

**IMPACTOS DA COLHEITA DE PINUS TAEDA SOBRE O
BALANÇO HÍDRICO, A QUALIDADE DA ÁGUA E A CICLAGEM
DE NUTRIENTES EM MICROBACIAS**

VIVIANA KYOKO OKI

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências, Área de Concentração: Ciências Florestais.

PIRACICABA

Estado de São Paulo – Brasil

Março - 2002

**IMPACTOS DA COLHEITA DE *Pinus taeda* SOBRE O
BALANÇO HÍDRICO, A QUALIDADE DA ÁGUA E A CICLAGEM
DE NUTRIENTES EM MICROBACIAS**

VIVIANA KYOKO OKI

Engenheiro Florestal

Orientador: **Prof. Dr. Walter de Paula Lima**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências, Área de Concentração: Ciências Florestais.

PIRACICABA

Estado de São Paulo – Brasil

Março - 2002

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

Oki, Viviana Kyoko

Impactos da colheita de *Pinus taeda* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias / Viviana Kyoko Oki. - - Piracicaba, 2002.

71 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.

Bibliografia.

1. Bacia hidrográfica 2. Balanço hídrico 3. Colheita 4. Nutrição vegetal 5. Pinheiro 6. Preparo do solo I. Título

CDD 634.9751

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

À minha amada mãe Kazuko,
pela coragem e persistência.
Minhas eternas saudades.

Ao meu querido pai, Shinichi, ao
meu marido, Vinicius, que sempre
me mantém com os pés no chão.

DEDICO

Agradecimentos

Ao Prof. Walter de Paula Lima pela orientação, compreensão e paciência.

A Zezé pela eterna e inesquecível colaboração durante a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida.

Ao técnico florestal Bernardi da Inpacel, pela constante colaboração e dedicação na coleta de dados e acompanhamento de trabalhos de campo.

Ao pessoal da Inpacel, que colaboraram na cubagem das árvores embaixo de chuva.

Aos amigos Alexandre e Ivan, que contribuíram para minha adaptação a uma nova circunstância e pela amizade.

Ao meu amigo de longa data Alberto, pela eterna amizade, pela ajuda e puxões de orelha.

À todos os colegas da Pós graduação, que de forma direta ou indireta tornaram essa experiência inesquecível!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	<i>vi</i>
LISTA DE TABELAS	<i>ix</i>
RESUMO	<i>x</i>
SUMMARY	<i>xii</i>
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Área de estudo	14
3.1.1 Caracterização das microbacias estudadas	15
3.2 Medição de deflúvio e precipitação	17
3.3 Qualidade da água	21
3.4 Ciclagem (bio)geoquímica	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Ciclagem de nutrientes	26
4.2 Balanço geoquímico	30
4.3 Balanço hídrico	32
4.4 Qualidade da água	35
4.4.1 Mata ciliar	47
5 CONCLUSÕES	50
ANEXOS	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Vista parcial da Microbacia Experimental da Lage após a colheita florestal.	17
2 Estação linimétrica (Microbacia Experimental do Banhado).	19
3 Vista do vertedor misto instalado na Microbacia Experimental da Lage.	20
4 Precipitação (P), deflúvio (Q) e balanço geoquímico de nutrientes na microbacia do Banhado, estimativas para 1 ano.	31
5 Precipitação (P), deflúvio (Q) e balanço geoquímico de nutrientes, na microbacia da Lage (antes do corte), estimativas para 1 ano.	31
6 Precipitação (P), deflúvio (Q) e balanço geoquímico de nutrientes na microbacia da Lage após o corte, compreendendo os anos de 1998 e 1999.	32
7 Médias mensais para Precipitação e Vazão para as microbacias da Lage e do Banhado, durante o período de estudo.	34
8 Médias mensais para Precipitação e ET (P-Q) para as microbacias da Lage e do Banhado, durante o período de estudo.	34
9 Concentrações médias mensais de N, em mg.l^{-1} , para as microbacias da Lage (L) e do Banhado (B).	36
10 Concentrações médias mensais de P, em mg.l^{-1} , para as microbacias da Lage e do Banhado.	37
11 Concentrações médias mensais de K, em mg.l^{-1} , para as microbacias da Lage e do Banhado.	37

12	Concentrações médias mensais de Ca, em mg.l^{-1} , para as microbacias da Lage e do Banhado.	38
13	Concentrações médias mensais de Mg, em mg.l^{-1} , para as microbacias da Lage e do Banhado.	38
14	Concentrações médias mensais de Fe, em mg.l^{-1} , para as microbacias da Lage e do Banhado.	39
15	Concentrações médias mensais de Na, em mg.l^{-1} , para as microbacias da Lage e do Banhado.	39
16	Concentrações médias mensais de sedimentos, em mg.l^{-1} , para as microbacias da Lage e do Banhado.	40
17	Valores médios mensais da turbidez, em (FTU), para as microbacias da Lage e do Banhado.	40
18	Valores médios mensais da Cor (PtCo) para as microbacias da Lage e do Banhado.	41
19	Valores médios mensais da condutividade (umho.cm^{-1}) para as microbacias da Lage e do Banhado.	41
20	Concentrações médias mensais da alcalinidade, em mg.l^{-1} , para as microbacias da Lage e do Banhado.	42
21	Valores médios mensais do pH para as microbacias da Lage e do Banhado.	42
22	Intervalo de confiança e valores médios de nitrogênio e fósforo observados antes e depois do corte.	44
23	Intervalo de confiança e valores médios de cálcio e ferro observados antes e depois do corte.	44
24	Intervalo de confiança e valores médios de potássio, magnésio e sódio observados antes e depois do corte.	44
25	Intervalo de confiança e valores médios de alcalinidade e turbidez observados antes e depois do corte.	45
26	Intervalo de confiança e valores médios de sedimentos, cor e condutividade observados antes e depois do corte.	45

27	Intervalo de confiança e valores médios de pH observados antes e depois do corte.	45
28	Mapa plani – altimétrico das microbacias da Lage (1) e do Banhado (2).	48

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Quantificação de biomassa total, do tronco e das acículas em plantações de <i>Pinus caribaea</i> em países tropicais.	13
2 Teor de nutrientes em plantações de <i>Pinus caribaea</i> em países tropicais.	13
3 Características fisiográficas das microbacias experimentais da Lage e do Banhado.	16
4 Distribuição de biomassa e de nutrientes para a plantação de <i>Pinus</i> com 25 anos da microbacia da Lage.	29
5 Balanço biogeoquímico de nutrientes na microbacia da Lage: média de 1 ano para dados de precipitação e deflúvio.	29
6 Balanço hídrico para a microbacia da Lage para o período experimental.	33
7 Balanço hídrico para a microbacia do Banhado para o período experimental.	33

IMPACTOS DA COLHEITA DE PINUS TAEDA SOBRE O BALANÇO HÍDRICO, A QUALIDADE DA ÁGUA E A CICLAGEM DE NUTRIENTES EM MICROBACIAS

Autora: Viviana Kyoko Oki

Orientador: Prof. Dr. Walter de Paula Lima

RESUMO

A busca do manejo sustentável tem promovido estudos em microbacias hidrográficas através do monitoramento das atividades florestais, procurando a melhor forma de manejo do solo, de modo a diminuir impacto ambiental e ao mesmo tempo manter a produtividade do sítio e a rentabilidade econômica. Neste contexto, com o intuito de obter informações sobre os impactos provocados pelas atividades de exploração e preparo do solo realizadas em áreas reflorestadas com *Pinus taeda*, o presente trabalho consiste na análise de dados do monitoramento do manejo florestal em duas microbacias adjacentes, denominadas de Microbacia Experimental da Lage e a Microbacia Experimental do Banhado, sendo esta última mantida inalterada durante o período de estudo. A evapotranspiração (ET) média para o período antes do corte foi de 1388,6mm para a microbacia da Lage e 1362,7mm para a microbacia do Banhado, representando 91% e 89% da precipitação, respectivamente. No primeiro ano após o corte, os valores médios estimados foram de: 1012,1mm, representando 77% da precipitação para a Lage e 1145,9mm (88% da precipitação) para o Banhado. No segundo ano após o corte a ET da microbacia da Lage manteve-se no patamar de 78% da

precipitação. A maior parte da biomassa presente na microbacia estava contida no lenho, seguido dos galhos, casca e acículas, sendo que 277,57 ton. ha⁻¹ foram retiradas na forma de toras (lenho e casca) e 80,00 ton. ha⁻¹ foram mantidas no campo (acículas e galhos). A colheita da madeira foi responsável pela retirada de: 487,11 kg ha⁻¹ de N; 5,80 kg ha⁻¹ de P; 117,14 kg ha⁻¹ de K; 314,58 kg ha⁻¹ de Ca e 287,19 kg ha⁻¹ de Mg. A ciclagem biogeoquímica demonstrou balanço negativo para todos os elementos analisados, sendo que o nitrogênio foi o elemento que teve maior perda, estando esta perda diretamente relacionada com a exportação através da biomassa. A ciclagem geoquímica, avaliada depois do corte, mostrou balanço negativo somente para o Mg, apresentando perda de 1,21 kg ha⁻¹, e balanço positivo para N, P, K, Ca.

IMPACTS OF THE HARVESTING OF *PINUS TAEDA* PLANTATION ON THE WATER BALANCE, WATER QUALITY AND NUTRIENT CYCLING OF A CATCHMENT

Author: Viviana Kyoko Oki

Adviser: Walter de Paula Lima

SUMMARY

The search for sustainable forest management has result in several monitoring studies in experimental catchments, aimed at obtaining best management practices and minimizing environmental impacts. The present study was developed with the purpose of identifying hydrological indicators which could be used for the monitoring of harvesting activities of *Pinus taeda* plantations in two experimental catchments : Lage and Banhado. The Lage catchment was used as the treatment catchment (clearcutting harvesting) and the Banhado catchment remained undisturbed as a control. Result showed an annual evapotranspiration of 1388,6 mm for the Lage catchment and 1362,7 mm for the Banhado during the pre-treatment period. After clearcutting, annual evapotranspiration declined to 1012,1 mm for the treated catchment and 1145,9 mm for the control catchment. In terms of biogeochemistry results, the greatest proportion of the aboveground biomass was in the wood compartment (278,57 ton.ha⁻¹), against 80 ton.ha⁻¹ of leaves and small branches, wich remained in the fiel. Harvesting wood biomass was responsible for the following exportation of nutrients from the catchment soil: 487,11 kg ha⁻¹ de N; 5,80 kg ha⁻¹ de P; 117,14

kg ha⁻¹ de K; 314,58 kg ha⁻¹ de Ca e 287,19 kg ha⁻¹ de Mg. Biogeochemical budgets was negative for all studied nutrients. Catchment geochemical budget in the pos-treatment period was negative only for Mg, with a net loss 1,21kgha⁻¹, and positive for N, P, K and Ca.

1 INTRODUÇÃO

A água é de vital importância para a sobrevivência de todos os seres vivos uma vez que está presente na maioria dos processos metabólicos dos organismos vivos. Além dessa atuação vital, levando-se em conta o ciclo hidrológico, ela interage com todo o ambiente e com o ecossistema, acumulando todas as informações dessas interações e, assim, funcionando como indicador ambiental de grande eficiência. Por exemplo, a alteração do uso do solo pelas atividades agrícolas e florestais, assim como a retirada e a mudança do tipo de cobertura vegetal, influenciam de maneira significativa a hidrologia de superfície (Lal, 1997).

O estudo em microbacias hidrográficas permite verificar a relação sistêmica entre os elementos envolvidos, sendo desta forma considerado um instrumento de grande importância, uma vez que a microbacia possui contornos bem definidos e funciona como um sistema aberto e sensível a qualquer alteração no ambiente, que por sua vez pode ser mensurado através da qualidade da água.

O uso de microbacias hidrográficas como unidades experimentais teve início por volta do começo do século passado em vários países. Os inúmeros resultados já obtidos mostram que o uso da terra, como as atividades florestais, podem afetar não apenas a quantidade mas também a qualidade da água. As atividades realizadas na colheita florestal são em geral, responsáveis por significativo impacto sobre o funcionamento da microbacia, principalmente através da compactação do solo, erosão e ruptura da ciclagem de nutrientes.

Para a realização deste estudo foram selecionadas duas microbacias, em uma das fazendas florestais da Inpapel S/A, em Arapoti / Pr, denominadas Microbacia Experimental do Banhado e Microbacia Experimental da Lage.

A Microbacia do Banhado, instrumentada no início de 1996, possui área de 45,9 ha e foi mantida como testemunha no presente estudo, significando que a mesma manteve-se inalterada durante todo o período experimental. A Microbacia da Lage, com área de 65,5 ha, foi instrumentada no final do ano de 1995, utilizada como bacia tratada, sendo o tratamento caracterizado pelo corte raso da plantação de *Pinus taeda* seguido de enleiramento e queima do material deixado no campo. O corte, teve início em novembro de 1997, de acordo com as normas da empresa (corte por motosserras, arraste pelo skider e desganhamento pelo método da grade desganhadora).

A instrumentação envolveu instalação de uma estação limimétrica, composta por um vertedor misto, uma régua graduada para medir o nível do leito do rio, uma abrigo protetor do linígrafo e a instalação do linígrafo propriamente dito. A estação pluviométrica utilizada já se encontra em funcionamento na sede da fazenda.

O período experimental foi de 4 anos, sendo que os dois primeiros anos foram destinados para calibração das microbacias. Após a calibração, foi realizado o corte raso da microbacia da Lage. O trabalho foi dividido em 2 fases distintas, a primeira que compreende o período da calibração das microbacias, e a segunda que começa com o início das operações de colheita.

Durante a primeira fase do trabalho, não compreendido neste estudo, foram coletados semanalmente dados de vazão, precipitação e qualidade da água, procedimento este que se manteve durante a segunda fase. Além das informação quantitativas e qualitativas da água do deflúvio e da precipitação, foram coletadas informações sobre a biomassa existente na microbacia, no intuito de avaliar a ciclagem biogeoquímica de nutrientes. As análises envolveram a quantificação do balanço hídrico, ciclagem geoquímica e biogeoquímica de nutrientes e saída de nutrientes pelo deflúvio.

Através de dados disponíveis de precipitação, deflúvio, concentração de nutrientes na água da chuva e do deflúvio, estoque de nutrientes na biomassa, este estudo teve como objetivo avaliar a influência do corte raso e preparo do solo sobre o balanço hídrico, qualidade da água e exportação de nutrientes através da ciclagem geoquímica e biogeoquímica na microbacia experimental reflorestada com *Pinus taeda* sobre a hidrologia e seus possíveis impactos ambientais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A bacia hidrográfica é um sistema geomorfológico aberto, que recebe energia e matéria através de agentes climáticos e perde através do deflúvio. Ela é uma unidade natural da paisagem que apresenta limites bem definidos, funcionando através de contínua troca de energia e de matéria com o meio. Devido a esta característica de equilíbrio dinâmico, qualquer modificação que ocorrer sobre ela, acarretará uma mudança no seu comportamento (Gregory & Walling, 1973).

Desta forma, o funcionamento hidrológico de uma microbacia é altamente complexo e bastante estável, suportando alterações naturais quando em boas condições de proteção vegetal. Por esta mesma razão, ela é também altamente sensível a perturbações, cujas alterações se refletem na qualidade da água, que reflete o resultado integrado de todos os fatores intrínsecos a cada microbacia (Perry & Maghembe, 1989). Devido a esses fatores, ela é naturalmente considerada uma unidade ecossistêmica de planejamento (Likens, 1985), onde é possível promover estudos sobre formas de manejo florestal sustentável, englobando o princípio da manutenção da integridade do ecossistema.

Essas características e os diversos estudos realizados ao longo dos anos demonstram que a utilização de microbacias experimentais apresenta-se como um método adequado para a análise dos efeitos ambientais do uso do solo. Outra característica importante é que ela funciona como laboratório natural para

estudos a médio e longo prazo, fornecendo maiores informações sobre quais atividades provocam maiores impactos ao ambiente, ajudando na busca de critérios de manejo sustentável.

O manejo sustentável de microbacias hidrográficas busca utilizar os recursos naturais de tal maneira a garantir a manutenção da saúde do ecossistema (Lima & Zakia, 1998), organizando e orientando o uso da terra e de outros recursos naturais de modo a produzir bens e serviços sem destruir ou afetar de modo irreversível o solo e a água, utilizando como ferramenta o planejamento orientado das atividades e uso do solo (Brooks et al., 1991).

Devido às suas características, a colheita florestal é, em geral, responsável por significativos impactos sobre o funcionamento harmônico da microbacia, através da compactação do solo, da erosão, da ruptura da ciclagem de nutrientes (Fiebiger, 1993; Waterloo, 1994). Porém, atividades como o planejamento na construção de estradas, proteção a zona ripária e a exploração adequada nas áreas mais sensíveis da microbacia podem minimizar esses impactos.

O entendimento relativo da chamada “Área variável de afluência” (Zakia, 1998) é de grande importância no planejamento do uso do solo para a minimização dos danos ambientais provocados pelas atividades humanas, uma vez que ela trata do conhecimento da dinâmica da microbacia, orientando o planejamento do manejo quanto ao local e época de intervenções, de modo a minimizar o impacto causado pelas atividades de colheita e preparo do solo.

A caracterização hidrológica de uma bacia deve levar em conta todos os processos do ciclo hidrológico, desde a entrada da água na bacia, pelas chuvas e sua redistribuição através dos compartimentos, e sua saída, bem como as transformações que ocorrem em seu interior (Scardua, 1994). Segundo o autor,

a definição do balanço hídrico é uma das primeiras e mais importante análises a serem feitas em estudos hidrológicos, uma vez que a partir dela pode-se verificar a influência da floresta ou do uso da terra no regime hidrológico da microbacia.

As características inerentes de cada espécie e as variações climáticas, assim como a colheita e o preparo do solo alteram o regime de vazão e concentração de nutrientes na água em uma microbacia. Logo, atividades como corte da floresta ou desbastes, assim como a substituição de espécies de raízes profundas por espécies de raízes superficiais, promovem o aumento na produção de água, pela alteração na taxa de evapotranspiração (Brooks et al., 1991)

Em condições climáticas normais, a evapotranspiração varia de 60 à 90% da precipitação, mas há variações em função de condições microclimáticas locais. Cicco et al. (1989), em condições de floresta de Mata Atlântica na Serra do Mar, verificaram evapotranspiração de 318,0 mm, que representou 10,48% da precipitação. Na Floresta Amazônica, Franken & Leopold (1986/1987) encontraram valores de 67,7% de evapotranspiração.

Diversos trabalhos como o de Brooks et al. (1991) associam a mudança do deflúvio à alteração nas taxas de evapotranspiração. Logo, quando as florestas são cortadas ou desbastadas, ou quando a cobertura florestal é convertida de espécies de raízes mais profundas por espécies de raízes superficiais, pode ocorrer aumento na produção de água da microbacia. No caso de retirada parcial ou total da cobertura florestal, o aumento do deflúvio tende a diminuir com o passar dos anos, sendo que o aumento máximo da produção de água se dá durante o primeiro ano após a retirada da floresta (Stednick, 1996).

A retirada de 30% da cobertura de *Pinus* levou ao aumento de 10 a 71% no deflúvio, sendo que as maiores saídas foram registradas na época chuvosa, variação essa que persistiu durante os três primeiros anos após o corte (Lesch & Scott, 1997). Estes autores sugerem que para plantações com espécies de rápido crescimento, como o eucalipto, a avaliação de aumento no deflúvio após o desbaste seja difícil, devido ao aumento muito rápido no consumo de água em decorrência do crescimento acelerado dessas espécies.

Em trabalho realizado na bacia de produção de água de Sierra Nevada na Califórnia, a retirada de 30% da vegetação arbórea proporcionou um aumento de 14% na vazão (Kattelman et al., 1983). Em estudo realizado no Arizona, o corte de 75% dos indivíduos de *Pinus ponderosa* representou um aumento no deflúvio de 19%, segundo Baker Jr. (1975).

Sahin & Hall (1996), aplicando a análise de regressão linear em 145 experimentos sobre produção de água sob diferentes sistemas de manejo, concluíram que a redução de 10% da cobertura vegetal é suficiente para resultar em uma diminuição na produção de água, sendo que em florestas de *Pinus* essa diminuição foi da ordem de 20 - 25mm, enquanto que em plantios de eucalipto essa variação foi de 6 mm.

Em estudo realizado em microbacia coberta com *Pinus* adulto, onde foi realizado desbaste seletivo resultando em densidade populacional de 200 árvores por hectare, Oliveira (1989) encontrou evapotranspiração igual a 89% da precipitação.

Avaliando o efeito do corte raso de uma microbacia reflorestada com eucalipto com idade aproximada de 50 anos, Câmara (1999) verificou que a evapotranspiração correspondia a 66% da precipitação antes da realização do corte, após o corte passou a 65%, sendo esta taxa de evapotranspiração

semelhante às encontradas em florestas naturais maduras. Segundo o autor, a fase inicial do crescimento das espécies arbóreas são as que demandam maior consumo de água, devido ao seu crescimento e produção de biomassa. Por se tratar da rebrota de uma floresta madura, inferiu-se que a baixa taxa de evapotranspiração foi em função da pouca utilização da água, ou seja, ela já havia passado pelas etapas de maior acúmulo de biomassa.

Pilgrim et al. (1982), estudando quatro microbacias, sendo duas com cobertura de pinus à nordeste de Sidney, verificaram que a conversão de florestas naturais de eucalipto para *Pinus radiata* provocou uma diferença de 40% volume de vazão, durando um período de 3 anos após o corte, devido a diferença de consumo de água existente entre as espécies.

Em experimento realizado por Putuhena & Cordery (2000), sobre a conversão de floresta de eucalipto por *Pinus radiata*, durante 27 anos, verificaram aumento significativo nas taxas de vazão com o avanço da idade da floresta de Pinus. Porém, comparativamente com a cobertura de eucalipto, essa diferença ao longo dos anos após a conversão não foi significativa. Durante um período de 7 a 8 anos, houve diminuição na evaporação da água interceptada pela copa e pelo solo (camada de litter), após este período os valores foram semelhantes aos encontrados antes da conversão. No que diz respeito à transpiração, o aumento continuou por um período de 12 anos, tendendo a estabilização após este período. A evapotranspiração da microbacia coberta de eucalipto representava 66% da precipitação anual. Logo após a conversão houve um aumento de 1,5% na ET, que chegou a 19% após 5 anos. O Pinus adulto, intercepta cerca de 15% mais que o eucalipto, e tem vazão de 5 a 7% e evapotranspiração 10% menores que plantações de eucalipto.

A água da chuva, após entrar em contato com o dossel da floresta tem suas características físico-químicas alteradas pela lixiviação dos metabólitos

dos tecidos das folhas, troncos e ramos e também pela lavagem das partículas provenientes da deposição seca que acumulam após períodos de estiagem, sendo que as espécies folhosas sofrem maior lixiviação do que as coníferas. A proximidade do mar influencia no aumento das concentrações de sódio, cloro, magnésio e potássio; por outro lado, onde há predomínio de atividades voltadas ao uso do solo, a tendência é encontrar maiores concentrações de cálcio, fósforo e nitrato, e as proximidade de áreas industriais contribuem para o acúmulo de NO_3 .

A qualidade da água é um indicativo das condições e processos naturais e artificiais que ocorrem na microbacia. Além deste efeito da vegetação, as características geológicas são determinantes na qualidade final da água do deflúvio. Solos sem cobertura, por sua vez, podem ser duplamente prejudiciais, uma vez que chuvas fortes podem carregar os nutrientes empobrecendo o sítio e aumentando as taxas de turbidez e sedimentos nos rios.

Florestas naturais não perturbadas normalmente encontram-se em equilíbrio dinâmico, que reduz ao mínimo a perda de nutrientes devido a interação solo-planta. Devido a esse equilíbrio, florestas não perturbadas possuem grande estabilidade no sentido de que todos os elementos que entram no ecossistema, tanto pela precipitação quanto pelo intemperismo, apresentam-se em equilíbrio com a saída pela rede de drenagem (Poggiani, 1981). Portanto, o corte da floresta, diretamente relacionada com a forma de manejo aplicada, provoca a ruptura desse ciclo, aumentando a concentração de nutrientes nos rios (Aust et al., 1996).

Em experimento realizado por Cicco et al. (1995) na Serra do Mar, verificou-se que existe uma período de retardamento de aproximadamente 2 meses entre a precipitação e o escoamento base da bacia, isso devido às boas

condições de cobertura do solo, o que propicia uma alta taxa de infiltração e menor taxa de escoamento superficial.

A concentração de nutrientes na água do deflúvio também apresentam uma certa sazonalidade, sendo que amostras coletadas longos períodos de estiagem tendem a apresentar maiores concentrações de nutrientes se comparadas com épocas chuvosas.

Tais comportamentos são verificados em experimentos como o realizado por Arcova et al.(1985), que observaram que os maiores picos de nutrientes são verificados após períodos de seca, devido ao maior acúmulo de aerossóis na atmosfera, que são lavados pela chuva ocasionando tais picos. Foi observado também que as concentrações de NO_3 na água do deflúvio são maiores no inverno e menores durante o verão, causada pelo aumento da absorção biológica de nitrogênio durante as épocas mais quentes.

Lima et al. (1996), estudando floresta de eucalipto de 50 anos, verificaram que os parâmetros de qualidade de água apresentaram variação sazonal, sendo ela esperada para esta condição. A ciclagem geoquímica demonstrou balanço negativo para Ca, Mg e Na e positivo para K, sendo o resultado similar a outros estudos realizados.

Na Serra do Mar verificou-se que a entrada de nutrientes via precipitação não foi suficiente para compensar a saída de nutrientes via deflúvio, resultando no balanço negativo para todos os elementos, havendo dessa maneira perda líquida de nutrientes na bacia (Arcova et al. ,1993).

Em floresta natural de Pinus, Iwatsubo & Tsutsumi (1981), verificaram que grande parte dos nutrientes que entravam via precipitação permaneceu no solo. Observaram ainda, que a maior parte do Cl que entra no sistema pela

chuva permanece no litter e apenas uma pequena parte é perdida pelo deflúvio, o mesmo acontecendo com o nitrogênio, enquanto que a saída de cátions (Ca, Mg, K e Na) foi muito maior na vazão do que a sua entrada pela precipitação.

A condutividade elétrica, dentre os parâmetros físicos, parece ser o mais útil para detectar a variação nas características qualitativas da água do deflúvio por estar diretamente relacionada à concentração total de íons (Arcova, 1996). Miller (1984) observou aumento na produção de sedimentos em suspensão após o corte, seguindo uma tendência à redução com o término das operações silviculturais.

A ciclagem biogeoquímica é responsável por parte do capital de nutrientes em um ecossistema florestal, envolvendo um processo de armazenamento dinâmico de contínua liberação e absorção de nutrientes entre o solo e a planta (Lima, 1996)¹, uma vez que esses nutrientes permanecem temporariamente retidos na biomassa. A medida que as folhas, galhos e raízes vão sendo incorporados a serrapilheira e sofrem o processo de decomposição ocorre a liberação desses nutrientes ao solo, conseqüentemente disponibilização para as plantas.

Dessa forma, a quantificação dos nutrientes na biomassa, bem como o padrão de sua ciclagem permitem avaliar a magnitude dos reflexos causados por intervenções antrópica ou por fenômenos naturais ocorridos no ecossistema (Drumond et al, 1997), tornando possível através do balanço biogeoquímico quantificar a saída ou perda de nutrientes pelo ecossistema.

Microbacias com cobertura florestal, seja em condições normais ou em reflorestamento, apresentam um controle efetivo sobre os processos envolvidos na ciclagem geoquímica de nutrientes, sendo esta ciclagem mais eficaz e conservadora que em outros tipos de cobertura vegetal, resultando em

¹ LIMA, W. P. da (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP) Hidrologia Florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas (em elaboração).

deflúvio com baixas concentrações de nutrientes (Lima, 1996). As atividades silviculturais são responsáveis por alterações na qualidade final da água, uma vez que ela altera os processos de escoamento superficial, erosão e ciclagem de nutrientes.

A concentração de nutrientes nos diferentes compartimentos em florestas de *Pinus* varia tanto entre espécies como dentro de cada espécie (Waterloo, 1994), sendo que o acúmulo máximo de nutrientes ocorre entre os 10 e 15 anos de idade.

Em plantações de *Eucalyptus* com 8 anos de idade no Himalaia (Bergali & Singh, 1991), a biomassa total mensurada foi de 126,7 ton.ha⁻¹, sendo que a maior concentração de nitrogênio foi verificado no lenho com 43,8 kg.ha⁻¹. O fósforo e o potássio tiveram maior acúmulo nas folhas (6,60 e 80 kg.ha⁻¹, respectivamente). Os autores sugerem ainda que as plantações de eucalipto locais demandam menos nutrientes do que as florestas naturais.

Em espécies folhosas (consoiciadas e puras), Drumond et al. (1997) avaliaram que apesar das diferenças existentes entre a quantidade de biomassa em cada espécie, observaram que a seqüência na quantificação da biomassa em cada compartimento da floresta foi: lenho > casca > galho > folhas.

As tabelas 1 e 2 mostram alguns resultados sintetizados por Waterloo (1994), em relação a biomassa encontrada em plantações de *Pinus caribaea* em países tropicais, assim como as concentrações de nutrientes encontrados nos mesmos trabalhos, onde pode-se observar grande variação nos resultados, função da variabilidade proveniente do local e idades das plantações.

Tabela 1. Quantificação de biomassa total, do tronco e das acículas em plantações de *Pinus caribaea* em países tropicais.

Local	Idade	Biomassa (ton ha ⁻¹)		
		Total	Tronco	Acículas
FIJI				
Tulasewa	6	62,2	43,3	9,4
Korokula	11	109,4	82,1	11,7
Koromani	15	144,8	115,6	10,6
BRASIL				
Jari Florestal	6	66,0	53,7	7,2
Jari Florestal	9,5	212,1	161,0	28,1
NIGÉRIA				
Kaduna	7	50,6	36,3	8,1
Kaduna	11	105,2	78,5	14,4
Kaduna	15	161,2	126,9	18,3
Ibadan	6	68,3	47,4	11,5
Ibadan	9	108,0	80,0	15,7
Ibadan	10	144,4	7,4	20,2
PORTO RICO				
Luquillo	18,5	166,0	131,0*	35

* Incluindo ramos

Fonte : Waterloo, 1994

Tabela 2. Teor de nutrientes em plantações de *Pinus caribaea* em países tropicais.

Local	Idade	Distribuição de Nutrientes (kg ha ⁻¹)				
		N	P	K	Ca	Mg
FIJI						
Tulasewa	6	149	18	87	81	37
Korokula	11	206	30	86	114	67
Koromani	15	235	23	133	165	53
BRASIL						
Jari Florestal	6	197	33	46	78	25
Jari Florestal	9,5	673	51	218	392	136
NIGERIA						
Ibadan	6	221	10	126	98	40
Ibadan	10	374	18	258	187	74
PORTO RICO						
Luquillo	18,5	1359	22	441	-	-

Fonte : Waterloo, 1994

3 MATERIAL E MÉTODOS

O período experimental teve duração de 4 anos, compreendendo os anos de 1996 à 1999, sendo coletados dados de deflúvio, precipitação e coleta de amostras de água para análise de qualidade, tanto na microbacia da Lage quanto na microbacia do Banhado.

O trabalho foi dividido em duas fases distintas: com os dados de vazão dos anos de 1996 e 1997 foi realizada a calibração das microbacias; uma vez calibradas é possível estabelecer uma comparação entre o comportamento de uma microbacia com outra. Após esse período de calibração, em outubro de 1997 a microbacia experimental da Lage foi submetida ao corte, sendo as atividades de exploração e preparo do solo encerradas em junho de 1998. A microbacia experimental do Banhado foi mantida inalterada durante todo o período experimental, sendo utilizada como testemunha.

Para a microbacia experimental da Lage, os anos de 1996 e 1997 foram considerado como período pré-corte e os anos de 1998 e 1999, como período pós corte.

3.1 Área de Estudo

As microbacias experimentais utilizadas no presente estudo estão localizadas na Fazenda São Nicolau, em área pertencente a Inpacel S/A, localizada na cidade de Arapoti, Estado do Paraná, a

aproximadamente 250 km de Curitiba, com altitude média de 800 m, 24°04' de latitude S e 49°47' de longitude W.

A empresa possui área total de 50.312 ha, sendo que 69% está ocupada por pinus (sendo a espécie mais utilizada o ***Pinus taeda***), 24% ocupada por eucalipto, 6% por araucária e 1% por essências nativas. A área de preservação e de reserva legal representa 29% da área, num total de 14.606 ha.

O tipo climático da região da fazenda São Nicolau é uma transição, segundo a classificação de Köppen, entre Cfa (clima mesotérmico, sem estação seca com verões quentes) e Cfb (clima mesotérmico úmido e subúmido, sem estação seca com verões frescos). A precipitação média na região gira em torno de 1.300 a 1.400 mm no ano, sendo dezembro e janeiro os meses mais chuvosos, com temperatura média anual em torno de 20°C.

A área que abrange as microbacias da Lage e do Banhado foi reflorestada com ***Pinus taeda***, sendo o plantio realizado em 1972, utilizando-se espaçamento 2,00 x 1,80 m, sendo em 1986 realizado desbaste sistemático e seletivo.

3.1.1 Caracterização das microbacias estudadas

a) Microbacia experimental da Lage: possui área de 66,5 ha , coberta com *Pinus taeda* , com 26 anos. Por forças das condições originais em que se encontravam antes do reflorestamento, esta microbacia apresenta muito pouco remanescente de mata ciliar, tendo o plantio de pinus sido realizada até em áreas da zona ripária. Tem como tipo de solo predominante o Latossolo Vermelho escuro, A moderado e proeminente e textura argilosa, sendo que próximo aos canais existem manchas de Cambissolo Vermelho amarelo. O relevo predominante é o ondulado.

b) Microbacia experimental do Banhado: possui área de 45,9 ha, tendo também como cobertura florestal o *Pinus taeda*, apresentando mata ciliar em toda a extensão da zona ripária. Na microbacia do Banhado ocorre a

predominância do Podzólico Vermelho escuro com manchas de Latossolo Vermelho escuro, sendo que próximo aos canais nota-se a presença do Cambissolo Vermelho amarelo. O relevo varia de ondulado a suave ondulado.

Algumas características fisiográficas das duas microbacias são resumidas na tabela 3.

Tabela 3. Características fisiográficas das microbacias experimentais da Lage e do Banhado.

CARACTERÍSTICA	M. E. da LAGE	M. E. do BANHADO
Área	66,5 ha	45,9 ha
Perímetro	3.959,08 m	3495,68 m
Densidade de drenagem	1,73 km/km ²	1,59 km/km ²
Forma da bacia	1,04	0,86
Índice de circularidade	0,53	0,47
Comprimento do eixo principal	800 m	730 m
Comprimento do canal principal	200 m	730 m
Comprimento total dos canais	1.150 m	730 m

Em levantamento realizado na área em 1996, verificou-se as seguintes características para a microbacia experimental da Lage e do Banhado: os solos das duas microbacias apresentam boa drenagem e fertilidade, tendo em média 78,1 g/dm³ de matéria orgânica na superfície e 46,6 g/dm³ na camada de 20 – 30 cm na microbacia experimental da Lage, enquanto que a microbacia do Banhado tais valores foram em média de 72,2 g/dm³ e 29,1 g/dm³, na mesma ordem.

De modo geral as microbacias apresentam bons teores de argila e drenagem, sendo que a densidade aparente do solo possui a tendência de aumento de acordo com a profundidade.



Figura 1 - Vista parcial da Microbacia Experimental da Lage após a colheita florestal.

3.2 Medição do deflúvio e da precipitação

Para o presente trabalho, foram avaliados dados de precipitação, vazão e qualidade de água durante um período de 3 anos, compreendendo o período de outubro/1996 a setembro/1999, sendo o corte realizado a partir do final de outubro/1997.

Ambas as microbacias foram instrumentadas com uma estação limimétrica, conforme a figura 2, sendo ambas formadas por:

- tanque principal de sedimentação e tranquilização de fluxo;
- vertedor misto (sendo um triangular de 90° de metal e um retangular);
- um linígrafo, regulado para ciclo semanal de coleta de dados;
- 3 coletores de amostra do escoamento direto, sendo a coleta realizada 1 vez por semana.

No ponto escolhido para instalação do vertedor foi construída um tanque de concreto (tanque principal de sedimentação e tranquilização de fluxo) que tem a função de estabilizar o fluxo da água antes que este passe pela seção do vertedor, de modo a anular os efeitos da turbulência. Nesse tanque de estabilização foi colocada uma régua graduada para medir o nível (cota) da lâmina da água, possibilitando o cálculo da vazão. Esse cálculo é feito através da equação própria dos vertedores triangulares; em casos extremos, quando o nível da água ultrapassa a altura máxima do vertedor triangular utilizava-se então a equação para vertedores retangulares, sendo as equações apresentadas a seguir:

$$\text{Vertedor triangular: } Q = 1340xH^{2,485}$$

$$\text{Vertedor retangular: } Q = ((18,4)x((1,43) - ((0,2)x(h - 0,45)x(h - 0,45)^{1,45}))$$

Onde: Q = vazão em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

H = altura da lâmina da água em m

L = comprimento do vertedor retangular em m

O vertedor triangular de 90° tem capacidade de medir vazões com precisão de 0,2 a 395 l.s^{-1} , e o vertedor retangular mede vazões superiores. A figura 3 mostra o vertedor misto utilizado neste estudo.



Sendo: 1. Vertedor misto
2. Régua graduada
3. Abrigo protetor do linígrafo.

Figura 2 - Estação linimétrica (Microbacia Experimental do Banhado).



Figura 3 - Vista do vertedor misto instalado na Microbacia Experimental da Lage.

Nos linigramas, trocados semanalmente, são anotados a data, hora e altura da lâmina da água no momento em que o papel é colocado e no momento em que ele é retirado. As hidrógrafas (curva resultante da cota ou altura da lâmina da água com o tempo) são digitalizadas utilizando o programa Tosca, de modo a produzir uma tabela com os dados de cota e tempo referente a cada um dos linigramas. Com esses dados, em uma planilha do Excel, aplica-se as equações de vazão, produzindo uma planilha onde se obtêm os dados diários de vazão.

Em regiões de clima úmido o balanço hídrico da microbacia pode ser determinado através da seguinte equação: $P - ET - Q \pm DS = 0$

Onde: P = precipitação (mm)

ET = evapotranspiração (mm)

Q = vazão (mm)

ΔS = variação do armazenamento da água no solo

Devido às dificuldades na medição da variação do armazenamento da água no solo, em microbacias o procedimento utilizado é o de estabelecer o ano hídrico, sendo que neste período a variação de armazenamento da água no solo tende a ser desprezível.

A definição do ano hídrico é realizado através da análise de regressão linear simples entre os dados de precipitação e vazão ao longo de um ano.

Em estudos em microbacias considera-se o $\Delta S = \text{zero}$, partindo do princípio que as variações que ocorrem no teor de umidade do solo no início e no fim ano hídrico não variam significativamente ano a ano.

Com estas suposições, a equação do balanço hídrico para um ano hídrico em microbacias hidrográficas pode ser reduzido a: **$ET = P - Q$** .

Onde: ET = evapotranspiração (mm)

P = precipitação (mm)

Q = vazão (mm)

3.3 Qualidade da água

Foram realizadas coletas semanais de amostras de água do deflúvio, por meio de coletores colocados dentro do tanque de sedimentação, na microbacia da Lage e do Banhado. A coleta das amostras da água da chuva também foi realizada semanalmente, através de um coletor apropriado localizado junto ao pluviógrafo.

Foram feitas análises para determinar as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Na. Foram avaliadas também a alcalinidade, sedimentos em suspensão, pH, cor, turbidez e condutividade elétrica.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ciências Florestais, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” , segundo métodos padronizados pela AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1975).

Os parâmetros químicos foram determinados através do método da espectrofotometria, em espectrofotômetro de absorção atômica PERKIN ELMER, modelo 272.

Os sedimentos em suspensão foram mensurados pelo método de filtragem das amostras, em filtro de malha de 0,45 μm e o conteúdo de sedimentos quantificados com base em volume. Para determinação de turbidez e cor foi utilizado o espectrofotômetro de filtro modelo DR 2000 da HACH, para a condutividade elétrica foi utilizado o condutivímetro modelo 2511 da HACH, e o pH medido com o potenciômetro modelo 3211 da MICRONAL.

3.4 Ciclagem (bio)geoquímica

A ciclagem geoquímica foi calculada pela diferença entre a entrada de nutrientes via precipitação e a saída via deflúvio. A densidade de fluxo de nutrientes na precipitação e no deflúvio foi obtida através da multiplicação entre a concentração média mensal de nutrientes na água da chuva pelo volume mensal da precipitação. Para o cálculo da densidade de fluxo de nutrientes no deflúvio foi utilizado o mesmo procedimento anterior.

A partir da somatória dos valores de densidade de fluxo de nutrientes encontrados mensalmente, obteve-se o teor de nutrientes por hectare para o período de 1 ano. Para o período pós – tratamento, foi utilizado o mesmo procedimento, sendo considerado o observado na microbacia da Lage durante o ano subsequente ao corte.

O primeiro passo para a determinação da ciclagem biogeoquímica foi a determinação da biomassa total que seria exportada após o corte.

Essa determinação foi realizada através da retirada de amostras de 6 parcelas de 25 x 20 m na microbacia experimental da Lage, no intuito de verificar a biomassa lenhosa acima do solo. Para tanto foram retiradas amostras do fuste, acículas e dos ramos, sendo que as folhas e os ramos permanecem na área após a colheita, sendo enleirados e queimados após algum tempo.

A metodologia utilizada para esse levantamento foi o mesmo utilizado por Drumond (1996), onde todas as árvores de cada parcela foram inventariadas sendo escolhidas 3 árvores para serem abatidas e cubadas em cada uma das parcelas. Cada uma das árvores pertenciam a uma classe de diâmetro, onde cada classe compreendeu os seguintes intervalos de DAP:

Classe 1: 15,0 - 23,0 cm

Classe 2: 23,1 - 31,0 cm

Classe 3: 31,1 - 40,0 cm

Foram retiradas amostras do fuste (lenho + casca), de acículas e da galhada. As acículas e os galhos foram pesados para aferir o peso verde total em cada árvore. O fuste foi segmentado em 6 partes (Base, 25%, 50%, 75%, 100% e DAP), sendo medidos o diâmetro com casca e sem casca de cada um dos discos.

Após o trabalho de campo, as amostras foram levadas para o Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, sendo submetidas a secagem em estufa de circulação forçada à temperatura de 60 a 70° até atingirem peso constante. Depois de atingirem peso constante as amostras de folhas, galhos e fuste (disco à 50% da altura) foram moídas em moinho tipo Willey, com malha de 10 mesh, depois de moídas foram encaminhadas para análise química.

Na análise química, foram determinadas as concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, cobre, manganês, zinco e sódio.

A densidade básica do fuste e casca foi determinado pelo método de imersão. Para facilitar o manuseio dos discos e diminuir o tempo de saturação, os discos foram cortados em 4 cunhas. As cunhas identificadas foram mantidas imersas até atingirem a saturação, sendo em seguida pesadas. Nesse momento, foi tirado o peso imerso total (lenho+casca) e peso imerso do lenho, em seguida foi medido o peso úmido total e do lenho. Em seguida as amostras foram levadas a estufa de circulação forçada. Quando atingiram peso constante foram medidos o peso seco do lenho e peso seco da casca.

Foram utilizadas as seguintes fórmulas para a densidade básica e porcentagem de casca:

$$Db_{Total} = \frac{PSM + PSC}{PUT - PIT} \qquad \%Casca_{(vol)} = \left(1 - \frac{PUM - PIM}{PUT - PIT}\right) \times 100$$

$$Db_{Madeira} = \frac{PSM}{PUM - PIM} \qquad \%Casca_{(peso)} = \frac{PSC}{PSM + PSC} \times 100$$

$$Db_{Casca} = \frac{1}{\frac{PUC}{PSC} - 0,346}$$

Onde: PSM = peso seco da madeira
 PSC = peso seco da casca
 PUT = peso úmido total
 PIT = peso imerso total
 PUM = peso úmido da madeira
 PIM = peso imerso da madeira
 PUC = peso úmido da casca

Após o cálculo da densidade básica, foi calculado o volume de fuste com e sem casca, calculando-se em seguida o volume da casca. Com a obtenção do volume foi possível estimar a biomassa. Em relação às folhas e galhos, foi determinado o teor de umidade presente nos mesmos, a partir do que foi possível determinar a biomassa desses compartimentos. A mineralomassa foi estimada multiplicando-se o teor de nutrientes do fuste, casca, acículas e galhada pelas suas respectivas biomassas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ciclagem de nutrientes

Pelo manejo adotado pela empresa, são consideradas partes exportadas efetivamente somente o lenho e a casca, uma vez que as acículas e a galhada permanecem no campo, sendo em seguida enleiradas e queimadas, portanto, a saída de nutrientes por esses compartimentos foram considerados como perdas indiretas, uma vez que com a queima, parte dos nutrientes são volatilizados, parte perdidos e uma menor parcela permanecem no solo. Essas perdas não foram mensuradas no presente trabalho.

A análise de biomassa resultou na seguinte ordem, de acordo com a quantidade acumulada em cada um de seus componentes: Lenho > galhos > acículas > casca, com as seguintes valores percentuais: 74,5%, 16,3%, 6,0% e 3,10% respectivamente. Em termos totais, a colheita florestal foi responsável pela retirada de 277,57 ton.ha⁻¹ de biomassa da microbacia, representando a parte utilizada pela empresa (lenho + casca), e 80 ton.ha⁻¹, compreendendo acículas e galhada, permaneceram na área. A retirada do lenho e da casca da microbacia foi responsável pela saída de 487 kg.ha⁻¹ de nitrogênio da área, conforme pode ser observado na tabela 4.

Em termos de biomassa total, em florestas de Pinus com aproximadamente 15 anos em Fiji, foram encontrados valores inferiores ao estimado neste estudo, girando em torno de 150 ton.ha⁻¹; na Jari Florestal, em plantações de 10 anos, a estimativa foi de 200 ton.ha⁻¹ (Waterloo, 1994); Pilgrim et al (1982), encontraram em florestas de pinus com 30 anos valores de 160

ton.ha⁻¹. Para as condições locais, levando-se em consideração o clima, a temperatura e o tipo do solo verifica-se que a saída ocorrida apresenta-se dentro do esperado.

Para quantificar o balanço entre saídas e entradas de nutrientes na microbacia, foi medida a entrada via precipitação para o período de 1 ano (tabela 5), sendo em seguida, extrapoladas para o período de 26 anos, que representa o ciclo até a retirada da madeira. O mesmo princípio foi aplicado para a estimativa das perdas de nutrientes pelo deflúvio.

Esse procedimento foi utilizado para permitir a realização do balanço, uma vez que o período de coleta de dados de vazão e precipitação não abrangem todo o ciclo de rotação da floresta.

Supondo que a entrada de nutrientes pela precipitação ocorra de maneira linear e constante, seria possível fazer uma extrapolação dos dados medidos durante o período de 1 ano pela simples multiplicação dos mesmos pelo período de rotação da floresta, neste caso, a quantidade de nitrogênio presente na precipitação seria de 100,9 kg.ha⁻¹ e no deflúvio 3,4 kg.ha⁻¹. Seguindo esse mesmo princípio o fósforo, potássio, cálcio e magnésio apresentariam valores de 6,7 e 0,9 kg.ha⁻¹, 224,3 e 33,4 kg.ha⁻¹, 498,6 e 98,0 kg.ha⁻¹, 46,4 e 62,3 kg.ha⁻¹ respectivamente para a precipitação e para o deflúvio.

Levando-se em conta o que é efetivamente exportado da microbacia (ou seja, lenho + casca), a ciclagem biogeoquímica para período de 26 anos, apresenta balanço negativos para o nitrogênio, fósforo e magnésio, representando saídas de 489,5 kg.ha⁻¹, 0,04 kg.ha⁻¹ e 273,0 kg.ha⁻¹, respectivamente, e balanço positivo para cálcio (73,8 kg.ha⁻¹) e potássio (86,0 kg.ha⁻¹), representando o que permanece no ecossistema, pela alta taxa de entrada via precipitação quando leva-se em conta o acumulado durante 26 anos.

Quando considera-se também como saída ou perda de nutriente pela biomassa as acículas e a galhada o balanço é negativo para todos os nutrientes

estudados, representando perdas de $907,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, $17,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P, $154,8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K, $8,1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca e $357,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Mg.

O balanço é negativo para todos os nutrientes estudado quando considera-se todos os compartimentos retirados da área (ou seja, lenho, casca, acículas e galhada), de modo que a entrada de nutrientes no período de estudo não foram suficientes para evitar perdas de nutrientes pela exportação da biomassa sendo que a maior perda foi do nitrogênio, sendo esta perda dobrada quando considera-se também a saída de nutrientes pelas acículas e galhada, que representam saída de $517,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ desse elemento do ecossistema.

Tabela 4. Distribuição de biomassa e de nutrientes para a plantação de Pinus com 25 anos da microbacia da Lage.

Componente	Biomassa (kg ha ⁻¹)	Nutrientes (kg ha ⁻¹)										
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	Na
Lenho	266.468,66	451,52	5,03	111,03	302,00	275,35	190,97	18,21	4,29	22,06	4,29	32,01
Casca	11.102,86	35,59	0,76	6,11	12,58	11,84	11,47	1,22	0,06	0,75	0,25	1,66
Lenho+Casca	277.571,52	487,11	5,80	117,14	314,58	287,19	202,44	19,42	4,35	22,80	4,54	33,67
Acículas	21.596,25	349,38	15,92	138,22	24,48	24,00	32,87	2,66	0,32	6,60	0,50	2,81
Galhos	58.500,00	168,35	1,66	9,35	69,55	60,45	33,80	6,47	0,75	7,93	1,17	7,62
Acíc. + galhos	80.096,25	517,73	17,58	228,57	94,03	84,45	66,67	9,13	1,07	14,53	1,67	10,44
Total	357.667,77	1004,84	23,38	345,70	408,61	371,64	269,12	28,55	5,42	37,33	6,21	44,10

Tabela 5. Balanço biogeoquímico de nutrientes na microbacia da Lage: média de 1 ano para dados de precipitação e deflúvio.

		N	P	K	Ca	Mg
		Kg ha ⁻¹				
ENTRADA	PRECIPITAÇÃO	3,9	0,3	8,6	19,2	1,8
SAÍDA	DEFLÚVIO	0,5	0,1	3,0	3,3	2,1
SAÍDA (BIOMASSA)	LENHO + CASCA	487,1	5,8	117,1	314,6	287,2
	BALANÇO	-483,7	-5,6	-111,5	-298,7	-287,5
SAÍDA (BIOMASSA)	ACÍCULAS + GALHOS	517,7	17,6	228,6	94,0	84,5
	BALANÇO	-1001,4	-23,2	-340,1	-392,7	-372,0

4.2 Balanço geoquímico

A ciclagem geoquímica nas microbacias do Banhado (testemunha) e da Lage antes das atividades de retirada da madeira, que representa o período pré-corte, apresenta balanço semelhante, conforme figuras 4 e 5, sendo o balanço positivo para todos os nutrientes avaliados

Após o corte raso da microbacia da Lage o balanço foi negativo para o magnésio e positivo para os outros elementos (figura 6). Waterloo (1994), em plantações de *Pinus patula*, encontrou balanço positivo para N, P e K e balanço negativo para Ca e Mg após eventos de ciclone.

Quando comparamos o balanço geoquímico e a concentração de nutrientes antes e depois do corte, observa-se que a taxa de saída de nitrogênio via deflúvio foi 10 vezes maior que antes do corte, sendo resultado da ruptura do ciclo do nitrogênio causado pela retirada da floresta.

Os efeitos que as atividades de colheita da floresta promovem ao solo, como a alteração da infiltração e aumento do escoamento superficial, podem explicar parte do aumento na concentração de alguns elementos como o fósforo e o magnésio, facilmente lixiviados do solo, na água do riacho.

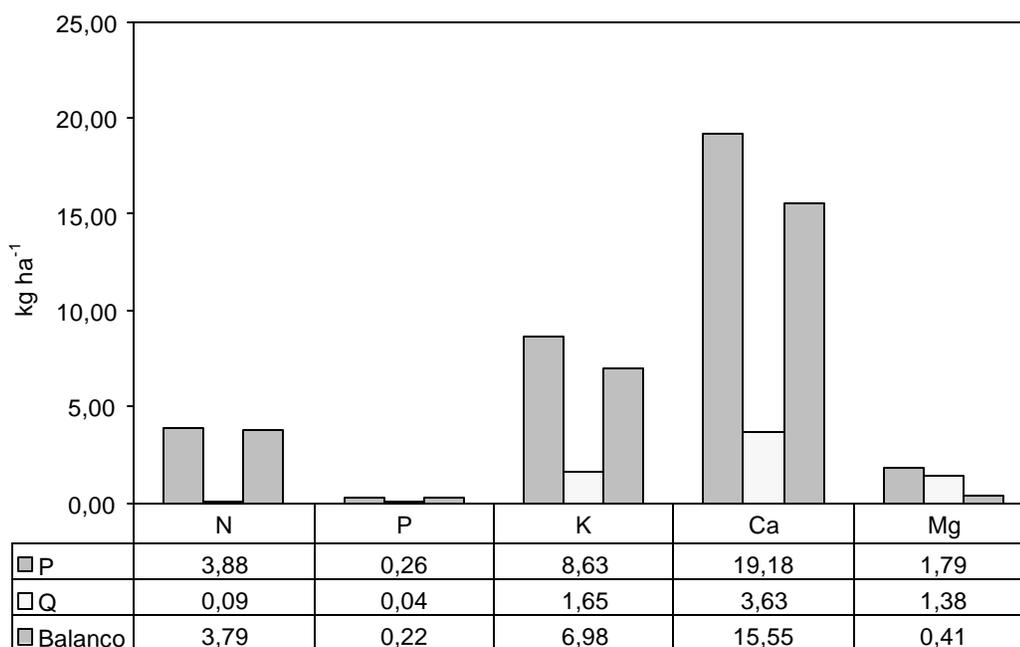


Figura 4 - Precipitação (P), deflúvio (Q) e balanço geoquímico de nutrientes na microbacia do Banhado, estimativas para 1 ano.

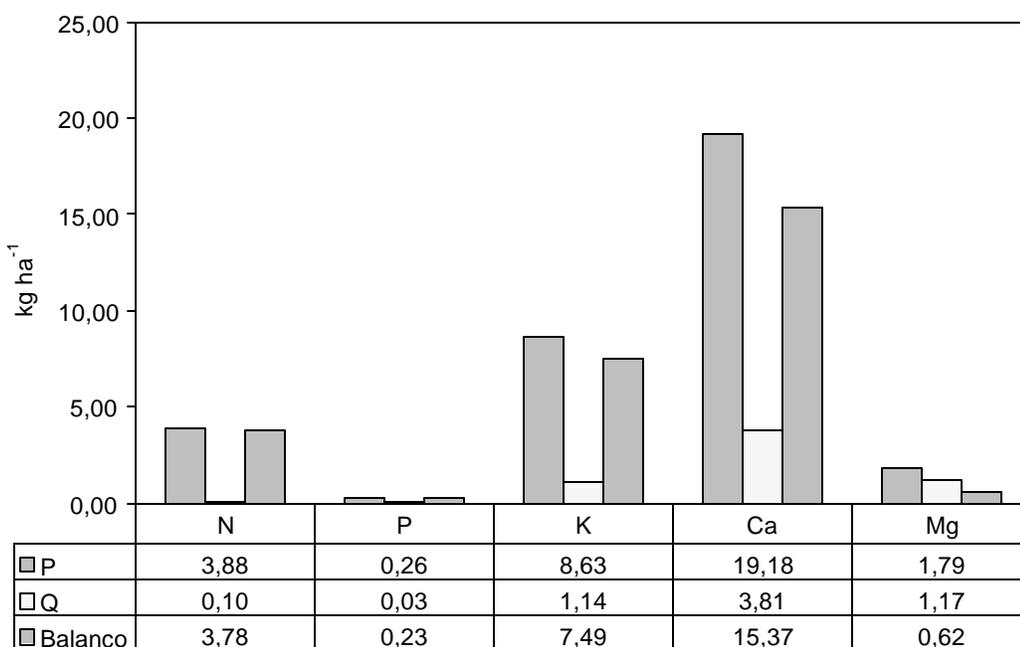


Figura 5 - Precipitação (P), deflúvio (Q) e balanço geoquímico de nutrientes, na microbacia da Lage (antes do corte), estimativas para 1 ano.

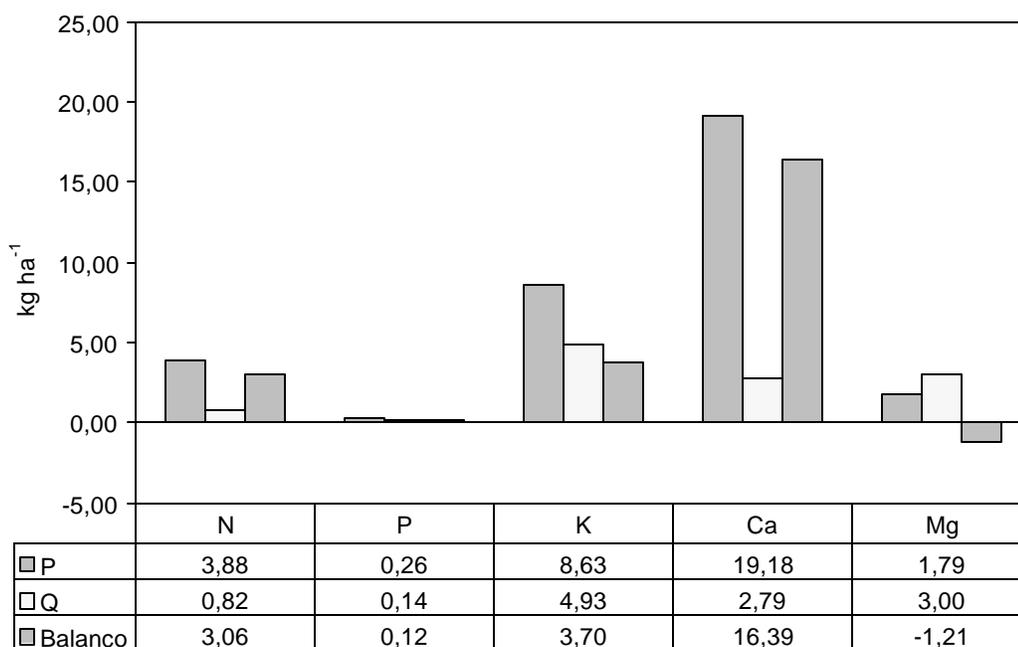


Figura 6 - Precipitação (P), deflúvio (Q) e balanço geoquímico de nutrientes na microbacia da Lage após o corte, compreendendo os anos de 1998 e 1999.

4.3 Balanço hídrico

A presença ou ausência da vegetação, assim como o tipo da cobertura vegetal influenciam diretamente a produção de água da microbacia. Através do balanço hídrico, pode-se inferir sobre o consumo de água de uma determinada cobertura vegetal.

Quando se leva em conta o ano hídrico, o armazenamento de água no solo tende a zero, simplificando a equação, de modo que a diferença entre a precipitação e o deflúvio é uma estimativa razoável da evapotranspiração.

As tabelas 6 e 7 mostram o balanço hídrico para as microbacias da Lage e do Banhado. O balanço foi realizado para o ano de 1997, representando o período pré – corte, e para os dois anos subsequentes (1998 e 1999).

Tabela 6. Balanço hídrico para a microbacia da Lage para o período experimental.

Período	Precipitação (mm)	Vazão (mm)	ET (mm)
1 ano antes do corte	1532,9	144,3 (9%)	1388,6 (91%)
1 ano após o corte	1308,4	296,3 (23%)	1012,1 (77%)
2 anos após o corte	846,7	189,2 (22%)	657,5 (78%)

Tabela 7. Balanço hídrico para a microbacia do Banhado para o período experimental.

Período	Precipitação (mm)	Vazão (mm)	ET (mm)
1997	1532,9	170,2 (11%)	1362,7 (89%)
1998	1308,4	162,5 (12%)	1145,9 (88%)
1999	846,7	40,7 (5%)	806,0 (95%)

De acordo com trabalho realizado por Water et al (1999), a transpiração em microbacias reflorestadas com *Pinus radiata* representa de 70 – 72% da ET anual.

No primeiro ano de estudo a microbacia do Banhado apresentou vazão maior do que a da Lage, apesar de possuir menor área, explicada pelas diferenças na topografia, uma vez que a microbacia do Banhado apresenta maior declividade comparativamente com a da Lage e também possui maior área coberta por mata ciliar.

Os dados estimados demonstram tanto a influência do corte da floresta quanto da precipitação. Na microbacia do Banhado a redução da precipitação foi acompanhada pela redução da vazão e da evapotranspiração nas mesmas proporções, tanto em 1997 (15%), quanto em 1998 (40%). Já para a microbacia da Lage, no primeiro ano após o corte houve um aumento na vazão, devido a diminuição da precipitação verificada, resultado este semelhante ao encontrado por Lesch & Scott (1997).

Esses resultados são também condizentes com os encontrados por Bosh & Hewlett (1982), que verificaram que existe uma relação direta não somente entre o corte ou desbaste da floresta com também com a precipitação.

As figuras 7 e 8 apresentam as médias mensais, antes e depois do corte, da precipitação acumulada, a vazão e a evapotranspiração, podendo –se observar o efeito do corte raso (realizado em fins de 1997) sobre o aumento da vazão da microbacia da Lage

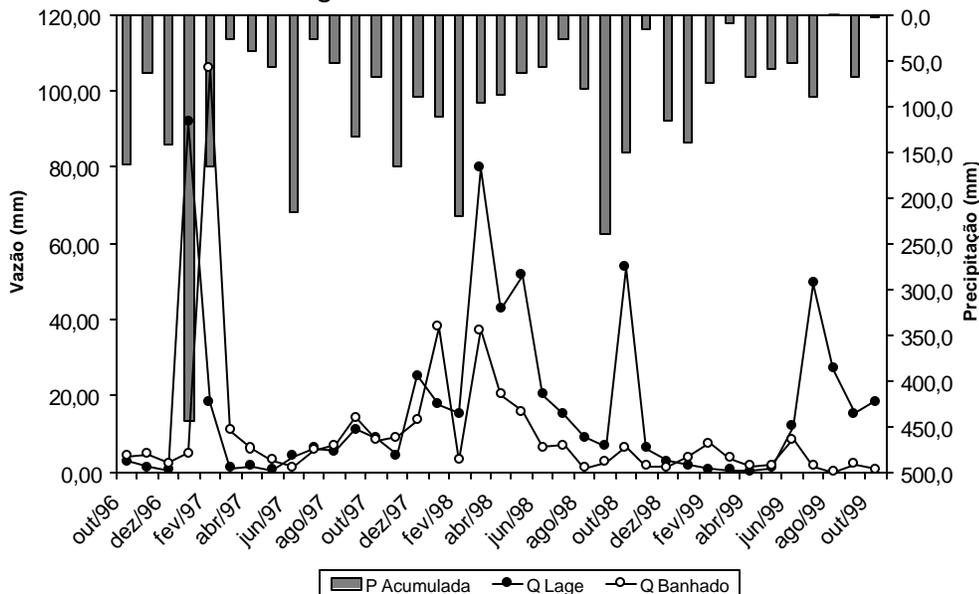


Figura 7 - Médias mensais para Precipitação e Vazão para as microbacias da Lage e do Banhado, durante o período de estudo.

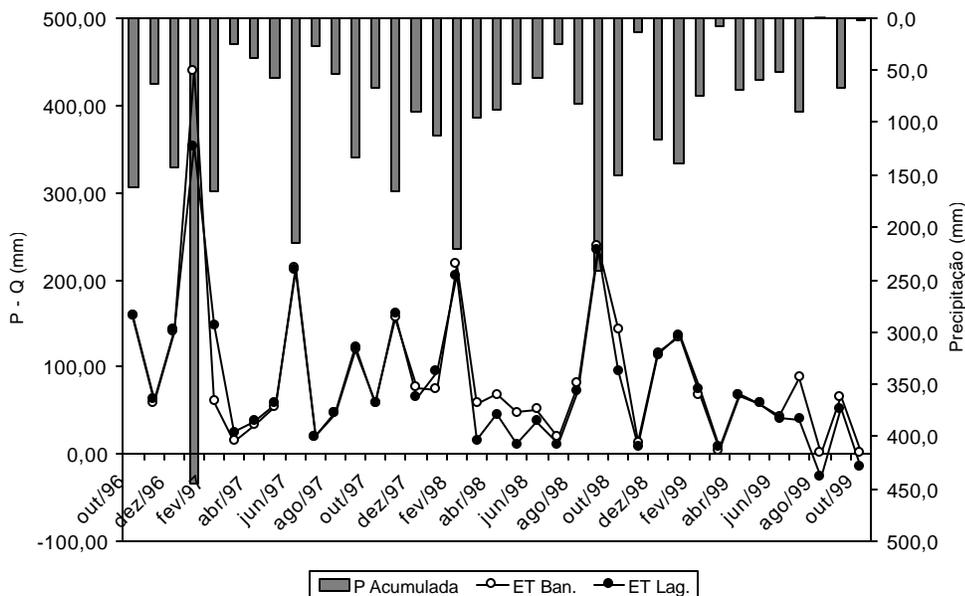


Figura 8 - Médias mensais para Precipitação e ET (P-Q) para as microbacias da Lage e do Banhado, durante o período de estudo.

4.4 Qualidade da água

O estudo da qualidade da água é de grande importância quando se visa diagnosticar a saúde da microbacia, pois ela integra a geomorfologia, a hidrologia e os processos biológicos, ou seja, a alteração de qualquer um desses processos afetará um ou mais parâmetros.

Assim como a presença da vegetação e sua tipologia interferem diretamente sobre a produção de água, a geologia e o solo são fatores que mais influenciam nas características qualitativas finais da água (Talsma & Hallan, 1982). Dessa maneira, a qualidade da água é altamente sensível às atividades de manejo realizadas na microbacia.

A variação da qualidade da água pode ser definida como variação de suas características físicas, químicas e biológicas. Os resultados das análises das amostras de água do deflúvio das microbacias Lage e Banhado, antes, durante e depois do corte raso na primeira microbacia, para parâmetros químicos e físicos da qualidade da água, são apresentados nas figuras 9 a 21.

Observa-se que a maioria dos elementos respondem imediatamente ao corte, devido ao aumento na lixiviação desses elementos do solo, voltando aos seus níveis normais logo após o término das atividades de colheita e preparo do solo.

O aumento da concentração de sedimentos na água do deflúvio levou o aumento da turbidez e cor, apresentando o mesmo comportamento. O carregamento da camada superficial do solo formada pela serrapilheira e restos do material cortado deixado na microbacia propiciam o aumento das taxas de turbidez e cor, uma vez que elas estão relacionadas com detritos orgânicos e inorgânicos presentes na água.

Foi observado que o magnésio apresentou altas concentrações durante todo o período de estudo, tanto na microbacia da Lage como do Banhado, respondendo diretamente aos efeitos da chuva.

Câmara (1999) encontrou tendência à redução das concentrações médias anuais de K, Ca e Mg e aumento de Fe. Vital (1996) verificou aumento de Ca, Mg e Fe e diminuição de K e Na após o corte de uma microbacia coberta com *Eucaliptus saligna*, resultado da maior lixiviação desses elementos do solo e diminuição da deposição seca com a falta da copa da floresta.

Vários autores salientam o comportamento do Ca, Mg e K quanto a sua saída após operações de corte ou desbaste, tanto no deflúvio quanto na biomassa,. Esses elementos são os que apresentam maiores perdas nas exploração florestal.

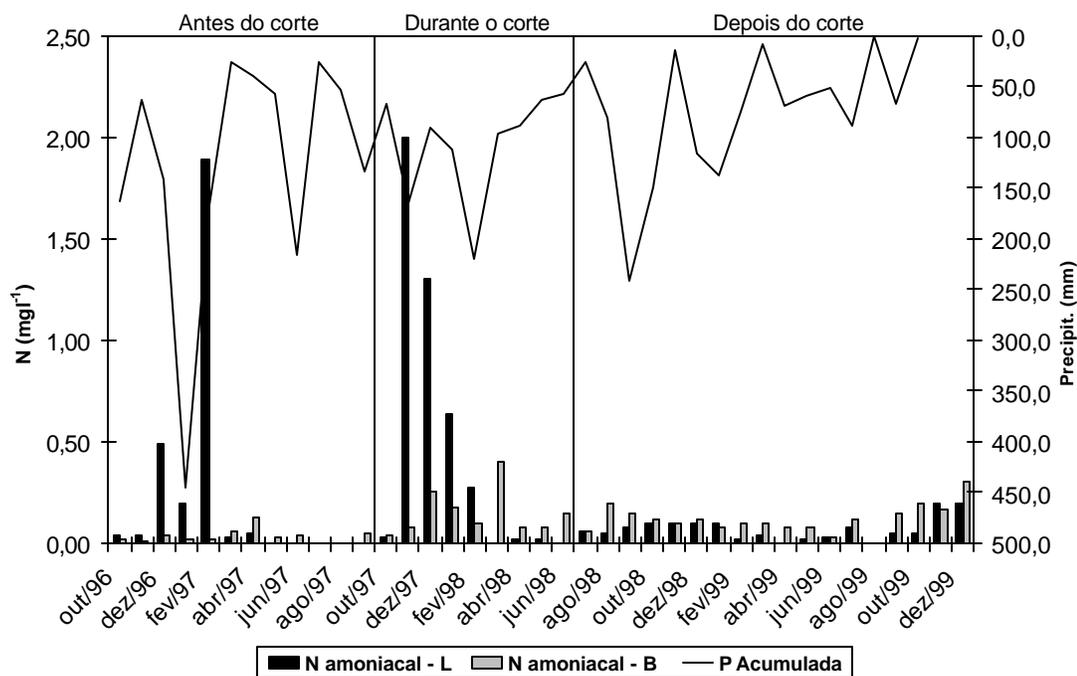


Figura 9 - Concentrações médias mensais de N, em mg l⁻¹, para as microbacias da Lage (L) e do Banhado (B)

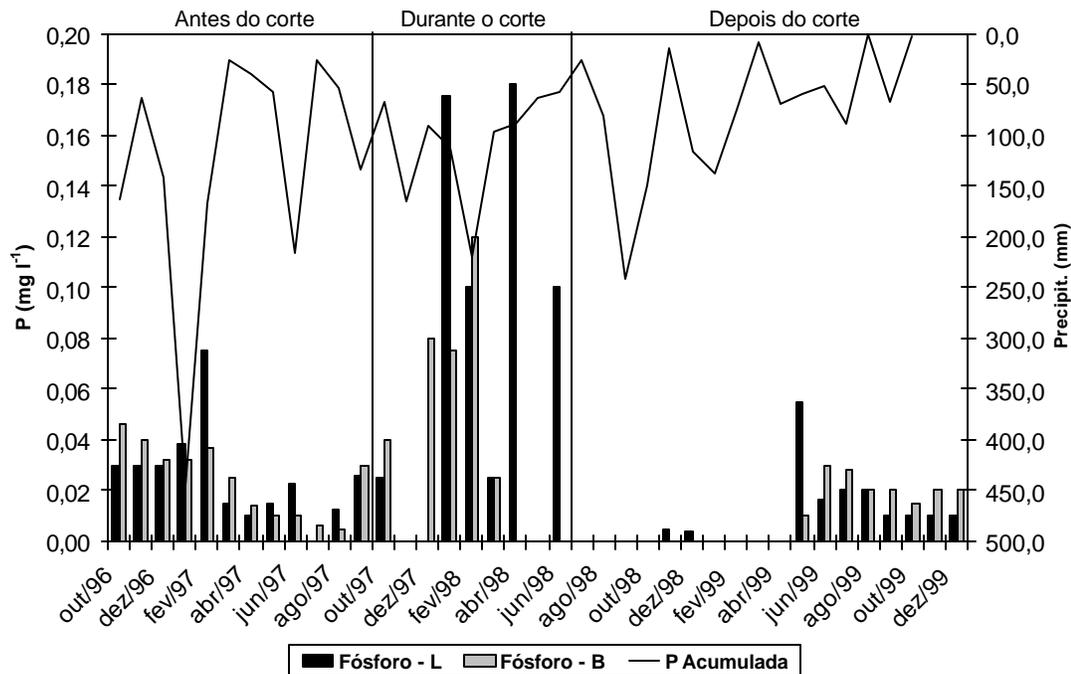


Figura 10 - Concentrações médias mensais de P, em mg l⁻¹, para as microbacias da Lage e do Banhado

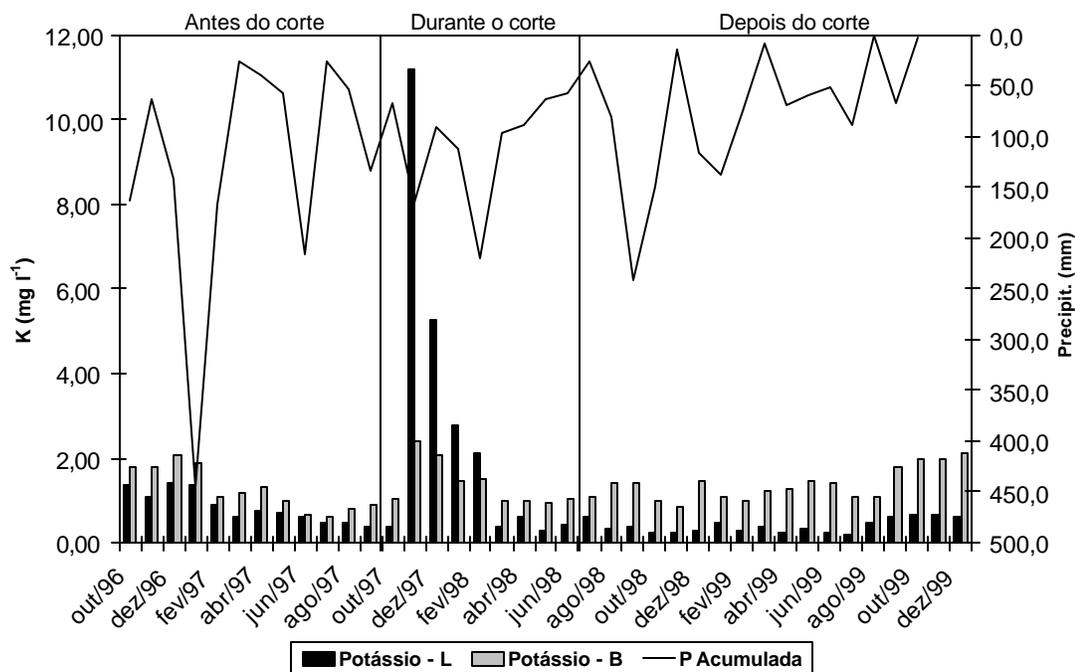


Figura 11 - Concentrações médias mensais de K, em mg l⁻¹, para as microbacias da Lage e do Banhado.

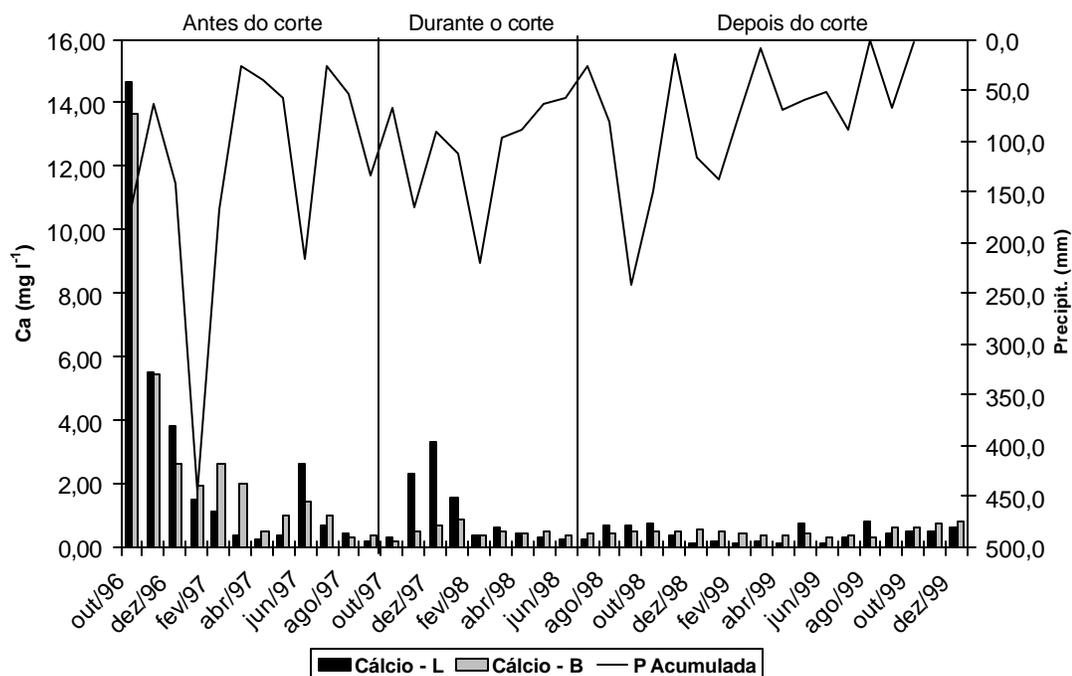


Figura 12 - Concentrações médias mensais de Ca, em mg l⁻¹, para as microbacias da Lage e do Banhado.

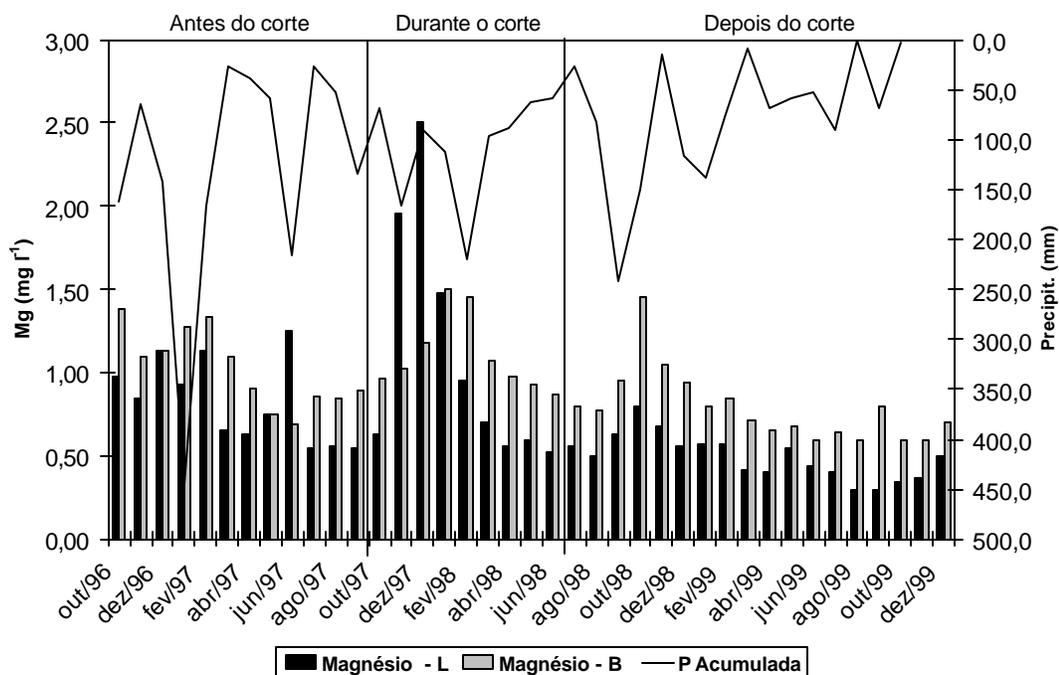


Figura 13 - Concentrações médias mensais de Mg, em mg.l⁻¹, para as microbacias da Lage e do Banhado.

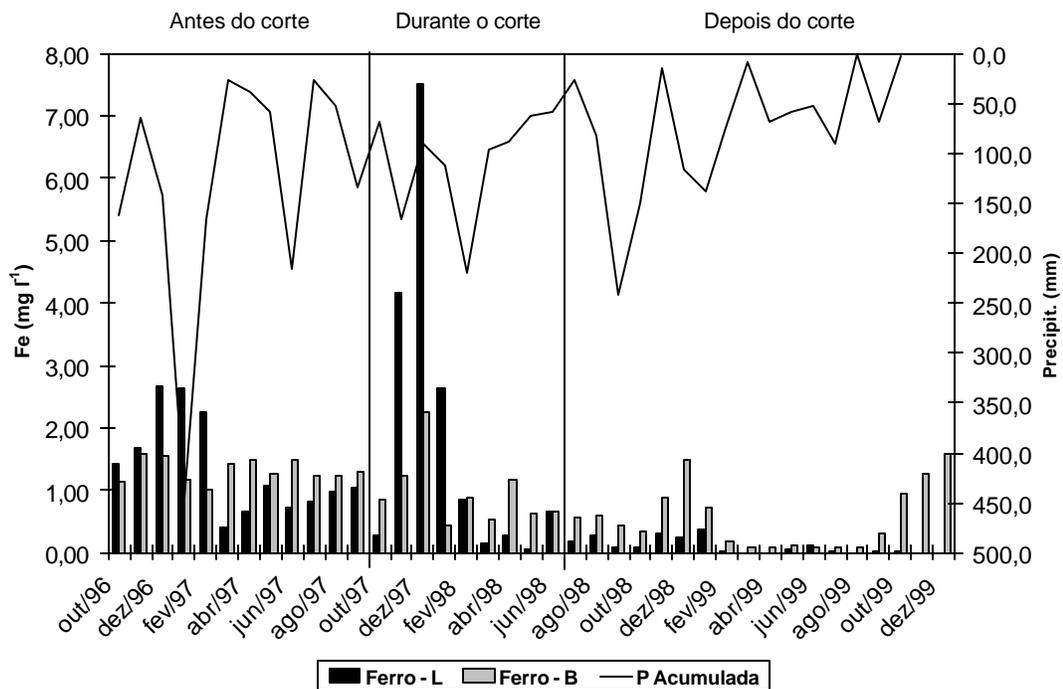


Figura 14 - Concentrações médias mensais de Fe, em mg.l⁻¹, para as microbacias da Lage e do Banhado.

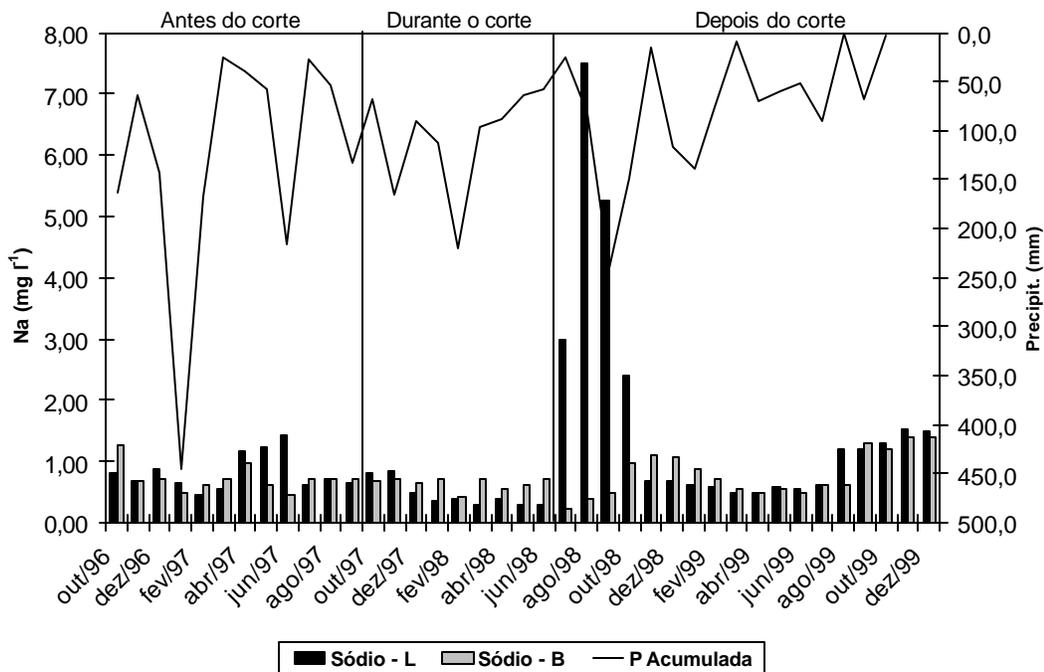


Figura 15 - Concentrações médias mensais de Na, em mg.l⁻¹, para as microbacias da Lage e do Banhado.

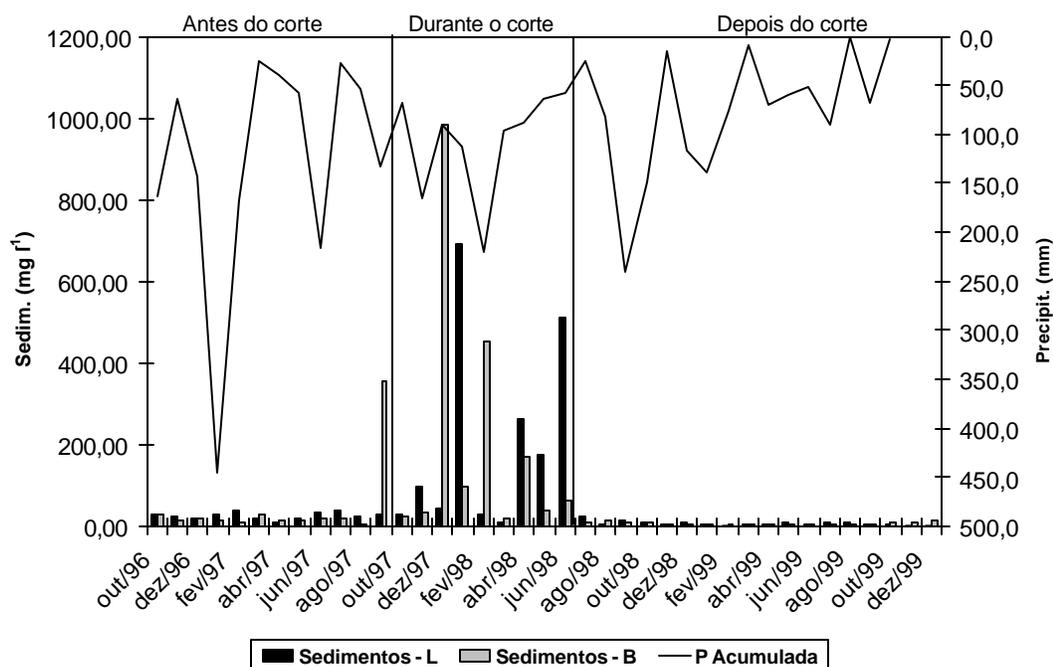


Figura 16 - Concentrações médias mensais de sedimentos, em mg.l^{-1} , para as microbacias da Lage e do Banhado.

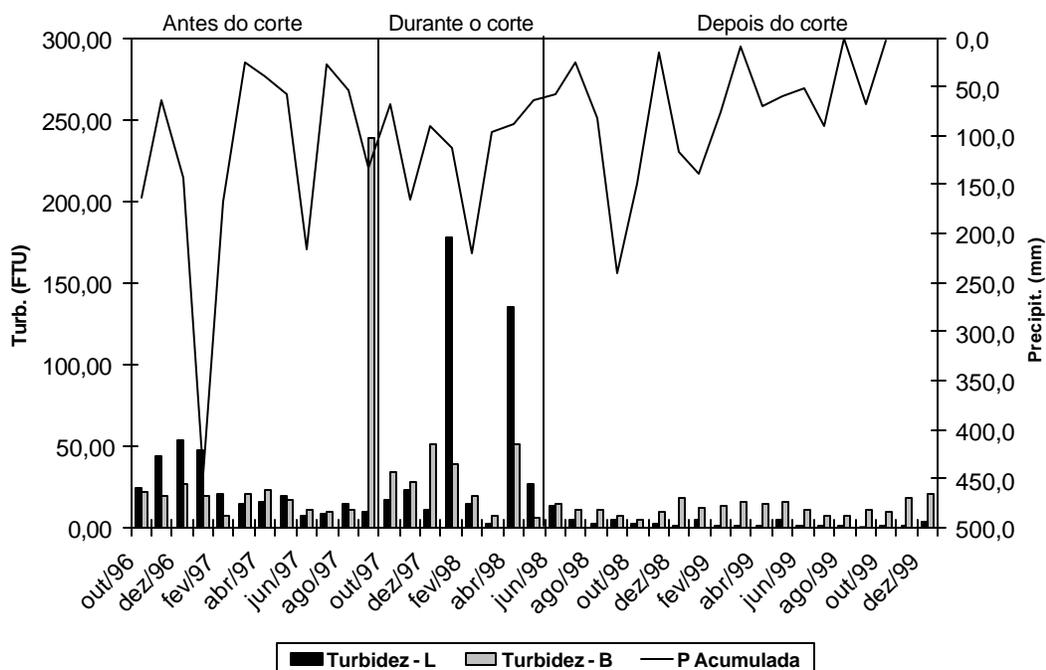


Figura 17 - Valores médios mensais da turbidez, em (FTU), para as microbacias da Lage e do Banhado.

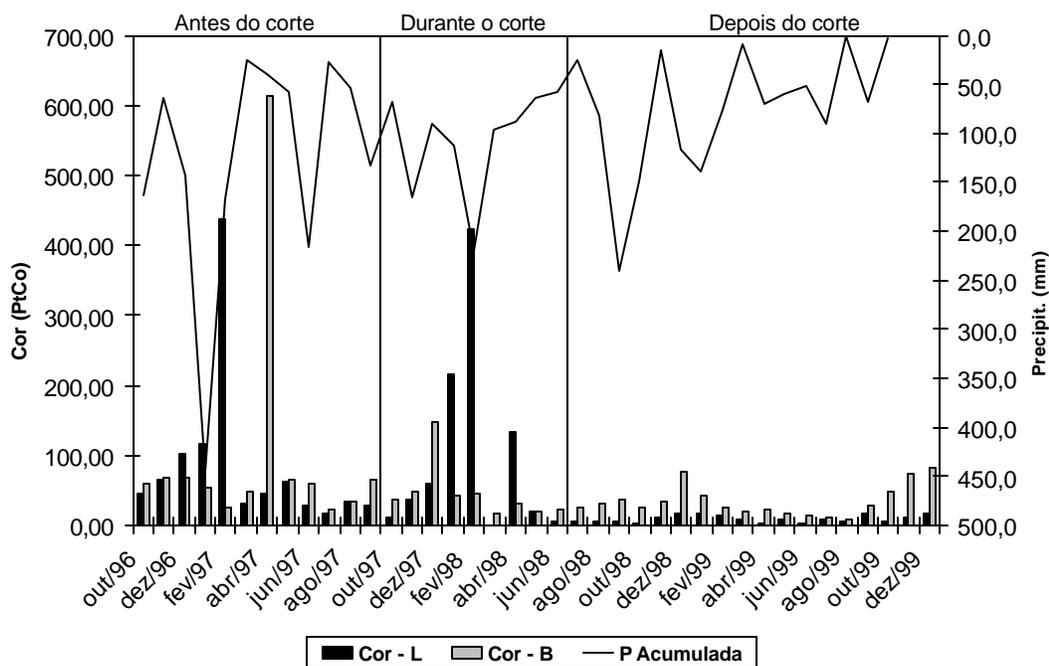


Figura 18 - Valores médios mensais da Cor (PtCo) para as microbacias da Lage e do Banhado.

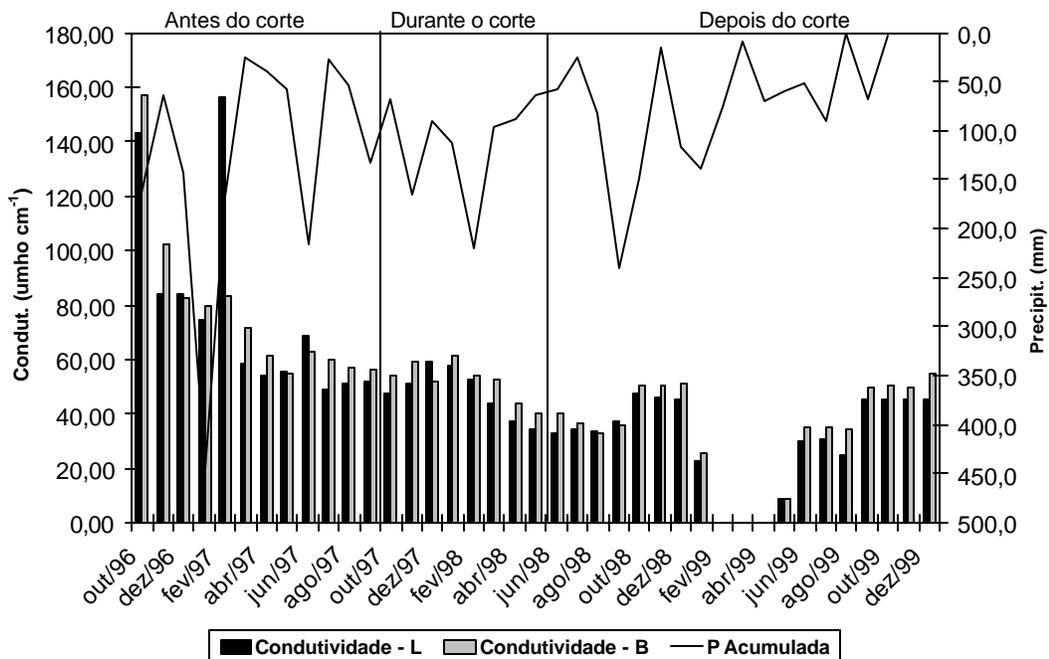


Figura 19 - Valores médios mensais da condutividade (umho cm⁻¹) para as microbacias da Lage e do Banhado.

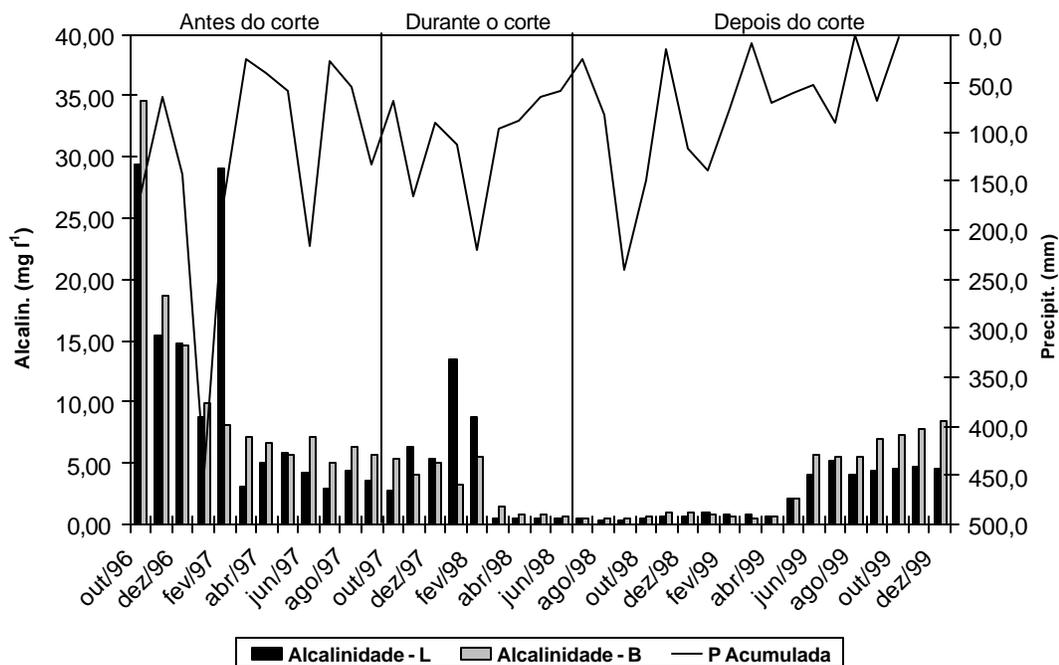


Figura 20 - Concentrações médias mensais da alcalinidade, em mg.l⁻¹, para as microbacias da Lage e do Banhado.

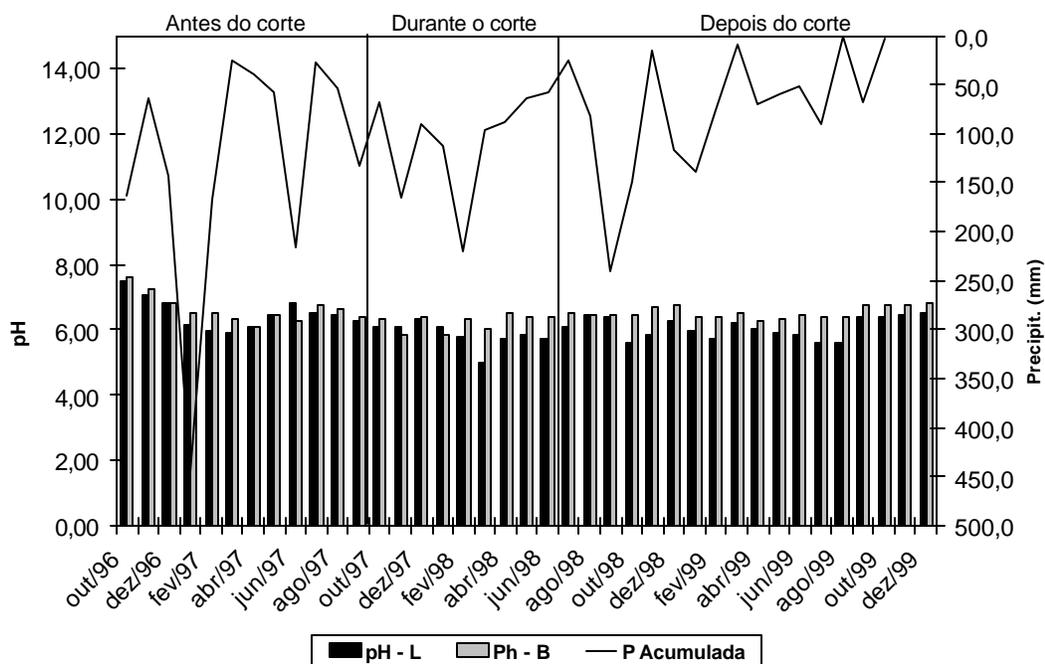


Figura 21 - Valores médios mensais do pH para as microbacias da Lage e do Banhado.

Embora as figuras 9 a 21 já mostrem evidências claras do efeito do corte raso sobre as alterações dos parâmetros de qualidade da água analisados, principalmente o aumento das concentrações de nutrientes e de perda de sedimentos durante o período de atividades da colheita florestal, para melhor avaliar o impacto do corte da floresta estabeleceu-se o Intervalo de Confiança para dados levantados na microbacia da Lage no período antes do corte, referente aos anos de 1996 e 1997, estabelecendo o limite máximo e mínimo de confiança para esses dados. Em seguida, foram calculadas as médias dos dados obtidos neste mesmo período, quando a floresta estava intacta; o mesmo procedimento foi adotado aos dados do período pós-corte, representado pelos anos de 1998 e 1999.

Para evitar que efeitos ambientais que ocorrem naturalmente fossem confundidos com efeitos do corte, o mesmo procedimento foi utilizado para a microbacia do Banhado.

Partiu-se do princípio que as médias obtidas com dados referentes ao período pré-corte mantenham-se dentro do intervalo de confiança e, caso haja alterações devido ao corte, as médias do período pós corte estarão fora do referido intervalo. O mesmo foi feito para o Banhado, na intenção de verificar o comportamento em uma microbacia sem o efeito do corte.

As figuras 22 á 27 apresentam os intervalos de confiança, a um nível de significância de 95%, para as concentrações e os valores médios dos parâmetros físicos e químicos das microbacias do Banhado (testemunha) e Lage avaliados neste estudo.

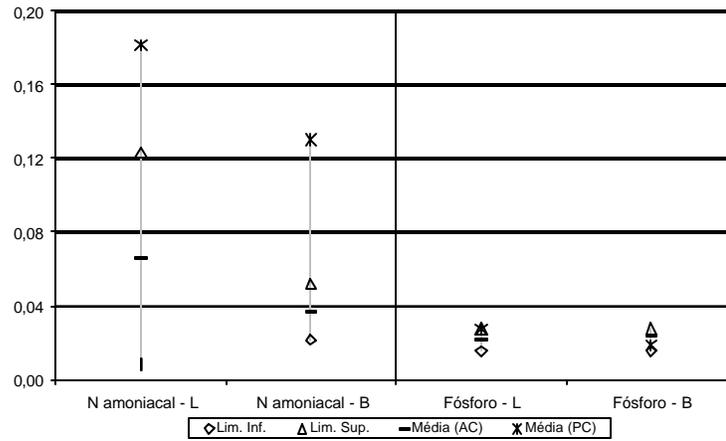


Figura 22 - Intervalo de confiança e valores médios de nitrogênio e fósforo observados antes e depois do corte.

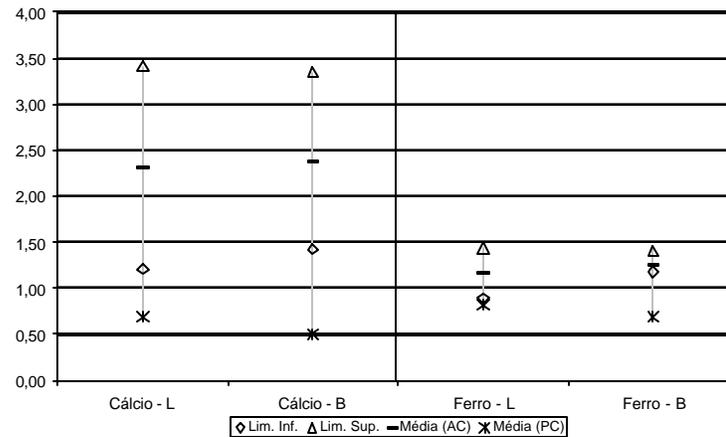


Figura 23 - Intervalo de confiança e valores médios de cálcio e ferro observados antes e depois do corte.

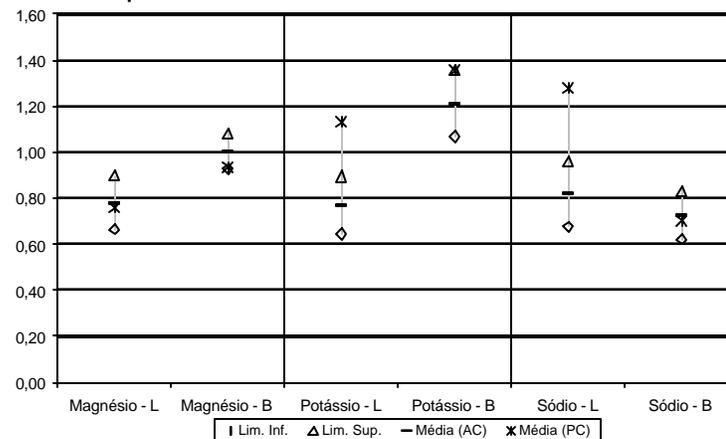


Figura 24 - Intervalo de confiança e valores médios de potássio, magnésio e sódio observados antes e depois do corte.

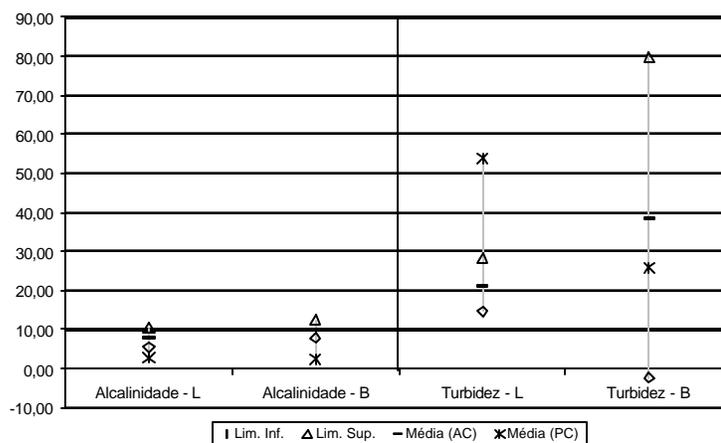


Figura 25 - Intervalo de confiança e valores médios de alcalinidade e turbidez observados antes e depois do corte.

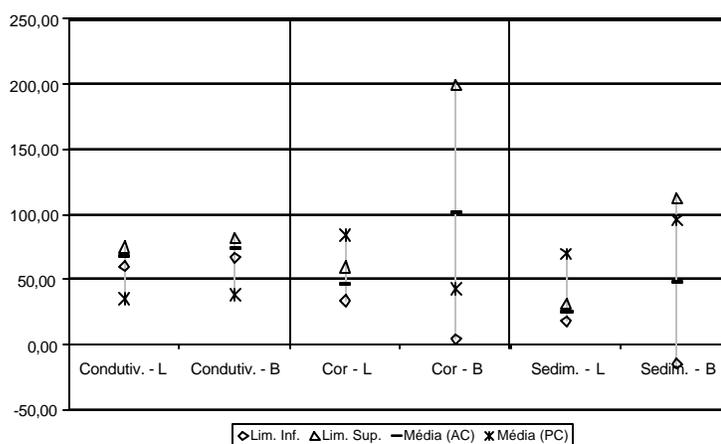


Figura 26 - Intervalo de confiança e valores médios de sedimentos, cor e condutividade observados antes e depois do corte.

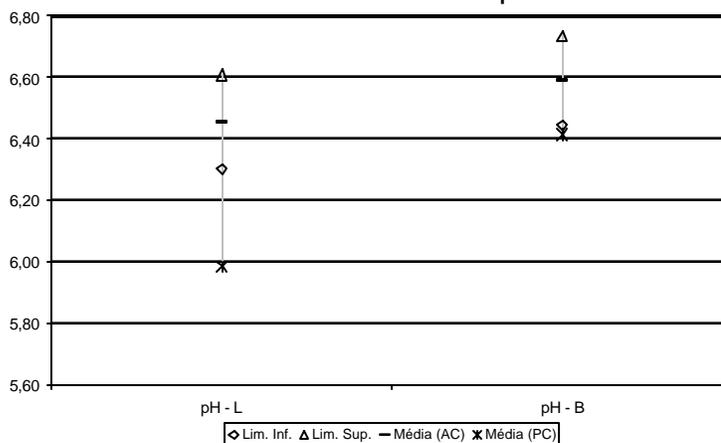


Figura 27 - Intervalo de confiança e valores médios de pH observados antes e depois do corte.

A análise dos resultados obtidos através dos intervalos de confiança demonstra que os valores médios de elementos como o magnésio e fósforo, mesmo após o corte, mantêm-se dentro dos limites superiores e inferiores estabelecidos.

O nitrogênio apresenta seus valores médios após o corte acima do limite superior na microbacia da Lage, o mesmo ocorrendo para a microbacia do Banhado (testemunha). Logo, mesmo em situação natural, verifica-se alta concentração no deflúvio, de maneira que não se pode atribuir o aumento de concentração no deflúvio inteiramente aos efeitos do corte .

O cálcio, ferro, pH , alcalinidade e condutividade apresentam valores abaixo do limite inferior do intervalo de confiança, tanto na Lage como no Banhado, representando que independente do corte eles sofrem alterações naturais.

Os parâmetros químicos que comparativamente entre Lage e Banhado sofreram alteração após o corte foram o potássio e sódio.

O valor médio para o período pós – corte do potássio na microbacia da Lage foi maior que o seu limite superior, enquanto que no Banhado, apesar de o valor médio ter aumentado no referido período ele ainda se mantém dentro do intervalo de confiança estabelecido. Para o sódio o comportamento foi semelhante, porém a alteração no valor médio antes do corte e após o corte na microbacia do Banhado não foi alterado. Diante desse resultado, conclui-se que a concentração do sódio no deflúvio é resposta direta da forma de manejo utilizada pela empresa na microbacia da Lage, mais especificamente aos efeitos da queima do material deixado na microbacia.

Levando - se em conta os parâmetros físicos, as alterações ocorreram para os teores de sedimentos, cor e turbidez.

Os intervalos dos limites superior e inferior na microbacia do Banhado são maiores que na microbacia da Lage, porém os valores médios obtidos para antes e depois do corte no Banhado estão dentro do intervalo de confiança. Os

valores médios obtidos com dados mensais após o corte variam pouco em relação aos valores médios obtidos antes do corte. Na Lage, os valores médios são maiores que o intervalo superior para sedimentos, o que conseqüentemente elevou os valores de cor e turbidez.

A partir disso, pode-se inferir que os parâmetros que sofreram alteração como efeito direto do corte raso da floresta foram o sódio, sedimentos, cor e turbidez.

4.4.1 Mata ciliar

A microbacia da Lage é uma microbacia de 2^o ordem (figura 28), sendo portanto possível subdividi-las em duas subbacias, essas duas vertentes foram denominadas de “braço A” e “braço B”. O método de exploração adotado foi o mesmo para toda microbacia, porém foi dado tratamento diferenciado para os dois braços, no “braço A” foi mantida uma faixa de 30 metros de pinus adulto e no “braço B”, foi retirado toda a floresta do entorno.

Com o início das atividades de exploração foi realizado um acompanhamento da colheita da madeira, onde as operações de abertura de contorno, derrubada, arraste, enleiramento, subsolagem, plantio e queima foram seguidos e mapeados o que possibilitou saber onde, quando e que tipo de intervenção foi realizada.

A partir desse acompanhamento em conjunto com dados de precipitação procurou-se fazer uma avaliação do potencial de proteção do pinus como função de mata ciliar sobre a qualidade da água.

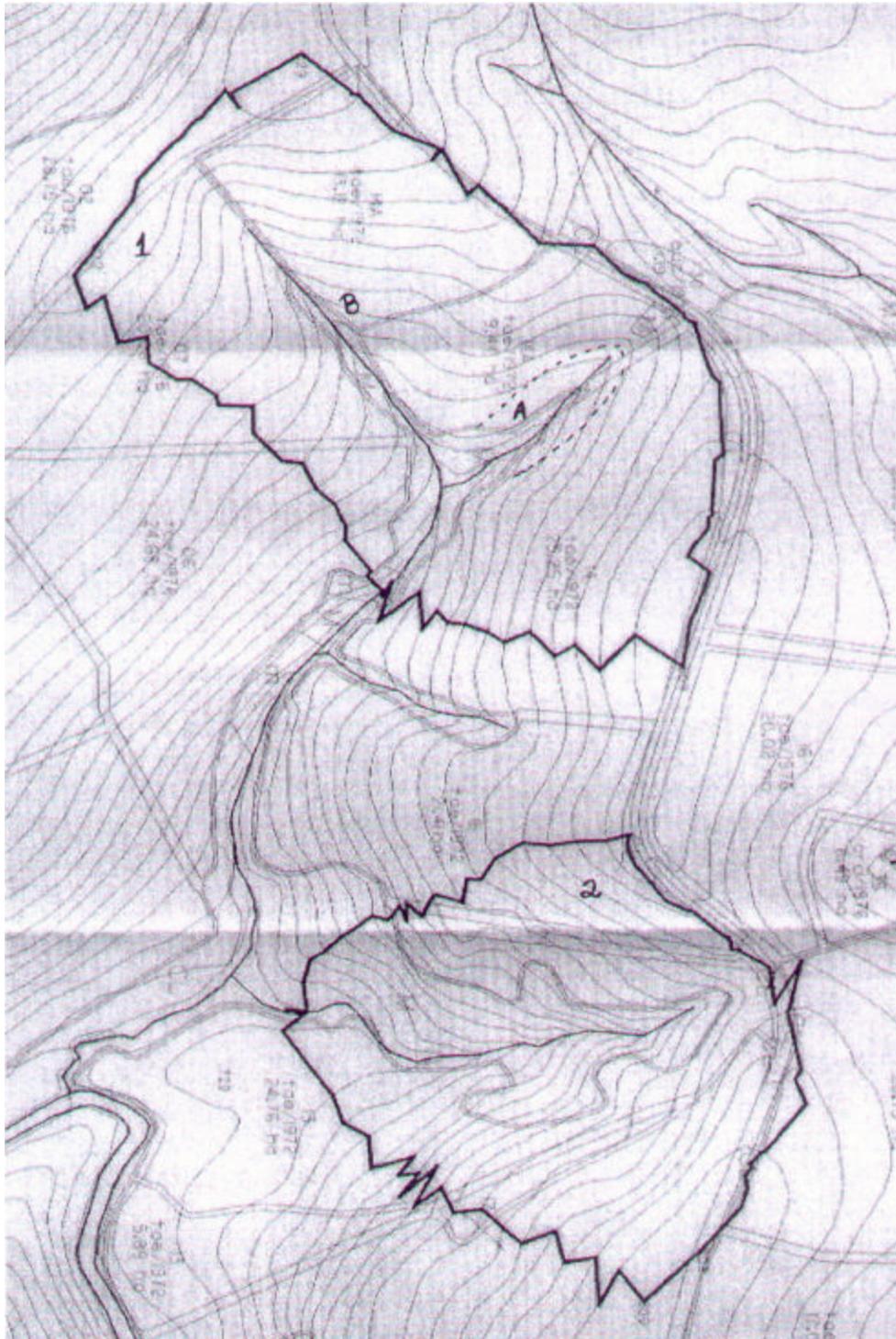


Figura 28 – Mapa plani - altimétrico das microbacias da Lage (1) e do Banhado (2).

O enleiramento do material deixado sob o solo, mais as atividades de arraste provocaram aumento da concentração de ferro, sódio, potássio, magnésio, alcalinidade, sedimentos e cor nas amostras retiradas tanto do “braço A”, quanto do “braço B”, porém os picos foram maiores no “braço B”. A área de contribuição afetada por essas atividades foram maiores na área sem a mata ciliar. Pode ser observado que a manutenção do pinus como mata ciliar promoveu menor saída de nutrientes pelo deflúvio.

A manutenção do solo descoberto promoveu maior carreamento desses elementos ao curso d'água, a inexistência de qualquer tipo de vegetação ao longo da drenagem podem explicar a concentração de nutrientes no “braço B”, em contrapartida, a presença da floresta, mesmo na forma de plantios de pinus, pela presença da serrapilheira e todo seu ecossistema promoveram um poder conservativo sob as saídas de nutrientes, resultando em menores concentrações nessas amostras de água.

A atividade de arraste com precipitação de 4,6 mm, provocou saída de 11,5 mg l⁻¹ de nitrogênio no “braço B” e 0,5 mg l⁻¹ no “braço A”, a ausência da cobertura vegetal promove a pronta lixiviação desse elemento ao curso d'água.

Independentemente da operação e da precipitação o pH oscilou em torno de 4,5 à 6,5, porém apresentou respostas diretas à precipitação no rio protegido pelo pinus. O mesmo ocorrendo com o cálcio, esse elemento responde prontamente a qualquer tipo de intervenção silvicultural.

A maior parte dos parâmetros estudados respondem diretamente às operações realizadas, com exceção do sedimento e do cálcio, que apresentam saídas constante e altas independente da presença ou não da proteção ciliar. Os maiores responsáveis pelo aumento da taxa dos parâmetros estudados são as atividades que envolvem a movimentação do solo.

5 CONCLUSÃO

A retirada da cobertura florestal foi o maior responsável pela saída de nutrientes da microbacia, porém, essa característica é inerente à atividade florestal, podendo ser minimizada por formas adequadas de manejo.

A influência da exportação de nutrientes pela biomassa pode ser confirmada com os dados obtidos pelo balanço geoquímico, a manutenção da cobertura florestal promove menores saídas de nutrientes do ecossistema, após o corte observa-se aumento substancial da concentração de nutrientes da água do deflúvio, porém esse aumento não foi suficiente para sobrepor a entrada dos mesmos pela precipitação, com exceção do magnésio.

O corte raso da floresta leva a um aumento da concentração de nutrientes na água do deflúvio, porém a ciclagem de nutrientes apresenta balanço negativo somente quando se inclui nessas saídas a exportação pela biomassa.

A maioria dos nutrientes apresentavam maiores concentrações no componente lenhoso, ou seja, o lenho e a galhada, sendo seguidas das acículas e da casca.

A biomassa total foi responsável pela perda de aproximadamente 1 ton.ha⁻¹ de nitrogênio, sendo que metade dessa perda está contida nas acículas e na galhada. A perda de fósforo e potássio da área também é maior nestes compartimentos comparativamente com o lenho e casca, sendo esta diferença de aproximadamente 300% e 200% respectivamente.

Com exceção do fósforo e do potássio, todos os outros nutrientes avaliados apresentaram maior saída pelo lenho, seguido da galhada e acículas, a casca foi responsável pela menor fatia de perda de nutrientes da microbacia.

Considerando-se os componentes responsáveis pelas saídas de nutrientes do ecossistema e levando-se em conta a necessidade da retirada do lenho para fins comerciais faz-se necessário atentar para a perda de nutrientes pelos compartimentos que não são utilizados comercialmente pela empresa, neste caso, as acículas e a galhada.

As altas concentrações de nutrientes que saíram da microbacia pela biomassa não foram compensadas pelas entradas via precipitação, promovendo balanço negativo para todos os nutrientes estudados, sendo a maior perda registrada para o nitrogênio.

A rapidez no crescimento e a ausência de sintomas de deficiência reforçam a expectativa de que plantações florestais de pinus dispensam fertilizações, de modo que a ciclagem de nutrientes torna-se processo importante na nutrição dessas plantações.

Alguns nutrientes como o K, Mg e Zn são considerados limitantes para o crescimento do pinus. A empresa durante o presente estudo adotou técnicas de manejo em que as acículas e a galhada são enleirados e queimados, prática esta que contribui para a perda de nutrientes e conseqüentemente o empobrecimento do solo. A manutenção dessa parcela de matéria orgânica no solo poderá fornecer dois benefícios: um em relação a disponibilização de nutrientes para o solo e conseqüentemente para as plantas; o segundo benefício é em relação à proteção que esta cobertura proporciona ao solo.

A evapotranspiração das microbacias da Lage e do Banhado, antes do corte raso da floresta da primeira microbacia, apresentou diferença de 25,9 mm, sendo que a microbacia da Lage, mantinha-se sob condições de cobertura florestal.

A precipitação foi 15% menor em 1998 comparado com o ano anterior e 35% menor entre 1998 e 1999. Na microbacia do Banhado a diferença da

evapotranspiração nesses mesmos períodos acompanharam a diminuição da precipitação, já na microbacia da Lage, além dessa diferença esperada devido a menor precipitação houve aumento na vazão provocado pela retirada da cobertura florestal. Pôde-se portanto verificar tanto a influência do corte quanto da precipitação, principalmente no segundo ano após o corte

Com relação a qualidade da água, alguns nutrientes como o N, K, Mg, Ca e Fe em condições de precipitação inferior a 150,0 mm apresentaram picos de saída de nutrientes após o início do corte raso da floresta. A partir de março/1998, a concentração de nitrogênio, potássio e magnésio no deflúvio diminuíram em condições semelhantes de precipitação, coincidindo com o início do plantio na área.

O sódio apresentou comportamento diferenciado dos demais nutrientes, durante o período de manejo, não apresentou a picos de saída, assemelhando-se ao comportamento da microbacia do Banhado: após o plantio efetivo de toda a microbacia, durante 4 meses observou-se picos deste nutriente, sendo que o caminhamento do mesmo no solo é mais lento. O fósforo apresentou maiores saídas durante as atividades de enleiramento e plantio na área.

Os picos de sedimentos nas amostras de água foram acompanhadas pelo aumento dos valores de turbidez, porém essa relação não condiz com o comportamento antes do corte. As concentrações de sedimentos antes do corte e depois do mesmo, em condições de alta precipitação, foram menores do que as observadas durante o corte.

O comportamento do pH e da condutividade, tanto na microbacia da Lage quanto do Banhado foi muito semelhante durante o período de corte. Tal comportamento pode se explicado, pois tanto em condições em que há cobertura florestal como na sua ausência ocorre a presença dos íons na água, o que acarretará na flutuação dos valores de condutividade, mesmo sem a indicação de quais íons estão presentes, podendo ou não responder aos efeitos da colheita.

A tendência ao longo do período depois do corte, tanto da quantidade da água que deixa a microbacia, como da presença de nutrientes, é de retorno aos níveis apresentados antes do corte, seguindo o comportamento da microbacia do Banhado, que foi mantida inalterada. Somente o cálcio e o sódio apresentaram maiores concentrações na Lage comparativamente com Banhado depois do corte, estando esse comportamento relacionado com a geologia.

A presença de remanescentes da plantação de pinus na zona ripária da microbacia da Lage diminui a saída de nutrientes da microbacia. Neste caso, mais importante que a manutenção das árvores de pinus nesta zona, é o planejamento das atividades ao longo das demais porções da microbacia, sendo que operações que envolvem a movimentação do solo, como o arraste e a subsolagem, sejam realizadas de maneira menos impactante possível, respeitando as condições climáticas e as áreas mais sensíveis da microbacia.

Dos resultados gerais do trabalho, pode-se considerar como bons indicadores para monitoramento da qualidade de água os seguintes parâmetros: cor, turbidez e sedimentos.

ANEXOS

Anexo A. Distribuição de nutrientes da classe 1, nos diferentes compartimentos.

Classe 1	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	Na
Componente	kg.ha⁻¹	Kg.ha⁻¹										
Lenho	179496,1	308,1	1,8	74,8	203,4	185,5	125,6	12,0	3,0	14,7	2,4	22,0
Casca	7479,0	24,3	0,8	4,1	8,0	7,7	0,0	860,1	37,4	585,9	174,5	1118,1
L+C	186975,1	332,4	2,6	78,9	211,4	193,2	125,7	872,1	40,4	600,5	176,9	1140,1
Acículas	11603,3	188,9	8,9	70,8	13,2	12,8	15,9	1,4	0,2	3,0	0,3	1,3
Galhada	32333,3	95,4	0,8	51,7	39,9	33,4	19,9	3,4	0,2	4,7	0,6	3,7
A + G	43936,7	284,3	9,7	122,5	53,0	46,2	35,8	4,8	0,4	7,8	0,9	5,1
Total	230911,8	616,8	12,3	201,4	264,4	239,4	161,5	876,9	40,8	608,3	177,8	1145,2

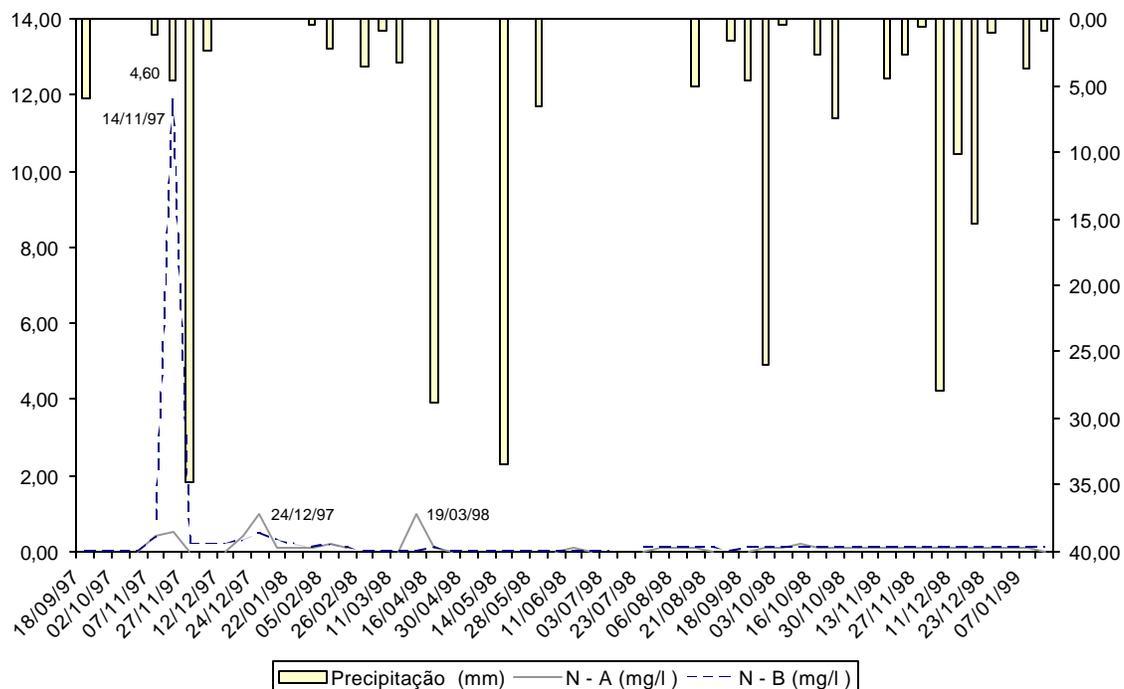
Anexo B. Distribuição de nutrientes da classe 2, nos diferentes compartimentos.

Classe 2	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	Na
Componente	kg.ha⁻¹	Kg.ha⁻¹										
Lenho	353441,2	665,6	8,2	147,3	424,1	377,0	253,3	23,0	2,9	33,0	7,7	37,9
Casca	14726,7	43,9	0,9	7,4	16,7	15,2	15,2	2,0	0,1	0,9	0,3	2,0
L+C	368167,9	709,6	9,2	154,6	440,8	392,2	268,5	25,0	3,0	33,9	8,0	39,9
Acículas	31589,2	518,1	24,3	225,3	37,9	36,9	50,0	3,7	0,4	10,7	0,8	4,2
Galhada	84666,7	221,5	3,2	108,7	96,0	84,7	43,7	9,7	1,6	10,9	1,8	11,4
A + G	116255,8	739,6	27,6	334,0	133,9	121,5	93,8	13,4	1,9	21,6	2,6	15,6
Total	484423,8	1449,2	36,7	488,6	574,7	513,7	362,3	38,4	4,9	55,5	10,6	55,5

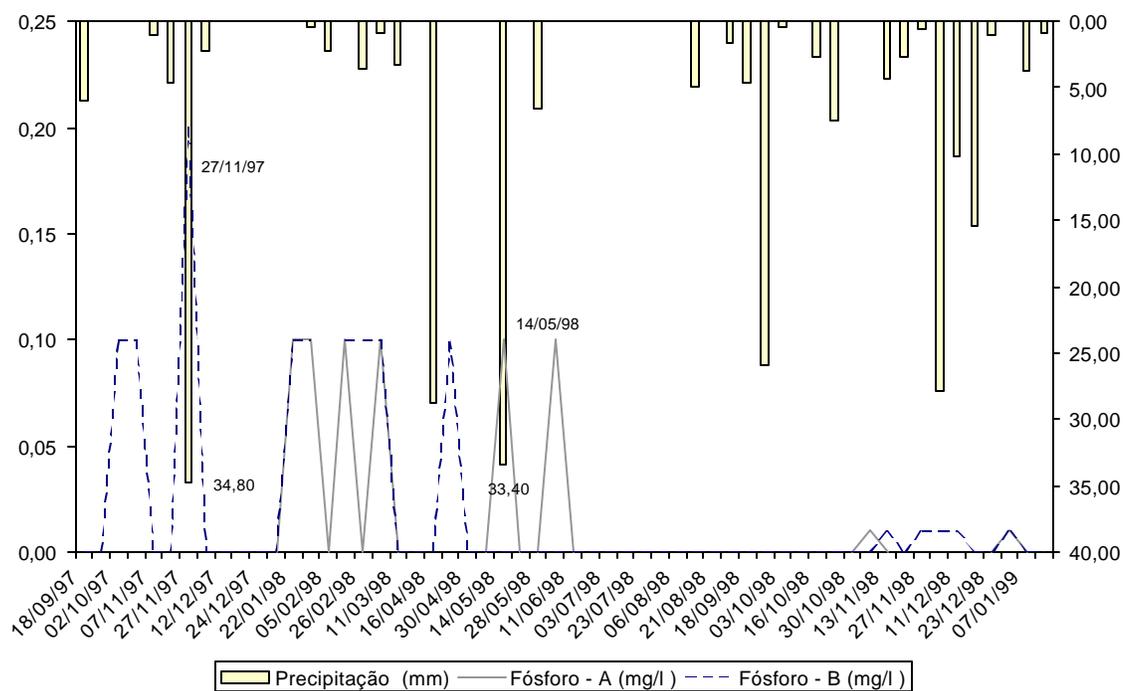
Anexo C. Distribuição de nutrientes da classe 3, nos diferentes compartimentos.

Classe 3	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	Na
Componente	kg.ha⁻¹	kg.ha⁻¹										
Lenho	547130,1	811,6	12,8	228,0	583,6	547,1	401,2	40,1	12,8	40,1	7,3	71,3
Casca	22797,1	77,1	0,8	13,7	27,4	25,8	23,2	1,8	0,1	1,4	0,5	3,8
L+C	569927,2	888,7	13,6	241,6	611,0	573,0	424,4	41,9	12,9	41,5	7,8	75,1
Acículas	66177,5	1048,9	44,4	394,9	70,6	70,6	107,0	8,9	1,1	21,0	1,5	9,4
Galhada	214666,7	658,3	5,0	375,7	257,6	229,0	128,8	23,6	2,9	28,3	3,9	30,4
A + G	280844,2	1707,2	49,5	770,5	328,2	299,6	235,8	32,5	4,0	49,2	5,5	39,8
Total	850771,4	2595,9	63,1	1012,2	939,2	872,5	660,2	74,5	16,8	90,7	13,3	114,9

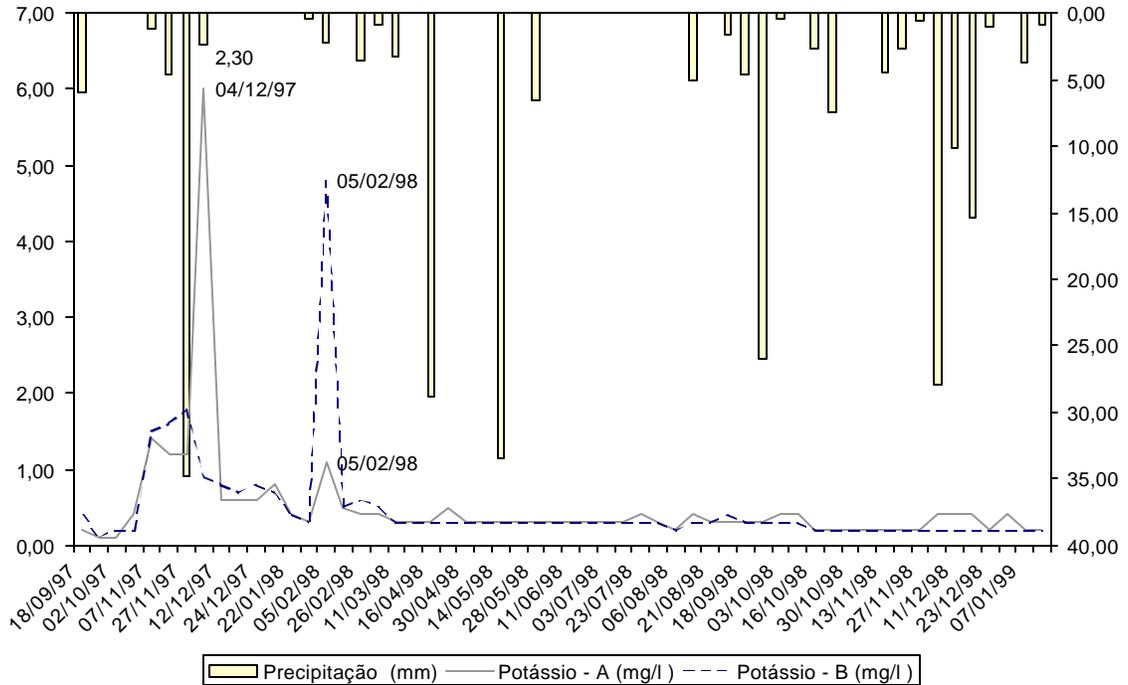
Anexo D. Concentrações de N (mg.l^{-1}) nas amostras do deflúvio para “braço A” e “braço B”.



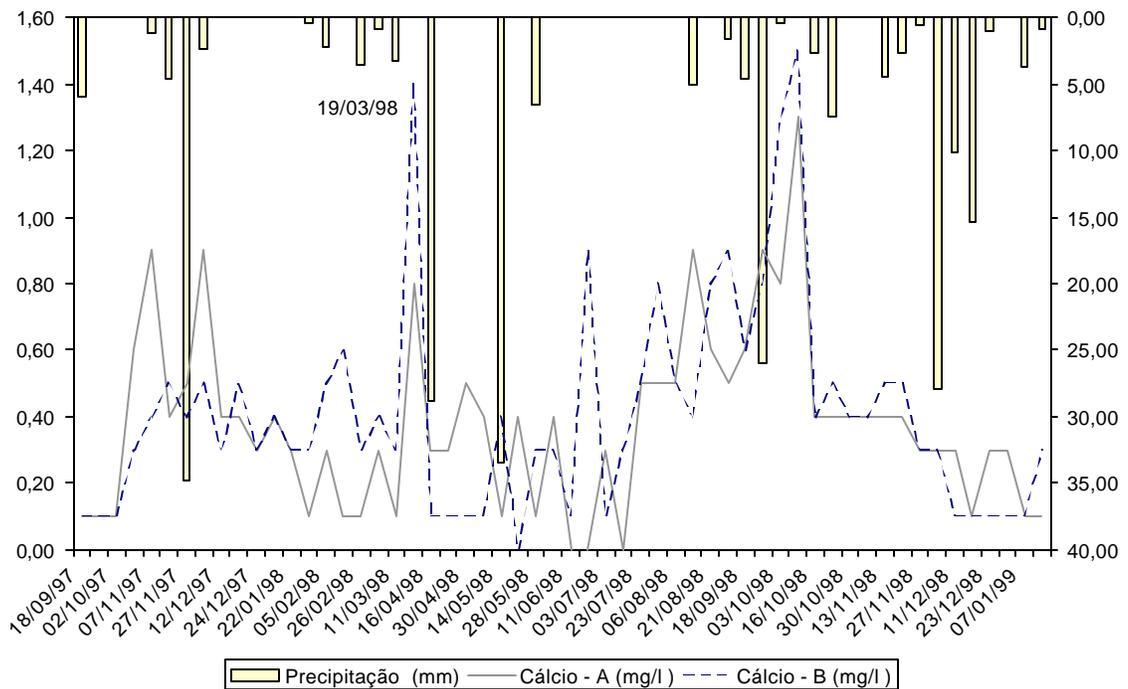
Anexo E. Concentrações de P (mg.l^{-1}) nas amostras do deflúvio para “braço A” e “braço B”.



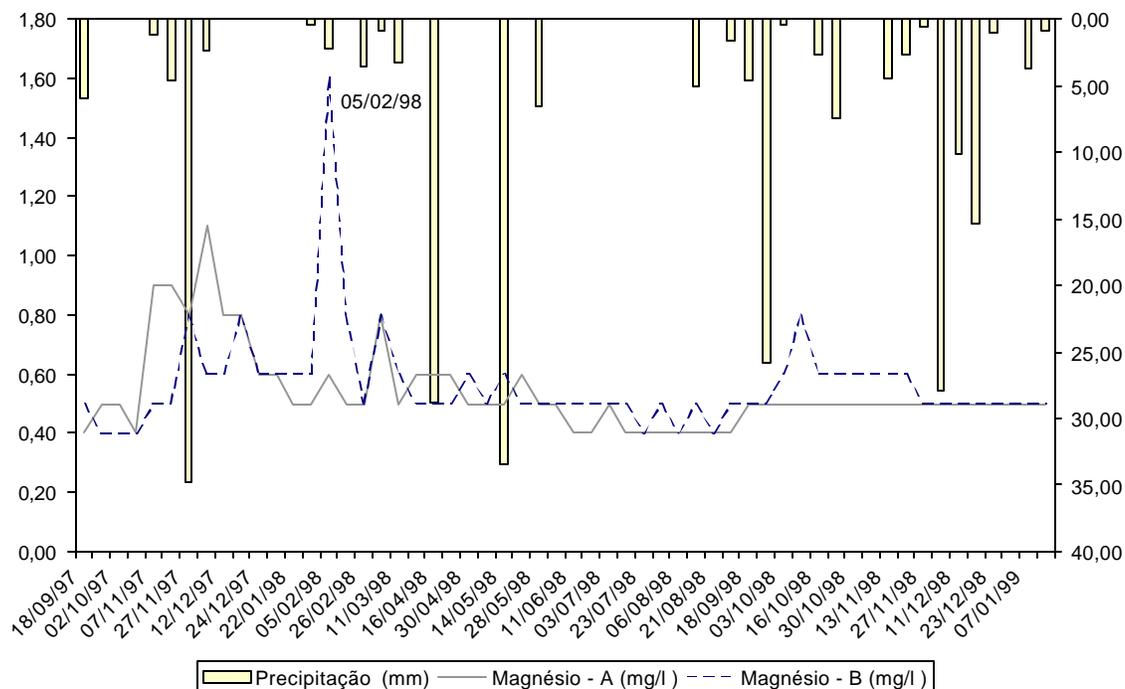
Anexo F. Concentrações de K (mg.l^{-1}) nas amostras do deflúvio para “braço A” e “braço B”.



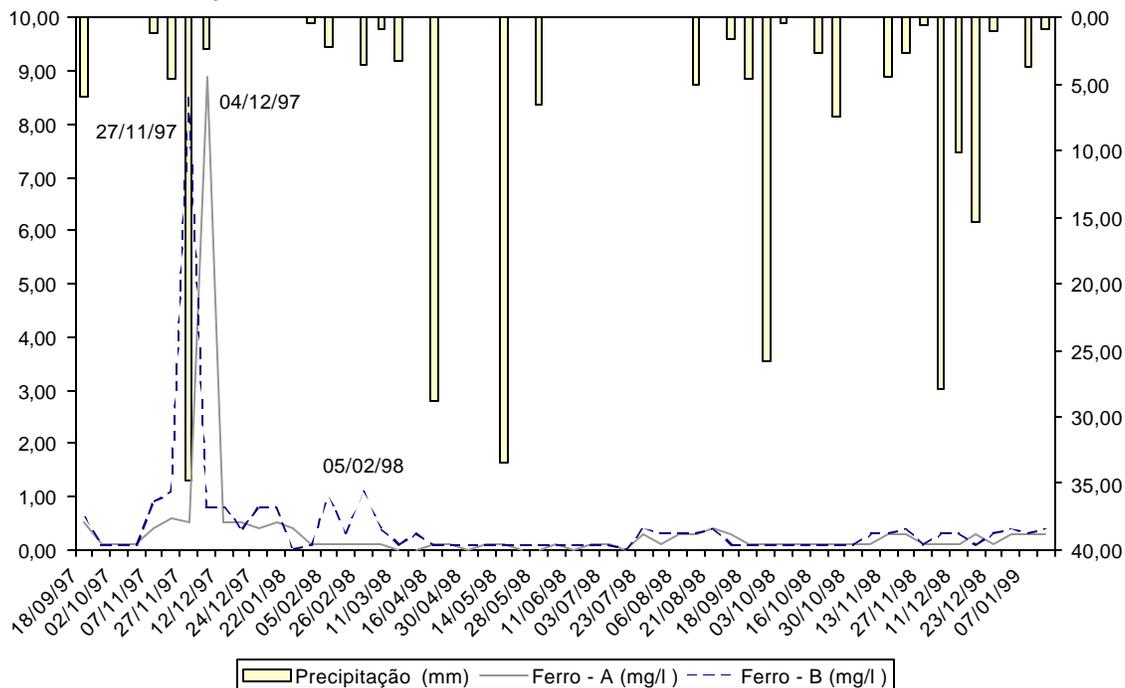
Anexo G. Concentrações de Ca (mg.l^{-1}) nas amostras do deflúvio para “braço A” e “braço B”.



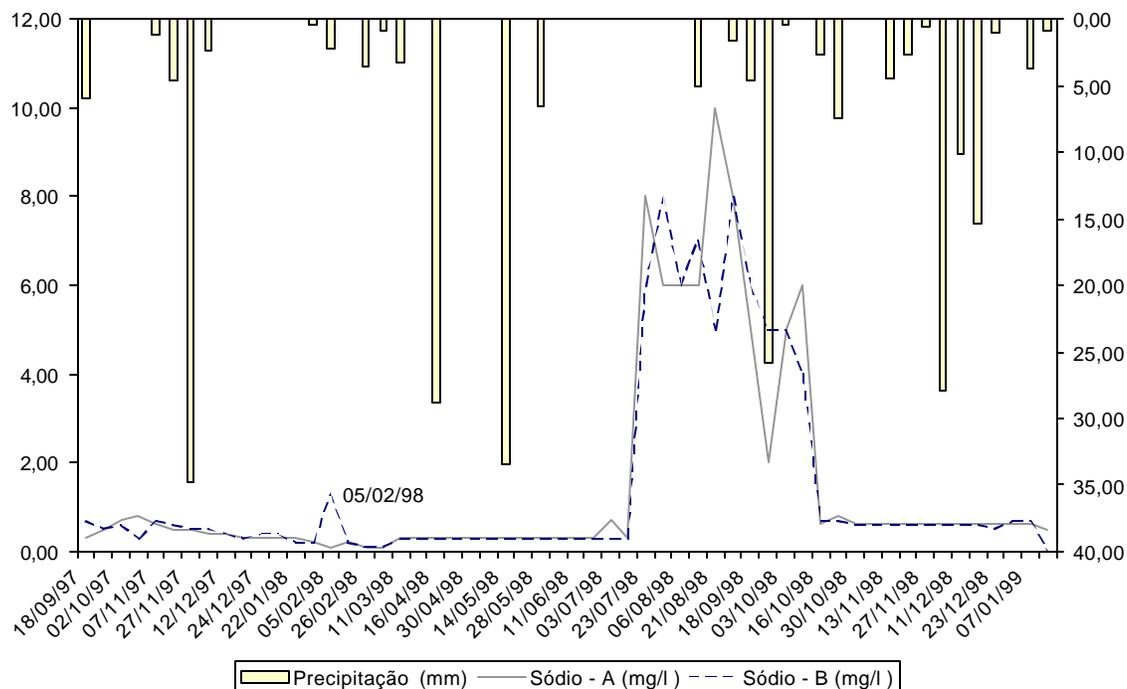
Anexo H. Concentrações de Mg (mg.l^{-1}) nas amostras do deflúvio para “braço A” e “braço B”.



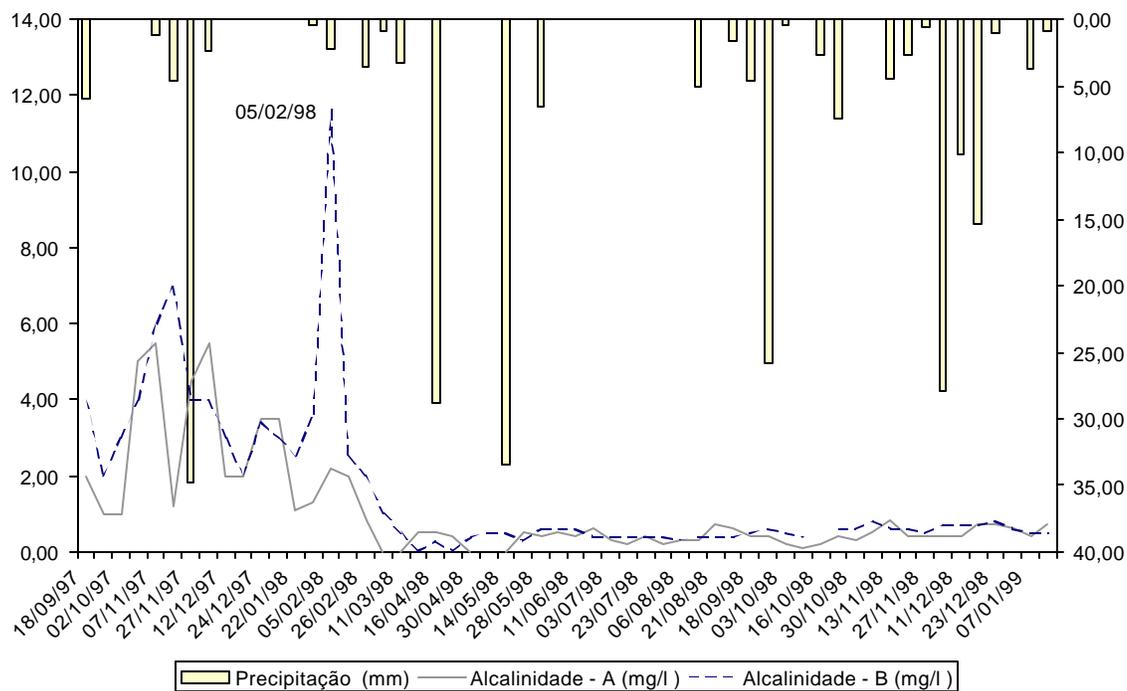
Anexo I. Concentrações de Fe (mg.l^{-1}) nas amostras do deflúvio para “braço A” e “braço B”.



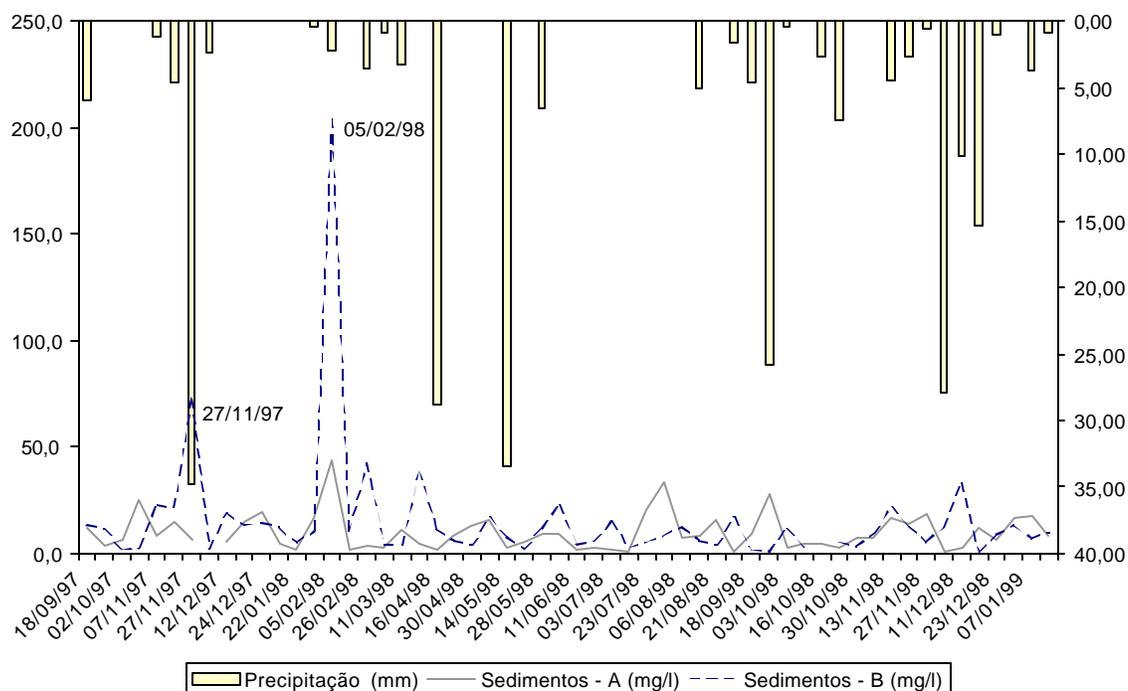
Anexo J. Concentrações de Na (mg.l^{-1}) nas amostras do deflúvio para “braço A” e “braço B”.



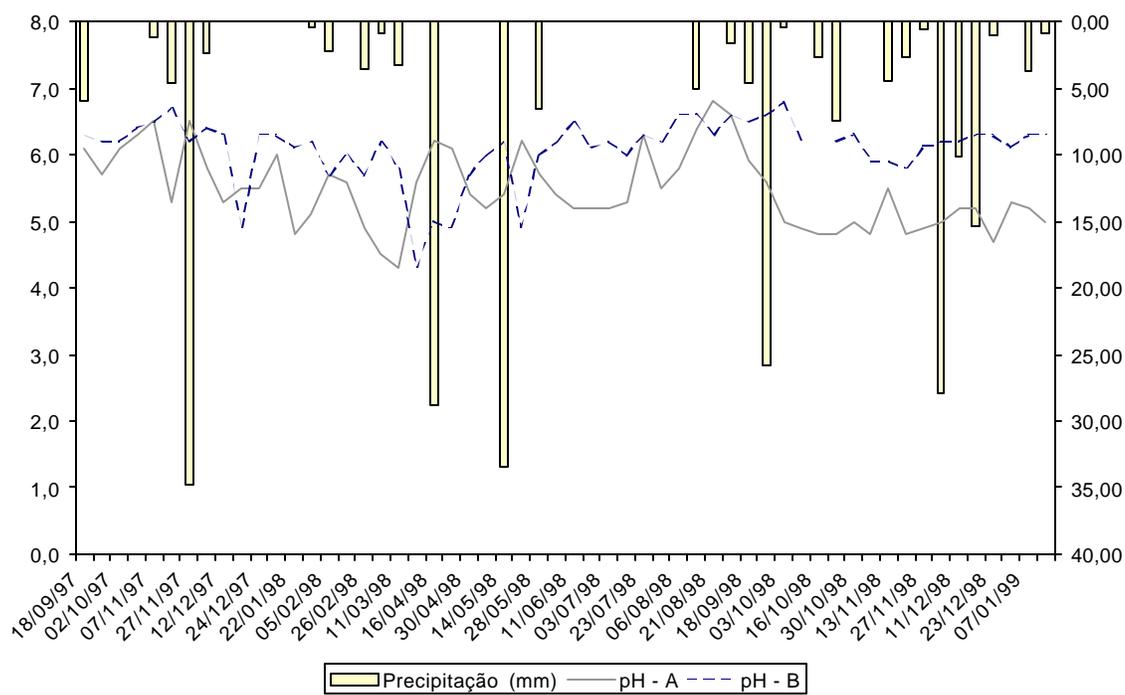
Anexo L. Concentrações de alcalinidade (mg.l^{-1}) nas amostras do deflúvio para “braço A” e “braço B”.



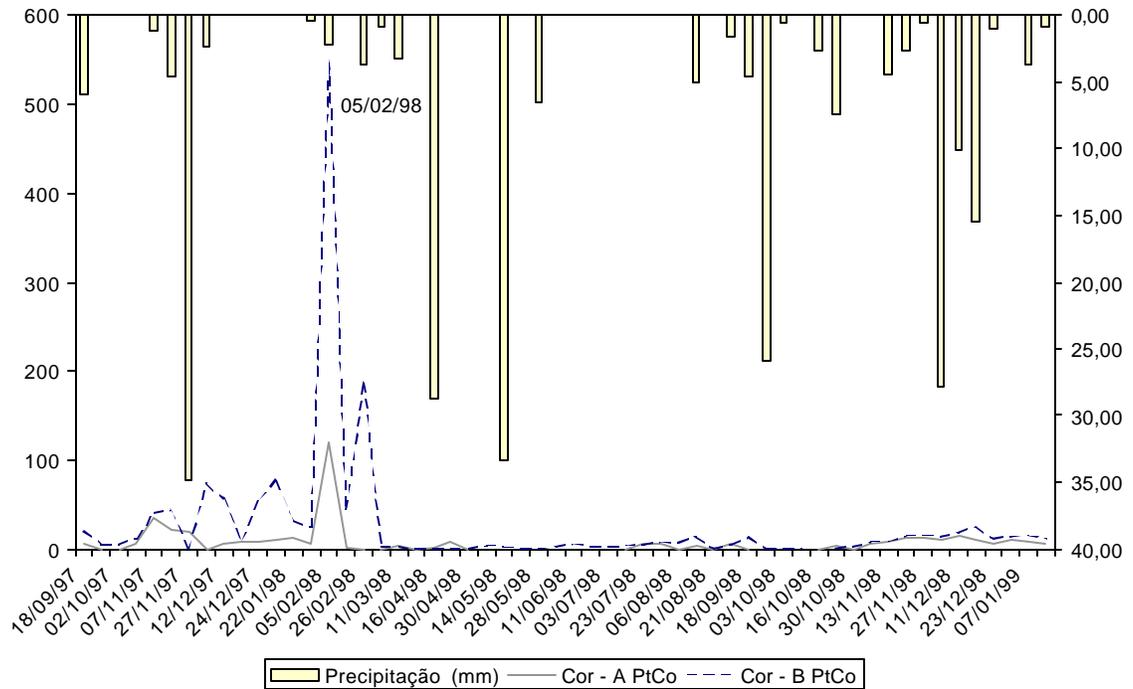
Anexo M. Concentrações de sedimentos (mg.l^{-1}) nas amostras do deflúvio para “braço A” e “braço B”.



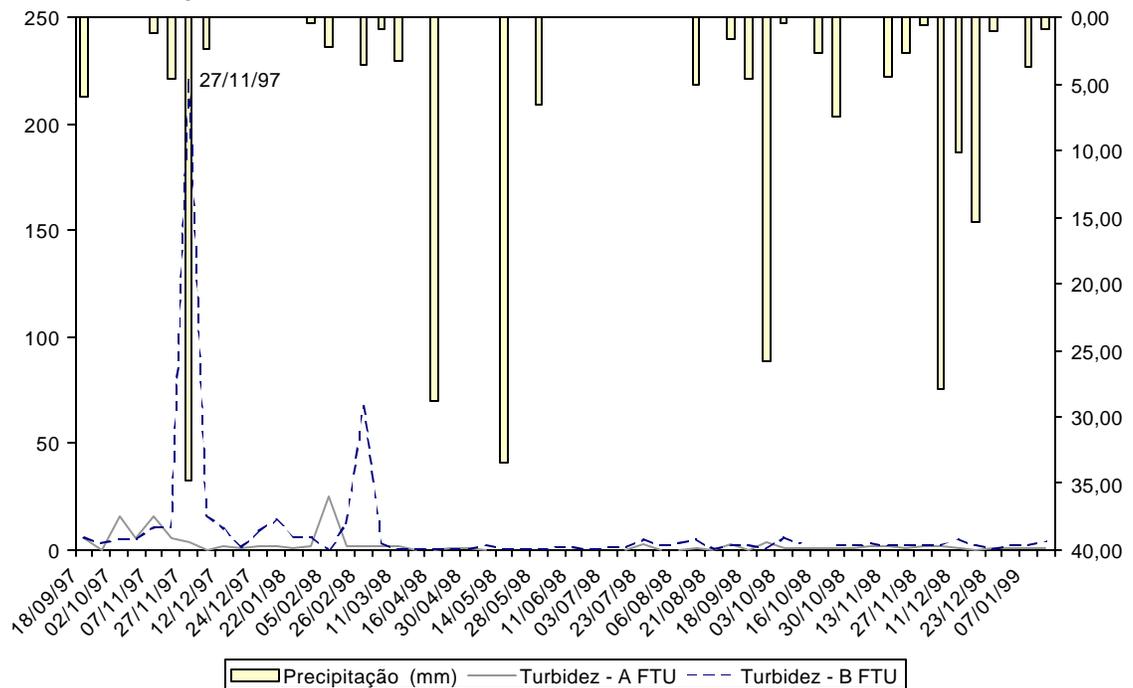
Anexo N. Valores de pH, nas amostras do deflúvio para “braço A” e “braço B”.



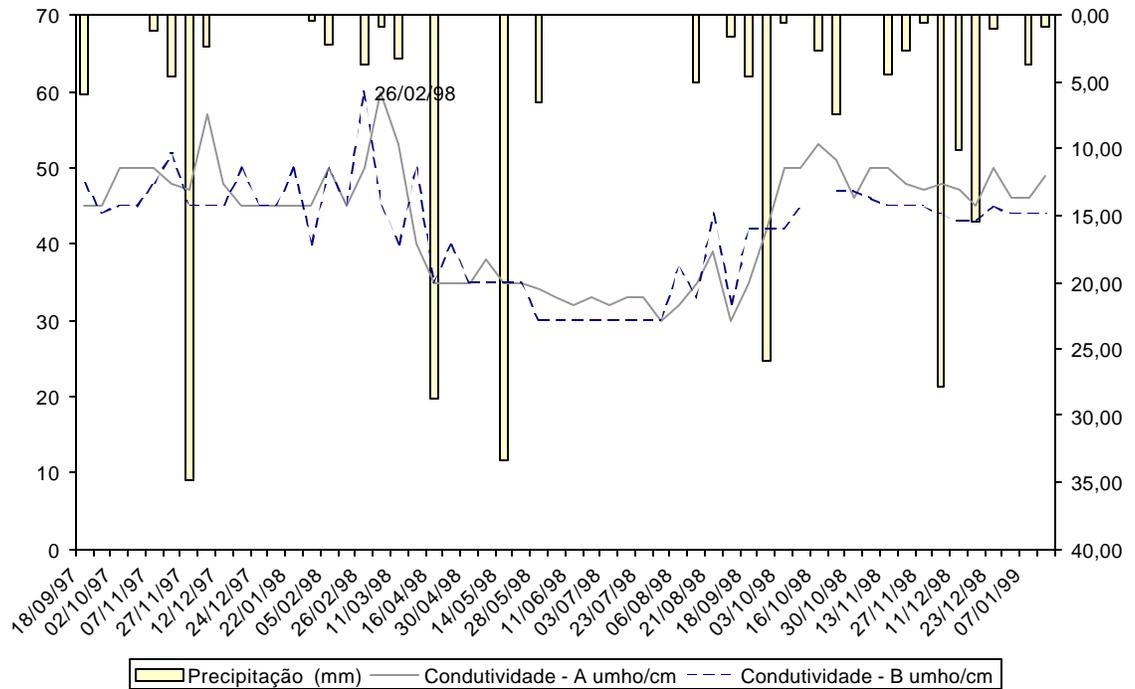
Anexo O. Valores de cor (PtCo) nas amostras do deflúvio para “braço A” e “braço B”.



Anexo P. Valores de turbidez (FTU) nas amostras do deflúvio para “braço A” e “braço B”.



Anexo Q. Saída de condutividade (umho.cm^{-1}) nas amostras do deflúvio para “braço A” e “braço B”.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCOVA, F. C. S. Balanço hídrico, características do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas na serra do mar, AP. Piracicaba, 1996. 130p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; LIMA, W. P. Balanço de nutrientes Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} , K^{+1} e NO_3^{-1} em bacia hidrográfica experimental com vegetação natural do Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha / SP. **IPEF**, n. 31, p. 61 – 67, dez. 1985.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; SHIMOMOTO, P. Y. Qualidade da água e dinâmica de nutrientes em bacia hidrográfica recoberta por floresta de Mata Atlântica. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo**, v. 5, n. 1, p. 1 – 20, 1993.

AUSTIN, W. N.; SHAFFER, R. M.; BURGER, J. A. Benefits and costs of forestry best management practices in Virginia. **Southern Journal of Applied Forestry**, v.20, n.1, p, 23 – 29, 1996.

BAKER Jr, M. B. Modelling management of ponderosa pine forest resources. In. WATERSHED MANAGEMENT SYMPOSIUM. Utah, 1975. **Proceedings**. Utah. 1975, p. 478 – 493.

BARGALI, S. S.; SINGH, S. P. Aspects of productivity and nutrient cycling in a 8-year-old Eucalyptus plantation in a moist plain area adjacent to Central Himalaya, India. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 21, n. 21, p.1365 –1372, 1991.

BOSH, J. M.; HEWLETT, J. D. A review of catchement experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, 55, p. 3 – 23, 1982.

BROOKS, K. N.; FOLIOT, P. F.; GREGERSEN, H. M.; THAMES, J. L. **Hydrology and Management of Watersheds**. Ames: Iowa State University Press, 1991. 392p.

CÂMARA, C. D. Efeitos do corte raso de eucalipto sobre o balanço hídrico e a ciclagem de nutrientes em uma microbacia experimental. Piracicaba. 1999. 87 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo.

CICCO, V.; ARCOVA, F. C. S.; CARVALHO, J. L.; FUJIEDA, M. Relações entre a precipitação e os escoamento total, direto e de base em uma bacia hidrográfica experimental, na região da Serra do Mar, Cunha – SP. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo**, v. 7, n. 1, p. 57 – 64, 1995.

CICCO, V.; ARCOVA, F. C. S.; SHIMOMICHI, P. Y. Estimativa da evapotranspiração em bacias hidrográficas com floresta natural secundária de mata atlântica – São Paulo. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo**, v. 1, n. 2, p. 43 – 54, 1989.

DRUMOND, M. A. Alteração fitossociológicas e edáficas decorrentes de modificação da cobertura vegetal da Mata Atlântica, região do médio Rio Doce, MG. Viçosa, 1996. 73 p. Tese (Doutorado); Universidade Federal de Viçosa.

DRUMOND, M. A.; SILVA, A. F.; BARROS, N. F.; SOUZA, A. L. Distribuição de biomassa e de nutrientes em diferentes coberturas florestais e pastagem na região do médio Rio Doce – MG. **Revista Árvore**, v. 21, n. 2, p. 187 – 199, 1997

FIEBIGER, G. Watershed management. In: Pensel, L. (Ed.) **Tropical Forestry Handbook**. Springer-Verlay, 1993. cap. 14, p. 849 – 903.

FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P. F. Relação entre o fluxo de água subterrânea e superficial em bacia hidrográfica caracterizada por cobertura florestal Amazônica. **Acta Amazônica**, v. 16/17, n único, p. 253 – 561, 1986/1987.

IWATSUBO, G., TSUTSUMI, T. Comparative studies on the nutrients balances of three watershed ecosystems through examining the chemicals in the water. In: IUFRO WORD CONGRESS, 17. Kyoto, 1981. Proceedings. Ibaraki: IUFRO, 1981. v. 1, p. 261 – 273.

KATTELMANN, R. C.; BERG, N. H.; RECTOR, J. The potential for increasing streamflow Sierra Nevada watersheds. **Water Researces Bulletin**, v. 19, n. 3, p. 395 – 402, 1983.

LESCH, W.; SCOTT, D. F. The responses in water yield to the thinning of *Pinus radiata*, *Pinus patula* and *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 90, p. 294 – 307, 1997.

LIMA, W. P.; MOREIRA, R. M.; SCARDUA, F. P.; MASETTO, A. V. Hidrologia de uma microbacia com cobertura da floresta de eucalipto com 50 anos de idade na estação experimental de Itatinga, Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n. 50, p. 11 – 19, 1996.

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

MILLER, E. L. Sediment yield and storm flow response to clear-cut harvest and site preparation in the Ouachita Mountains. **Water Resources Research**, v. 20, n. 4, p. 471 – 475, Apr. 1984.

OLIVEIRA, F. A. Produção e qualidade da água em bacias hidrográficas contendo diferentes coberturas vegetais na região de Agudos, São Paulo. Piracicaba, 1989. 82 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo.

PERRY, D.A.; MAGHEMBE, J. Ecosystem concepts and current trends in forest management: time for reappraisal. **Forest Ecology and Management**, v. 26, p. 123-140, 1989

PILGRIM, D. H.; DORAN, D. G.; ROWBOTTOM, I. A.; MACKAY, S. M.; TJEDONA, J. Water balance and runoff characteristics fo mature and cleared Pine and Eucalypt catchements at Lidsdal, New South wales. In: NATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST HYDROLOGY, 1., Melbourn, 1982. **Proceedings**. Melbourn: IUFRO, 1982, p. 103-110.

POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes e manutenção da produtividade das florestas plantadas. In: FUNDAÇÃO CETEC. Gaseificação da madeira e carvão vegetal. Belo Horizonte, 1982, p. 25 - 33.

PUTUHENA, W. M.; CORDERY, I. Some hydrological effects of changing forest cover from eucalypts to *Pinus radiata*. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 100, p. 59 –72, 2000.

SAHIN, V.; HALL, M. J. The effects of afforestation and deforestation on water yields. **Journal of Hydrology**, v. 178, p. 293 – 309, 1996.

SCARDUA, F. P. Caracterização hidrológica de uma microbacia hidrográfica experimental da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, ESALQ / USP. Piracicaba, 1994. 93 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo.

STEDNICK, J. D. Monitoring effects of timber harvest on annual water yield. **Journal of Hydrology**, v. 176, p. 79 – 95, 1996.

TALSMA, T. HALLAN, P. M. Stream water quality of forest catchments in the Cotter Valley, ACT. In: NATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST HYDROLOGY, 1., Melbourn, 1982 . **Proceedings**. Melbourn: IUFRO, 1982, p. 50 - 59.

VITAL, A. R. T. Efeito do corte raso no balanço hídrico e na ciclagem de nutrientes em uma microbacia reflorestada com eucalipto. 1996. 106 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo.

WATERLOO, M. J. Water and nutrient dynamics of Pinus caribaea plantation forests on former grassland soil in Southwest Viti Levu, Fiji. Amsterdam: Vrije Universiteit, 1994, 476 p.

ZAKIA, M. J. B. Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental: Implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas. São Carlos, 1998, 98p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.