminares sobre clima, solos e vegetação do Estado do Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 2, p. 102 – 200, 1948.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações** 2 ed. Piracicaba, INSTITUTO DA POTASSA E DO FOSFATO, 1997. 201 p.

McCULLOCH, J. S.; ROBINSON, M. History of forest hydrology. **Journal of Hydrology**, The Netherlands, v.150, n.2/4, p.189-216, 1993.

MOLDAN, B.; CERNY, J. **Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research**. New York: John-Wiley, 1994. 419 p.

MORO, L. **Exportação de nutrientes em povoamento de *Pinus taeda* L. baseada em volume estimado pelo sistema SISPINUS**. 2005. 130 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MOSTER, C.; LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B.; CÂMARA, C.D. Determinação do ano hídrico visando a quantificação do balanço hídrico em microbacias experimentais. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 197, p. 1 – 7 , jun. 2003.

OKI, V.K. **Impactos da colheita do *Pinus taeda* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias**. 2002.71 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

OLIVEIRA, F. A. **Produção e qualidade da água em bacias hidrográficas contendo diferentes coberturas vegetais na região de Agudos – SP**.1989.82 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989

POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes e manutenção da produtividade da floresta plantada. In: PENEDO, W.R. (Ed.). **Gaseificação da madeira e carvão vegetal. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC**, 1981. 1 v. (Série de Publicações Técnicas, v.4)

POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus***. Implicações silviculturais. 1985. 210 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

POGGIANI, F. SCHUMACHER, M. V. Atmospheric inputs compared with nutrient removed by harvesting from *Eucalyptus* plantation: implications for sustainability. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS, 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: EMBRAPA, CNPF, 1997. v. 4, p. 68 – 74 .

POGGIANI, F.; COUTO, H.T.Z.; CORRADINI, L.; FAZZIO, E.C.M. Exportação de biomassa e nutrientes através da exportação de troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, v. 25, p. 37 – 39, 1983.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000, p. 287 – 308

PRITCHETT, W. L.; FISHER, R. F. **Properties and management of forest soils**. 2nd ed. New York: John Wiley, 1987. 510 p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

REDE DE MONITORAMENTO AMBIENTAL EM MICROBACIAS. **Relatório Técnico: morfometria das microbacias Colônia (*Pinus*) e Mortandade (mata nativa)**. Piracicaba, 2005. No prelo.

RANGER, J.; COLIN-BELGRAND, M. Nutrient dynamics of chesnut tree (*Castanea sativa* Mill.) coppice stands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 86, p. 259 – 277, 1996.

RANGER, J.; TURPAULT, M. Input-output nutrient budgets as a diagnostic tool for sustainable forest management. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 122, p. 139 – 154, 1999.

RANZINI, M.; LIMA, W. P. Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus*, no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 61, p.144 – 159, jun. 2002.

REISSMANN, C.B; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização mineral**. Piracicaba: IPEF, 2000, p. 135 – 166.

REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C.W.; PAULA SOUZA, M.L. de. **Classificação de sítio para *Araucaria angustifolia*, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* no 2º planalto do Paraná**. Subprojeto I. Nutrição. Curitiba: UFPR, FUNPAR, FINEP, 1990, v.1, 286 p.

RIGATTO, P. A. **Influência dos atributos do solo sobre a produtividade e qualidade da madeira de *Pinus taeda* para a produção de celulose Kraft**. 2002. 120 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SÁNCHEZ, P. **Suelos del trópico: características y manejo**. San José, IICA, 1981. 660 p.

SANDS, R.; MULLIGAN, D. Water and nutrient dynamics and tree growth. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 30, p. 91 – 111, 1990.

SCARDUA, F.P. **Caracterização hidrológica de uma microbacia hidrográfica da estação experimental de Ciências Florestais de Itatinga**. 1994. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

SCHUCHOVSKI, M.S. **Diagnóstico e planejamento do consumo de madeira e da produção em plantações florestais no Estado do Paraná**. 2003. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

SCHUMACHER, M.V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.3, n.1, p.21 – 24, 1993.

SCOTT, D.F.; LESCH, W. Streamflow responses to afforestation with *Eucalyptus grandis* and *Pinus patula* and to felling in the Mokobulaan experimental catchments, South África. **Journal of Hydrology**, The Netherlands, v. 199, n.3/4, p. 360 – 377, 1997.

SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; ALFONSI, R.R.; CARAMORI, P.H.; SWART, S. **Balancos hídricos de 500 localidades brasileiras** (1999). Núcleo de monitoramento agroclimático, Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP: Disponível em: <<http://lce.esalq.usp.br>>. Acesso em: 07 fev. 2006.

SILVA, H.D. da; BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK, R.A.; GOMES, F.S. dos. Adubação mineral e seus efeitos na produção de biomassa em árvores de *Pinus taeda* L. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Anais...**São Paulo: SBEF, 2003. 1 CD-ROOM.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **O setor florestal brasileiro: fatos e números 2003**. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>> Acesso em: 11 out. 2006.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G.; GOMES, A.N. Water use, water limitation, and water use efficiency in a *Eucalyptus* plantation. **Bosque**, Valdivia, v. 25, n. 2, p. 35-41, 2004.

SWANK, W. T.; CROSSLEY JÚNIOR, D.A. Forest ecology and ecology at Coweeta. **Ecological Studies**, New York, v. 66, p. 1 – 16, 1988.

SWANK, W.T.; DOUGLAS, J.E. Conversion of hardwood-covered watershed to White Pine reduces water yield. **Water Resources Research**, St. Louis, v. 4, p. 947 – 954, 1975.

SWITZER, G. L.; NELSON. L. E. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: the first years. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 36, p. 143 – 147, 1972.

TAMM, C. O. Towards und understanding of the relations between tree nutrition, nutrient cycling and environmental. **Plant and Soil**, The Hague, v. 168/169, p. 21 – 27, 1995.

TOREZAN, J. M. D. Nota sobre a vegetação da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, A.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O. A.; PIMENTA, J.A. **A Bacia do Rio Tibagi**. Londrina: UEL, 2002. cap. 7, p. 103 – 107.

VALERI, S. V. **Exportação de biomassa e nutrientes de Povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes idades**. 1988. 164 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

VITAL, A.R.T.; LIMA, W.P.; CAMARGO, F.R.A. Efeito do corte raso de uma plantação de *Eucalyptus* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e as perdas de solo e de nutrientes em uma microbacia no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 55, p. 5 – 16 1999.

VITAL, A.R.T.; LIMA, W.P.; POGGIANI, F.; CAMARGO, F.R.A. Biogeoquímica de uma microbacia após o corte raso de uma plantação de eucalipto de 7 anos de idade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 55, p. 17 – 28, 1999.

WALLING, D. E. Water in the catchment ecosystem. In: GOWER, A.M. **Water quality in catchment ecosystems**. Chichester: John Wiley, 1980. p.1 – 47 .

WARING, R. H.; SCHLESINGER, W. H. **Forest ecosystem, concepts and management**. Orlando: Academic Press, 1985. 340 p.

WATERLOO, M.J. **Water and nutrient dynamics of *Pinus caribaea* plantation forest on former grassland soil in Southwest Viti Levy, Fiji**. 1994. 478 p. Thesis – Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, 1994.

WELLS C.G.; JORGENSEN. J.R. Nutrient cycling in loblolly pine plantations. In: BERNIER, B.; WINGET. C. H. **Forest soils and forest land management**. Quebec, Laval University Press, 1975. p. 137-158.

WHITEHEAD, P.G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies – in international and historical perspective of forest impacts. **Journal of Hydrology**, The Netherlands, v.145, p. 217 – 230. 1993.

VOGEL, H.L.M. Crescimento de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K e sua diagnose nutricional pelo DRIS. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 182, 2003.

VOGEL, H.L.M.; SCHUMACHER, M.V.; STORCK, L.; WITSCHORECK, R. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K. **Revista Ciência Floresta**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 199 – 206, 2005.

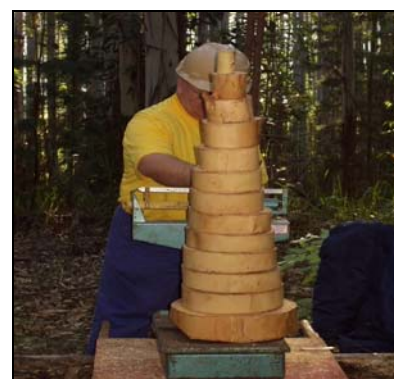
APÊNDICES

APÊNDICE A – Equipe de trabalho na avaliação da biomassa de *Pinus* e *Eucalyptus*, na microbacia Colônia em julho de 2005, Klabin, Telêmaco Borba-PR. Da esquerda para a direita (foto 1): Walmir, Sr. Joaquim, Donisete, Serginho, Dorival, Odirlei e Alceu. Da esquerda para a direita (foto 2): Serginho, Odirlei, Berbiano, Nelson, Donisete, Sr. Dorival e Alceu

(continua)

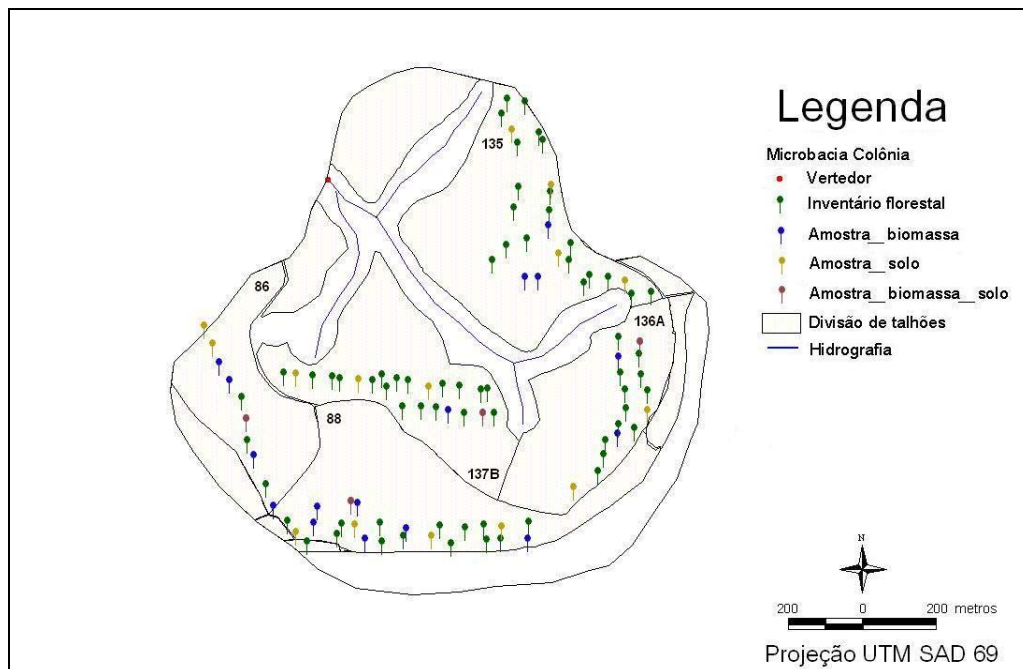


(conclusão)

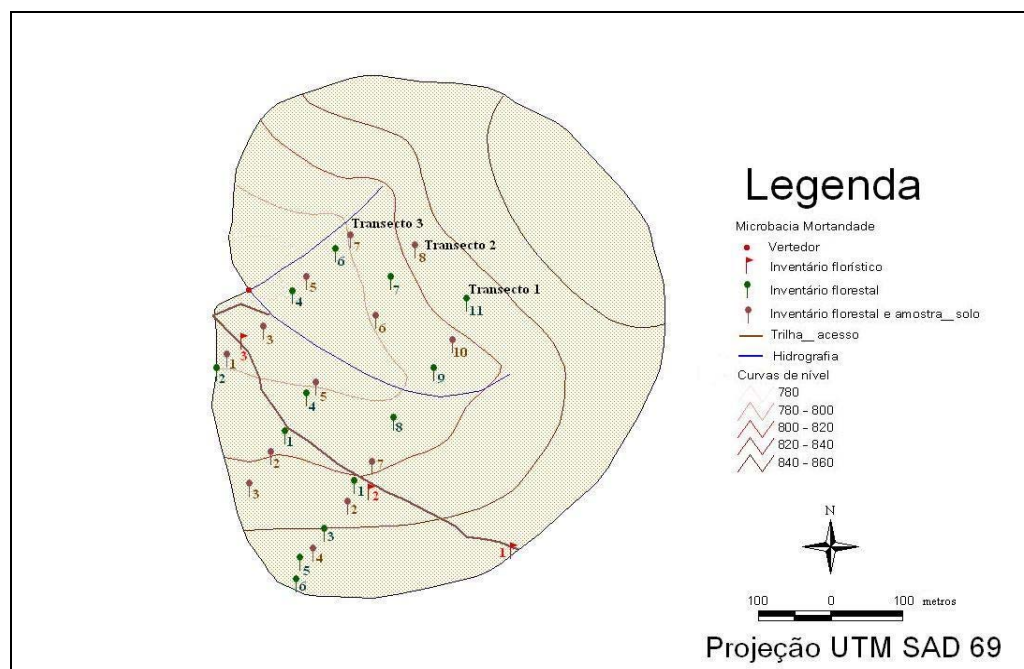


ANEXOS

ANEXO A – Mapa de localização das parcelas de inventário e amostragens de solo e biomassa aérea na microbacia Colônia (*Pinus*)



ANEXO B – Mapa de localização das parcelas do inventário florístico, florestal e amostragem de solo da microbacia Mortandade (Mata Atlântica)



ANEXO C – Relação das espécies identificadas nas 3 áreas do levantamento florístico na microbacia
Mortandade (Mata Atlântica)

(continua)

Parcela 1	Família/Espécie	Nome vulgar
	APOCYNACEAE	
1	<i>Rauwolfia sellowii</i>	Casco de anta
	EUPHORBIACEAE	
2	<i>Croton floribundus</i>	Capixingui
3	<i>Croton floribundus</i>	Capixingui
4	<i>Alchornea glandulosa</i>	Tapia
	FABACEAE	
5	<i>Machaerium nyetitans</i>	Rabo de bugio
6	<i>Machaerium nyetitans</i>	Rabo de bugio
	LAURACEAE	
7	<i>Nectandra megarotomica</i>	Canela
8	<i>Nectandra megarotomica</i>	Canela
9	<i>Nectandra megarotomica</i>	Canela
10	<i>Nectandra megarotomica</i>	Canela
11	<i>Nectandra megarotomica</i>	Canela
12	<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Peroba rosa
	MELIACEAE	
13	<i>Guarea macrophylla</i>	Canudo de pito
14	<i>Trichilia</i> sp.	Guatambú
15	<i>Trichilia</i> sp.	Louro
16	<i>Trichilia</i> sp.	Louro
17	<i>Trichilia</i> sp.	Louro
18	<i>Trichilia</i> sp.	Louro
19	<i>Trichilia</i> sp.	Louro
	MYRSINACEAE	
20	<i>Rapanea</i> sp.	Pororoca
	MYRTACEAE	
21	<i>Myrcia rostrata</i>	Cambuí
	MONIMIACEAE	
22	<i>Mollinedia triflora</i>	Fruta de veadó
23	<i>Mollinedia triflora</i>	Fruta de veadó
24	<i>Mollinedia triflora</i>	Fruta de veadó
25	<i>Mollinedia triflora</i>	Fruta de veadó
26	<i>Mollinedia triflora</i>	Fruta de veadó
	MORACEAE	
27	<i>Sorocea bonplandii</i>	Caxi
28	<i>Sorocea bonplandii</i>	Caxi
29	<i>Sorocea bonplandii</i>	Caxi
30	<i>Sorocea bonplandii</i>	Caxi
31	<i>Sorocea bonplandii</i>	Caxi
32	<i>Sorocea bonplandii</i>	Caxi
33	<i>Sorocea bonplandii</i>	Caxi
34	<i>Sorocea bonplandii</i>	Caxi
	SOLANACEAE	
35	<i>Cestrum</i> sp.	Café de bugre

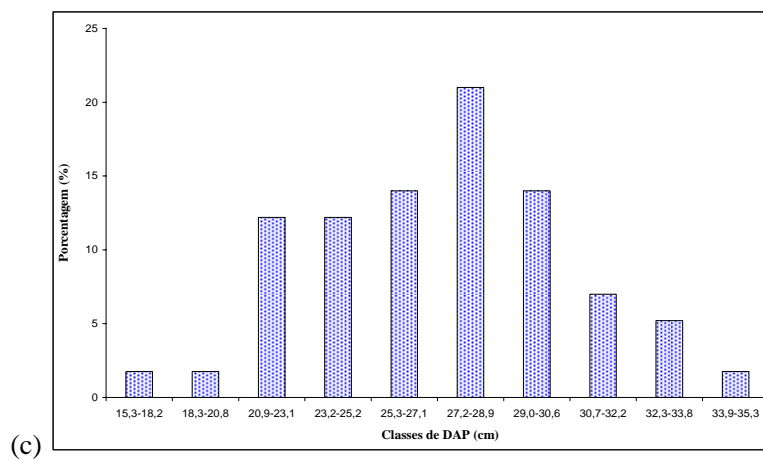
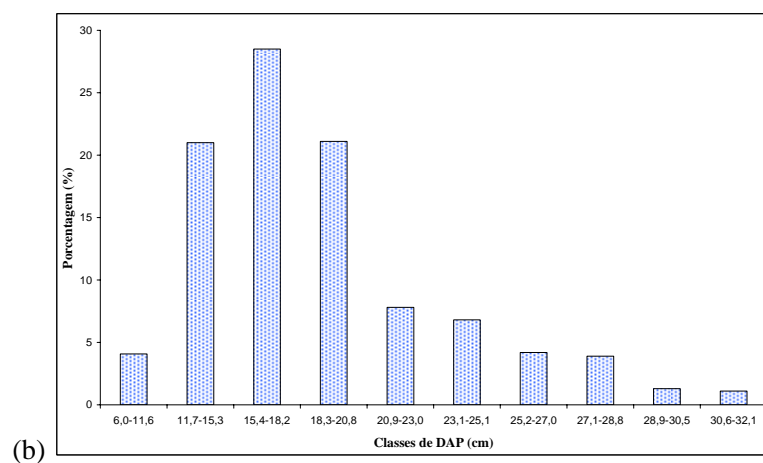
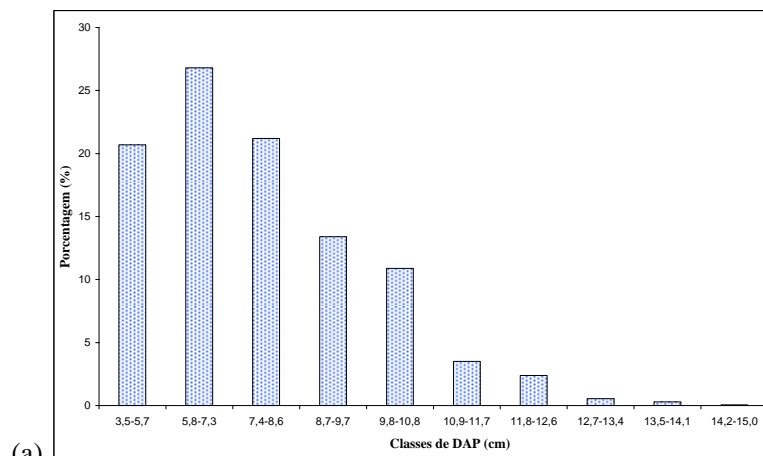
(continuação)

Parcela 1	Família/Espécie	Nome vulgar
	RUBIACEAE	
36	<i>Coutanea contracta</i>	Leiteiro
37	<i>Coutanea contracta</i>	Leiteiro
Parcela 2	Família/Espécie	Nome vulgar
	FABACEAE	
1	<i>Inga vera</i>	Ingá banana
2	<i>Parapiptadenia rigida</i>	Gorocaia
3	<i>Parapiptadenia rigida</i>	Gorocaia
	LAURACEAE	
4	<i>Nectandra megarotomica</i>	Canela
5	<i>Nectandra megarotomica</i>	Canela
6	<i>Nectandra megarotomica</i>	Canela
7	<i>Nectandra megarotomica</i>	Canela
8	Não identificada	Canela 1
9	Não identificada	Canela 1
10	<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Peroba rosa
	LOGANACEAE	
11	<i>Strychnos</i> sp.	Leiteiro duro
	MELIACEAE	
12	<i>Trichilia</i> sp.	Louro
13	<i>Trichilia</i> sp.	Louro
14	<i>Trichilia</i> sp.	Louro
15	<i>Trichilia</i> sp.	Louro
16	<i>Cedrela fissilis</i>	Cedro
17	<i>Trichilia</i> sp.	Guatambú
18	<i>Trichilia elegans</i>	Pururuca
19	<i>Trichilia elegans</i>	Pururuca
20	<i>Trichilia catigua</i>	Sem nome
21	<i>Trichilia</i> sp.	Guatambú
22	<i>Trichilia</i> sp.	Guatambú
23	<i>Trichilia</i> sp.	Guatambú
24	<i>Trichilia</i> sp.	Guatambú
25	<i>Trichilia</i> sp.	Guatambú
26	<i>Trichilia</i> sp.	Guatambú
27	<i>Trichilia</i> sp.	Guatambú
28	Não identificado	Guatambú branco
29	Não identificado	Guatambú branco
	MONIMIACEAE	
30	<i>Mollinedia triflora</i>	Fruta de veadó
31	<i>Mollinedia triflora</i>	Fruta de veadó
32	<i>Mollinedia triflora</i>	Fruta de veadó
33	<i>Mollinedia triflora</i>	Fruta de veadó
34	<i>Mollinedia triflora</i>	Fruta de veadó
35	<i>Mollinedia triflora</i>	Fruta de veadó
	MORACEAE	
36	<i>Sorocea bonplandii</i>	Caxi
	ROSACEAE	
37	<i>Prunus mytifolia</i>	Pessegueiro bravo
38	<i>Prunus mytifolia</i>	Pessegueiro bravo

(conclusão)

Parcela 2	Família/Espécie	Nome vulgar
39	<i>Prunus mytifolia</i>	Pessegueiro bravo
40	<i>Prunus mytifolia</i>	Pessegueiro bravo
41	<i>Prunus mytifolia</i>	Pessegueiro bravo
	SAPINDACEAE	
42	<i>Cupania vernalis</i>	Miguel pintado
Parcela 3	Família/Espécie	Nome vulgar
	AQUIFOLIACEAE	
1	<i>Ilex</i> sp.	Erva mate
	ARALIACEAE	
2	<i>Didymopanax morototoni</i>	Mandioqueiro
	ASTERACEAE	
3	Não identificada	Vassourão
	LAURACEAE	
4	<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Peroba rosa
	MYRSINACEAE	
5	<i>Rapanea</i> sp.	Pororoça
	MYRTACEAE	
6	<i>Myrcia rostrata</i>	Cambuí
7	<i>Myrcia rostrata</i>	Cambuí
8	<i>Myrcia rostrata</i>	Cambuí
9	<i>Myrcia rostrata</i>	Cambuí
10	<i>Myrcia rostrata</i>	Cambuí
11	Não identificada	Imbira de sapo

ANEXO D – Distribuição diamétrica das árvores selecionadas de (a) *P. taeda* de 4 anos, (b) *P. taeda* de 8 anos e (c) *E. grandis* de 13 anos



ANEXO E – Modelos de biomassa e nutrientes nos diferentes compartimentos para *P. taeda* e *E. grandis*

(continua)

Espécie	Compartimento	Elemento	R ²	RMSE
<i>P. taeda</i> (4 anos)	Acícula	$Biomassa = 0,07160D^2$	0,94	4,16
		$N = 0,00119D^2$	0,94	0,0012
		$P = 0,00007749D^2$	0,95	5×10^{-6}
		$K = 0,00032687D^2$	0,98	3×10^{-5}
		$Ca = 0,00027848D^2$	0,95	1×10^{-4}
		$Mg = 0,00019604 \sqrt{D^2 H}$	0,93	2×10^{-6}
	Galho	$S = 0,00005397D^2$	0,90	1×10^{-5}
		$Biomassa = 0,05819D^2$	0,95	0,22
		$N = 0,00035247D^2$	0,96	3×10^{-6}
		$P = 0,00002742D^2$	0,97	1×10^{-8}
		$K = 0,00009848D^2$	0,96	1×10^{-6}
		$Ca = 0,00035791 \sqrt{D^2 H}$	0,90	3×10^{-6}
	Casca	$Mg = 0,00002451D^2$	0,98	3×10^{-9}
		$S = 0,00036167H$	0,84	1×10^{-7}
		$Biomassa = 0,20317D$	0,95	4,53
		$N = 0,00093656D$	0,96	2×10^{-4}
		$P = 0,00006495D$	0,97	2×10^{-6}
		$K = 0,00044085H$	0,96	1×10^{-5}
	Lenho	$Ca = 0,00049849D$	0,90	3×10^{-6}
		$Mg = 0,00006139H$	0,98	4×10^{-7}
		$S = 0,00006344D$	0,84	3×10^{-6}
$Biomassa = 0,048857 \sqrt{D^2 H}$		0,98	2,46	
$N = 0,00165 \sqrt{D^2 H}$		0,97	5×10^{-5}	
$P = 0,00051919 \sqrt{D^2 H}$		0,98	3×10^{-6}	
<i>P. taeda</i> (8 anos)	Acícula	$K = 0,00061093 \sqrt{D^2 H}$	0,98	1×10^{-5}
		$Ca = 0,00032366 \sqrt{D^2 H}$	0,95	4×10^{-6}
		$Mg = 0,00000374D^2 H$	0,92	1×10^{-6}
		$S = 0,00014936 \sqrt{D^2 H}$	0,71	1×10^{-5}
		$Biomassa = 0,00256D^2 H$	0,97	21,7
		$N = 0,00003297D^2 H$	0,96	0,0063
	Galho	$P = 0,00002857D^2$	0,96	2×10^{-5}
		$K = 0,00001129D^2 H$	0,97	5×10^{-4}
		$Ca = 0,00000546D^2 H$	0,89	5×10^{-4}
		$Mg = 0,00000225D^2 H$	0,93	5×10^{-5}
		$S = 0,00000175D^2 H$	0,85	1×10^{-4}
		$Biomassa = 0,00205D^2 H$	0,90	18,4
		$N = 0,00000662D^2 H$	0,88	3×10^{-4}
		$P = 0,00024250D$	0,96	1×10^{-7}
Galho	$K = 0,00000188D^2 H$	0,88	1×10^{-5}	
	$Ca = 0,00003760D^2$	0,93	1×10^{-6}	
Galho	$Mg = 0,000000772D^2 H$	0,92	5×10^{-7}	
	$S = 0,00025526D$	0,81	1×10^{-6}	

(conclusão)

Espécie	Compartimento	Elemento	R ²	RMSE
<i>E.grandis</i> (13 anos)	Casca	$Biomassa = 0,13072\sqrt{D^2H}$	0,96	18,4
		$N = 0,00194D$	0,97	2×10^{-4}
		$P = 0,00000997H - 0,00000653\sqrt{D^2H}$	0,92	3×10^{-6}
		$K = 0,00035099D$	0,91	4×10^{-5}
		$Ca = 0,00016592D$	0,91	6×10^{-5}
		$Mg = 0,00010211D$	0,95	5×10^{-6}
	Lenho	$S = 0,0000990H$	0,81	1×10^{-5}
		$Biomassa = 0,000998D^2H$	0,99	101,8
		$N = 0,00038285D^2$	0,98	7×10^{-4}
		$P = 0,00000467D^2H$	0,96	1×10^{-4}
		$K = 0,00000721D^2H$	0,97	2×10^{-4}
		$Ca = 0,00000591D^2H$	0,95	2×10^{-4}
	Folha	$Mg = 0,00000183D^2H$	0,95	2×10^{-5}
		$S = 0,0000320D^2$	0,94	4×10^{-5}
		$Biomassa = 0,00071667D^2H$	0,93	37,7
		$N = 0,00001092D^2H$	0,94	0,007
		$P = 0,0000006867231D^2H$	0,86	1×10^{-4}
		$K = 0,00000388D^2H$	0,85	0,002
	Galho	$Ca = 0,00000347D^2H$	0,80	0,003
		$Mg = 0,00000112D^2H$	0,89	1×10^{-4}
		$S = 0,000000662871D^2H$	0,93	3×10^{-5}
		$Biomassa = 0,00115D^2H$	0,95	65,2
		$N = 0,00000372D^2H$	0,94	0,001
		$P = 0,00021624D$	0,91	2×10^{-5}
	Casca	$K = 0,00145D$	0,91	0,002
		$Ca = 0,00031714\sqrt{D^2H}$	0,75	0,05
		$Mg = 0,00056525D$	0,93	3×10^{-4}
		$S = 0,00001728D^2$	0,93	2×10^{-5}
		$Biomassa = 0,00115D^2H$	0,86	207,7
		$N = 0,00000443D^2H$	0,84	0,003
$P = 0,00007541\sqrt{D^2H}$		0,60	2×10^{-5}	
$K = 0,00000500D^2H$		0,72	0,001	
$Ca = 0,00001699D^2H$		0,90	0,03	
$Mg = 0,00000191D^2H$		0,86	4×10^{-5}	
$S = 0,0000006073402D^2H$		0,91	2×10^{-5}	
$Biomassa = 0,01482D^2H$		0,96	7938,9	
$N = 0,00002570D^2H$	0,95	0,03		
$P = 0,00000237D^2H$	0,78	0,002		
$K = 0,00000587D^2H$	0,84	0,006		
$Ca = 0,00000407D^2H$	0,86	0,003		
$Mg = 0,00000138D^2H$	0,78	0,001		
$S = 0,00000133D^2H$	0,96	1×10^{-4}		

Nota: D = diâmetro à altura do peito (DAP) cm; H = altura (m); Biomassa expressa em g e nutrientes em mg