

Corte raso de uma plantação de *Eucalyptus saligna* de 50 anos: impactos sobre o balanço hídrico e a qualidade da água em uma microbacia experimental

Clearcutting of a 50 years old growth *Eucalyptus saligna* plantation: impacts on water balance and water quality in an experimental catchment

Carla Daniela Câmara
Walter de Paula Lima

RESUMO: Visando fornecer informações sobre o efeito das atividades florestais sobre hidrologia de microbacias, a microbacia do “Tinga”, localizada na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga - ESALQ/USP, foi instrumentada em 1991, quando teve início o trabalho de monitoramento ambiental. O objetivo foi buscar indicadores que pudessem orientar as atividades florestais, de forma a reduzir seus impactos sobre a quantidade e a qualidade da água produzida nas microbacias destinadas à produção florestal. Este estudo faz uma avaliação dos efeitos do corte raso de uma plantação de eucalipto de 50 anos, na 4ª rebrota, e há 16 anos sem intervenção silvicultural sobre a hidrologia da microbacia. Os aspectos em estudo foram: produção de água e qualidade de água. Para obtenção dos resultados foram comparados os valores observados durante os 6 anos de calibração da microbacia aos obtidos no primeiro ano hídrico após o corte raso do eucalipto. Durante o primeiro ano após o corte raso do eucalipto foi observado um aumento no deflúvio anual de 94 mm em relação à média dos 6 anos anteriores ao corte. Este aumento correspondeu a uma alteração de 1,0 % na correlação precipitação / deflúvio. Dentre os parâmetros considerados no monitoramento da qualidade da água, os mais afetados pela retirada da cobertura florestal foram a turbidez, a cor e a produção de sedimentos em suspensão. De forma geral os parâmetros físicos mostraram-se melhores indicadores das alterações causadas pelo corte raso, destacando-se a turbidez, a cor e a condutividade elétrica. A preservação da mata ciliar, a manutenção da serapilheira, o corte realizado de forma gradual e sem uso intenso de máquinas e a rebrota das árvores foram considerados importantes fatores responsáveis pelo baixo impacto da colheita da madeira sobre os aspectos químicos da qualidade da água e sobre a perda de nutrientes pela água do deflúvio.

PALAVRAS-CHAVE: Microbacia, Eucalipto, Qualidade da água, Balanço hídrico, Corte raso

ABSTRACT: Hydrologic monitoring of the “Tinga” experimental catchment, located in the Itatinga Experimental Station (ESALQ/USP) started in 1991. The main propose of this monitoring was to find indicators that could help forestry activities in the way to reduce potential effects on water yield and water quality. As part of this watershed project of the Itatinga Experimental Station, this work aimed to investigate the effects of clearcutting of an old growth (50 years) *Eucalyptus saligna* coppice in the catchment hydrology, in terms of water yield and water quality. For this propose, the average data of the first 6 years calibration period are compared with data of the

first year after the clearcutting. It was observed an annual increase of 94 mm in the water yield during the first year after clearcutting, which correspond to 1,0 % increase in correlation between precipitation and annual water yield. The most affected water quality parameters were turbidity, color and suspended sediment. For detecting clearcutting impacts in water quality, physical parameters were more efficient than chemical parameters, especially color, electric conductivity and turbidity. The maintenance of the integrity of the catchment riparian zone forest, as well as the forest floor, coupled with a conservative harvesting technique and a rapid *Eucalyptus* regeneration, were considered important factors which were responsible for the relatively minor impacts of the clearcutting on catchment water quality chemical parameters.

KEYWORDS: Catchment, Clearcutting, *Eucalyptus*, Water balance, Water quality

INTRODUÇÃO

O Brasil possui atualmente cerca de 5 milhões de hectares de plantações de eucalipto (Rogick, 1996). Trata-se de um gênero de grande importância econômica, mas que ainda gera controvérsias sobre seus possíveis efeitos negativos sobre o ambiente, especialmente relacionados ao consumo de água e ao esgotamento de nutrientes do solo (Almeida e Riekerk, 1990; Poggiani e Schumacher, 1997; Lima, 1996).

Atualmente, com a inserção do conceito de sustentabilidade da produção florestal, não há mais espaço para atividades que comprometam a disponibilidade dos recursos hídricos, tanto no aspecto quantitativo como qualitativo. Desta forma, deve-se atentar para a disponibilidade de água para produção, sem que haja comprometimento de outras atividades dela dependentes, bem como para a forma de manejo adotada, buscando reduzir tanto quanto possível os impactos desta atividade sobre a qualidade da água.

Por outro lado, a possibilidade de produção florestal com baixos impactos sobre a qualidade da água, em especial sobre os aspectos químicos, pela adoção de medidas de proteção do solo e a preservação da mata ciliar já vem sendo demonstrada em vários trabalhos (Aubertin e Patric, 1974; Douglas e Swank, 1975; Tiedemann et al, 1988).

Bosch e Hewlett (1982) em revisão sobre 94 experimentos realizados para determinar os

efeitos da alteração na vegetação sobre a produção de água em microbacias, concluíram que em todos os casos, exceto um, houve um incremento na produção de água com a redução da cobertura florestal, ou uma redução em consequência do reforestamento. Entretanto, os autores salientam a grande variabilidade da resposta hidrológica das microbacias, que em parte pode ser explicada pela precipitação média anual, pela taxa de regeneração da floresta, pela localização das áreas de corte em relação à superfície total da microbacia. Com tal variabilidade, é essencial que a relação entre a cobertura florestal e a produção de água seja determinada para cada região em particular, atribuindo-se especial atenção à precipitação anual, aos métodos silviculturais e à rebrota da floresta.

Neste estudo, os resultados do corte raso de uma plantação de eucalipto de 50 anos, realizado de forma gradativa, sem o uso intenso de máquinas, com a preservação da mata ciliar e da serapilheira depositada sobre o solo, comprovam que estas medidas podem reduzir os impactos do corte raso sobre a produção e a qualidade da água em uma microbacia. Contudo, alguns parâmetros da qualidade da água foram bastante afetados por esta operação, o que indica a necessidade de outras medidas para que se mantenham os níveis mais próximos daqueles observados nas condições de cobertura florestal não perturbada.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

A Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, localiza-se no município de Itatinga - SP, entre os paralelos 23° 02' 01" e 23° 02' 30" latitude sul e os meridianos 48° 38' 34" e 48° 37' 30" latitude oeste de Greenwich, com altitude média de 830 m. (Scardua, 1994).

A microbacia do Tinga possui uma área de 68,24 ha e até agosto de 1998 manteve cobertura florestal de *Eucalyptus saligna*. O plantio foi realizado há cerca de 50 anos, tratando-se atualmente da rebrota do último corte, realizado há 17 anos. Estima-se que este seja o sexto ciclo de rebrota da plantação.

A caracterização hidrológica da microbacia do Tinga teve início em abril de 1991, com a microbacia recoberta por plantio de eucalipto. A partir desta data vem sendo realizado o monitoramento contínuo do balanço hídrico e ciclagem geoquímica de nutrientes.

De acordo com Scardua (1994), trata-se de uma bacia de segunda ordem, segundo a classificação de STRAHLER e orientação NO.

O clima local é do tipo mesotérmico úmido, segundo classificação de Köppen, com precipitação média mensal do mês mais seco entre 30 e 60 mm, temperatura mínima anual de 12,8 °C e média anual de 19,4 °C. A umidade relativa média anual é de 83,3% e a precipitação média anual é de 1635 mm.

O balanço hídrico apresenta um excedente de 762 mm, e déficit de 3 mm nos meses de julho e agosto, com uma evapotranspiração potencial de 877 mm, e capacidade de armazenamento do solo de 150 mm (Scardua, 1994).

Os solos que compõem a microbacia são latossolos vermelho-escuro e vermelho-amarelo, álicos, com profundidades superiores a 2

metros. Tratam-se de solos porosos com alto grau de floculação das argilas e baixa capacidade de troca catiônica.

Coleta de dados

Inicialmente foi definido o ano hídrico, que se estende do mês de setembro ao mês de agosto. O primeiro conjunto de dados utilizados para este estudo teve início em setembro de 1991 e estendeu-se até agosto de 1997, período considerado para a caracterização da microbacia em condições de cobertura florestal.

A segunda etapa teve início em setembro de 1997 e estendeu-se até agosto de 1998, primeiro ano hídrico após o corte raso. Os resultados obtidos durante este primeiro ano foram comparados aos observados durante os 6 anos anteriores para identificar os efeitos da colheita da madeira sobre o balanço hídrico e a qualidade da água.

Maiores detalhes sobre os métodos utilizados podem ser encontrados em Scardua (1994).

A medição do deflúvio é feita continuamente utilizando-se um linígrafo de rotação semanal. O aparelho localiza-se junto à calha de metal do tipo H, de 45 cm, instalada no final da seção de controle do leito do riacho.

Os linigramas semanais foram digitalizados com a utilização do programa de digitalização Tosca. Os resultados passaram em seguida por um programa para cálculo de vazão em intervalos regulares, para obtenção dos valores diários de vazão.

A precipitação é medida por dois pluviômetros e um pluviógrafo, com resultados obtidos pela média semanal entre os 3 aparelhos. Os pluviômetros localizam-se em clareira próxima

ao vertedor, e o pluviógrafo no posto meteorológico da Estação Experimental, situado a cerca de 1050 metros do vertedor.

O balanço hídrico foi calculado, utilizando-se a equação do balanço hídrico anual:

$$P = Q + ET \pm \Delta S$$

onde: ET = evapotranspiração (mm); P = precipitação (mm)

Q = deflúvio (mm)

ΔS = variação de armazenamento de água no solo (mm)

Considerando-se que a diferença entre o conteúdo inicial e o conteúdo final do armazenamento de água do solo para o ano hídrico foi reduzida ao mínimo, a equação foi simplificada para:

$$ET = P - Q$$

A evapotranspiração potencial registrada pelo tanque classe A, assim como o balanço hídrico de Thornthwaite foram considerados para comparação com o balanço hídrico calculado pelo método do balanço de massa.

Amostras de água do deflúvio foram coletadas semanalmente em coletores localizados junto ao vertedor. Foram feitas análises para determinar a concentração dos elementos Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , e Fe^{++} .

As análises foram realizadas no Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ciências Florestais, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, de acordo com os métodos padronizados pela APHA (1975).

Outros aspectos em estudo sobre a qualidade da água foram a cor, a turbidez, a condutividade elétrica, o pH, e os sedimentos em suspensão.

A turbidez e a cor foram medidas em espectrofotômetro de filtro. A condutividade elétrica foi determinada com a utilização de condutivímetro, e o pH em potenciômetro. Para quantificação dos sedimentos em suspensão, as amostras foram filtradas em membrana de 0,45 mm, e o conteúdo de sedimentos quantificado com base em volume.

Análise dos resultados

O método utilizado para identificar as alterações no deflúvio anual foi o da curva de dupla massa (Lee, 1986), sendo a variável de interesse o deflúvio anual e a variável controle a precipitação anual.

Para identificar as alterações na qualidade da água, foi estabelecido um intervalo de confiança para a média usando o teste "t" (Mann, 1995) com base nos 6 anos de observação anteriores ao corte raso. Os valores em mg/l das concentrações iônicas, bem como os valores de cor, turbidez, condutividade elétrica, pH e sedimentos em suspensão observados no primeiro ano após o corte raso do eucalipto foram comparados ao intervalo estimado para as condições de cobertura florestal. Foram considerados efeitos do corte os valores que se situaram fora do intervalo de confiança estimado para as condições de cobertura florestal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão os valores totais anuais de precipitação e deflúvio durante o período de setembro de 1991 a agosto de 1997 e o total anual de precipitação e deflúvio setembro de

1997 a agosto de 1998, período que caracteriza o primeiro ano hídrico após o corte raso do eucalipto na microbacia do Tinga.

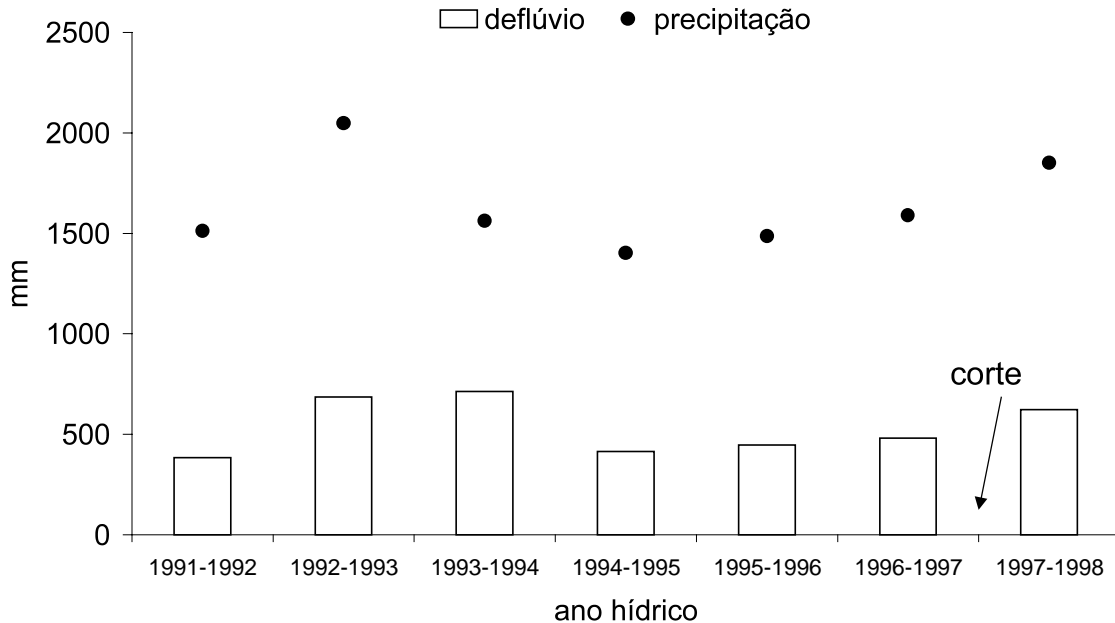


Figura 1. Totais anuais de precipitação e deflúvio durante o período experimental de setembro de 1991 a agosto de 1998.

(Annual amounts of precipitation and streamflow from September 1991 to August 1998)

De acordo com a equação simplificada do balanço hídrico para uma microbacia, pela diferença entre a precipitação e o deflúvio e desconsiderando-se a variação no armazenamento de água no solo, a evapotranspiração média anual na microbacia no período anterior ao corte raso foi estimada em 1061 mm, correspondente a 67% da precipitação média anual do período (1590 mm). Após o corte, a evapotranspiração anual medida foi de 1216 mm, correspondente a 66% da precipitação anual, que alcançou 1838 mm.

Lima (1996) afirma que a fase inicial de crescimento, como ocorre com outras espécies, corresponde ao período em que as plantações de eucalipto demandam as maiores quantidades de água. A eficiência no uso da água corresponde à taxa de biomassa produzida por unidade de água evaporada (Eastham et al., 1990; Rapper et al., 1992). Eastham et al. (1990) estimam que o eucalipto consome cerca de 1000 litros de água para a produção de 1kg de matéria seca.

Considerando a idade da plantação em estudo, pode-se inferir que o consumo de água encontra-se abaixo do esperado para as fases iniciais de crescimento, pelo fato de já ter ultrapassado as etapas de maior acúmulo de biomassa.

A principal causa do aumento do deflúvio após o corte das árvores está relacionada à redução da evapotranspiração. Um dos fatores que afetam a evapotranspiração é o estágio de desenvolvimento da cultura, relacionado ao tamanho da superfície evaporante. Vieira (1998) estimou a proporção da biomassa representada pelas folhas em uma plantação de *E. grandis* com 6 anos em 10%. Para a plantação em estudo, aos 50 anos, esta proporção foi estimada em 4,6%.

Outro aspecto importante relacionado à evapotranspiração é a densidade de plantio. O espaçamento utilizado no plantio foi de 4 x 4 m. Atualmente o número de indivíduos por hectare encontra-se abaixo da densidade inicial, devido à morte de grande número de árvores.

Vital (1996), estudando o efeito do corte raso de uma plantação de eucalipto de sete anos, verificou que a evapotranspiração média anual na microbacia durante os 7 anos anteriores ao corte foi de 89,3 % da precipitação, valores superiores aos observados na microbacia do Tinga, que apresentou durante o período anterior ao corte raso, evapotranspiração média anual de 67 % da precipitação.

Comparando os valores de evapotranspiração observados na microbacia do Tinga aos observados em outras plantações e em florestas naturais, pode-se inferir que a plantação em estudo utiliza água de forma bastante conservativa.

Lima (1996) em revisão sobre o assunto, relata taxas de evapotranspiração de 50, 59, 74 e 78 % da precipitação em florestas tropicais localizadas na Malásia, América Central, Amazônia e Quênia, respectivamente.

Conforme pode ser observado na Figura 1, embora tenha ocorrido um incremento no deflúvio em relação à média dos anos anteriores

ao corte, este valor não excedeu o total registrado nos anos hídricos 1992/93 e 1994/94. Deve-se considerar ainda, que houve uma tendência ao incremento tanto de deflúvio quanto da precipitação nos últimos quatro anos do período de estudo (Figura 2), de forma que este aumento pode estar associado tanto a fatores climáticos como a fatores do manejo.

Na Figura 3 está representada a curva de dupla massa para a microbacia do Tinga. Trimble et al. (1987) destacam a aplicabilidade desta técnica em situações em que se desconsidera o armazenamento de água do solo.

Pela análise visual da curva de dupla massa, pode-se concluir que não houve alteração na correlação entre a precipitação e o deflúvio no primeiro ano após a retirada da cobertura florestal, de forma que o corte das árvores causou baixo impacto sobre a produção anual de água na microbacia.

Em relação à média mensal dos seis anos anteriores ao corte raso, o ano hídrico 1997 –

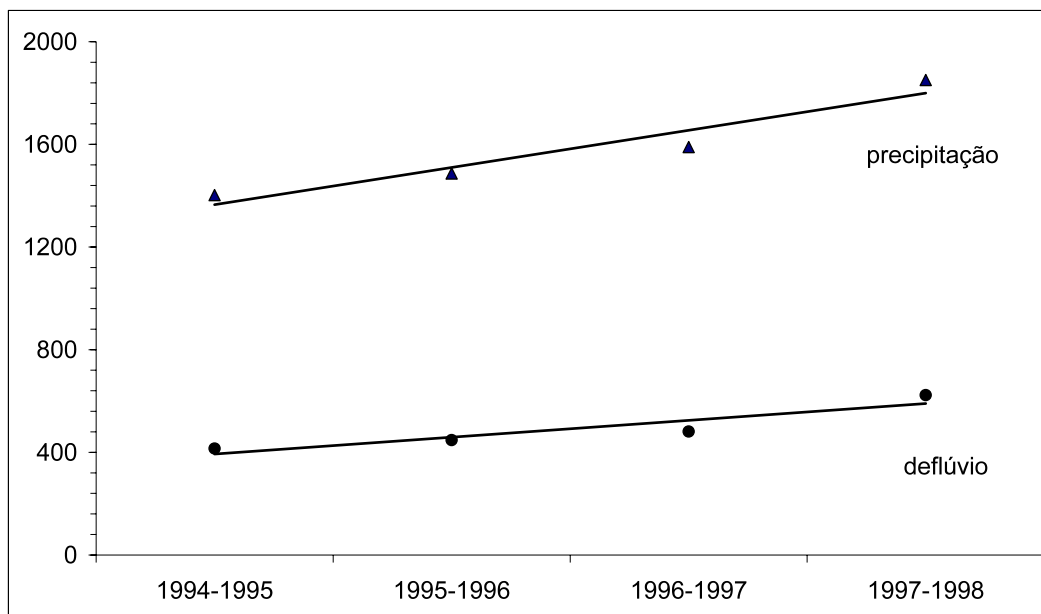


Figura 2. Tendências da precipitação e do deflúvio ao longo dos 4 últimos anos de observação na Microbacia do Tinga (Trends of annual precipitation and streamflow during the last 4 studied years)

Curva de dupla massa para a Microbacia do Tinga

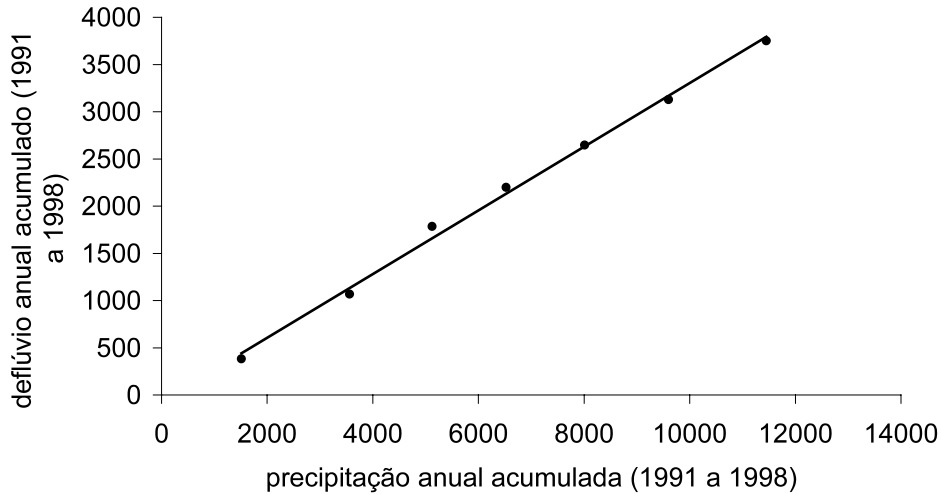


Figura 3. Curva de dupla massa entre os totais anuais acumulados de precipitação e deflúvio na microbacia do Tinga para os 7 anos de observação

(Double mass curve between the annual cumulative amounts of precipitation and streamflow during the 7 years experimental period)

1998 apresentou totais mensais superiores, o que pode ser observado na Figura 4, onde estão representadas as médias mensais acumu-

ladas dos seis anos anteriores ao corte raso, e os totais mensais acumulados no primeiro ano após o corte raso. Entretanto, quando compa-

Deflúvio médio mensal acumulado de 1991 a 1997 e deflúvio mensal acumulado de 1997 a 1998

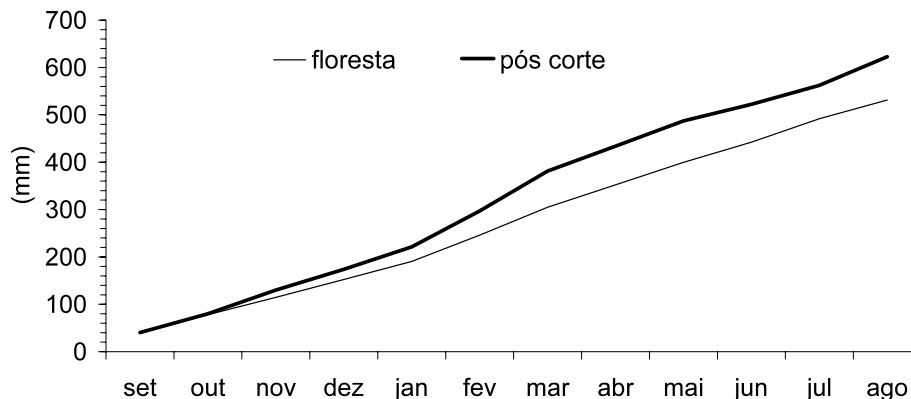


Figura 4. Valores de deflúvio mensal acumulado obtido a partir das médias mensais dos 6 anos de observação anteriores ao corte raso (eucalipto) e valores de deflúvio mensal acumulado durante o primeiro ano após o corte (pós-corte)

(Mean cumulative monthly amounts of streamflow during the 6 years pre-harvest period and monthly cumulative amounts of streamflow during the first year after clearcutting)

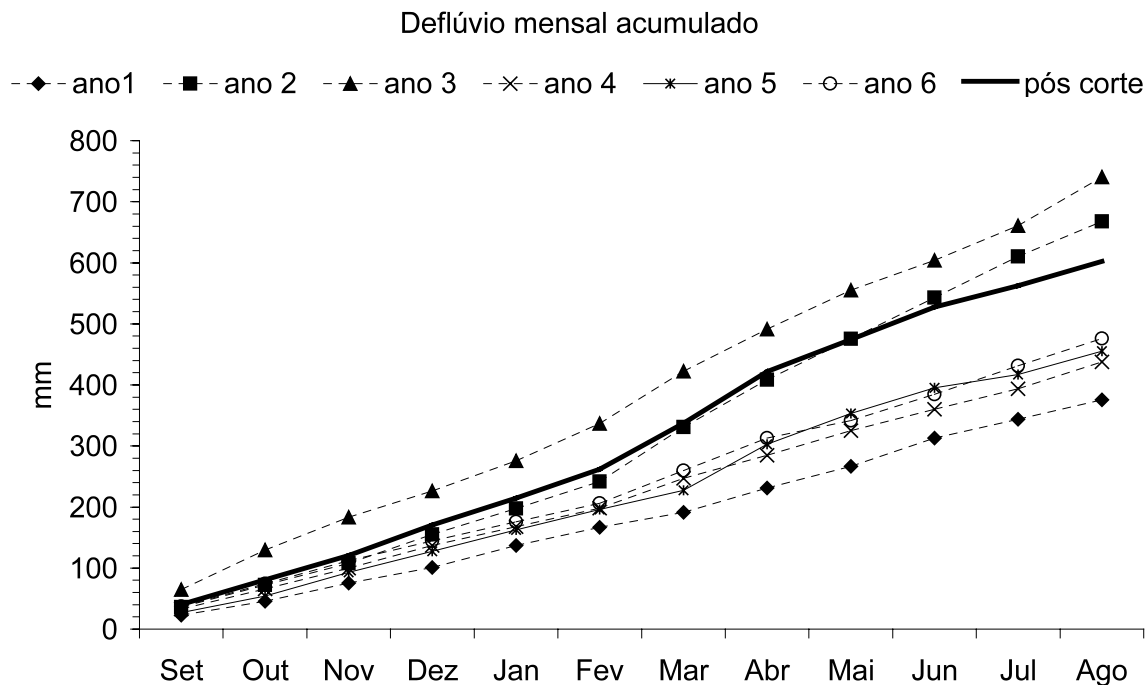


Figura 5. Valores de deflúvio mensal acumulado obtido a partir dos valores mensais dos 6 anos de observação anteriores ao corte raso e valores de deflúvio mensal acumulado durante o primeiro ano após o corte (pós-corte)

(Monthly cumulative streamflow during the 6 years pre-harvest period and monthly cumulative streamflow during the first year after clearcutting)

rado a cada um dos anos individualmente (Figura 5), o deflúvio mensal durante o período pós corte manteve-se dentro do intervalo de valores registrados durante os seis anos anteriores ao corte.

Nos resultados médios mensais observa-se um aumento do deflúvio em relação aos anos anteriores. Entretanto, o ano hídrico 1992-93 apresentou valores superiores em todos os meses. Estes dois anos apresentaram também precipitações superiores, sendo que durante o ano de 1992 a 1993 foi registrada a maior precipitação anual do período, resultando em uma resposta em termos de incremento de vazão no ano posterior.

Na Tabela 1 estão os valores de evapotranspiração calculados pelo método do balanço de massa, e a evapotranspiração potencial segundo Thornthwaite e Mather e do tan-

que Classe A para o período de setembro de 1991 a agosto de 1997, período anterior ao corte raso.

Comparando-se os resultados do balanço hídrico obtidos pelo método de Thornthwaite e Mather e do balanço de massa, este último apresenta um total anual superior. Deve-se considerar, entretanto, que nos valores de evapotranspiração obtidos pelo balanço de massa estão embutidas as variações do armazenamento de água no solo. A contribuição da água armazenada no solo para a manutenção do deflúvio pode ser verificada nos meses de julho e agosto, quando os valores de ET são negativos, significando que o deflúvio nesses meses foi alimentado pela água armazenada no solo. De acordo com a caracterização climática do local (Scardua, 1994), este período coincide com a época de déficit hídrico na

Tabela 1. Médias mensais de evapotranspiração obtidas pelo método do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather, tanque classe A e balanço de massa para os 6 anos anteriores ao corte raso

(Monthly means of evapotranspiration calculated by Thornthwaite e Mather, evaporation pan and mass balance methods during the 6 years pre-harvest period)

	Thornthwaite e Mather	Tanque classe A	Balanço de massa
Set	74,52	88	70,62
Out	82,4	103	123,73
Nov	93,86	111	91,69
Dez	101,2	101	134,66
Jan	107,64	143	251,63
Fev	93,7	96	192,88
Mar	90,01	85	103,74
Abr	69,29	72	74,27
Mai	57,78	61	40,88
Jun	49,88	74	14,08
Jul	53,08	46	-18,47
Ago	62,21	64	-12,73
total	919	1044	1067

região de Itatinga. Quando comparado ao método do tanque classe A, que representa a evapotranspiração potencial para a área, o balanço de massa apresentou uma diferença de apenas 2,2%. Considerando as diferentes variáveis, tanto climáticas como de solo envolvidas nos métodos do tanque classe A e de Thornthwaite e Mather em relação ao método do balanço de massa, pode-se considerar que os resultados anuais obtidos pelos 3 métodos foram semelhantes.

A partir destes resultados, associados às características da plantação em estudo, pode-se concluir que esta apresentava baixo consumo de água em relação às plantações mais jovens, assim como valores normais de evapotranspiração. Desta forma, os baixos incrementos no deflúvio após o corte raso refletem uma condição de equilíbrio entre a antiga cobertura florestal e o regime climático local.

Qualidade da água: aspectos químicos

A retirada da cobertura florestal normalmente vem associada a alterações na qualidade da água. Dependendo da intensidade das atividades podem ocorrer incrementos nas concentrações de nutrientes no deflúvio.

Ao longo do período foi observada uma tendência à redução nos valores de concentração média anual de potássio, cálcio, e magnésio, ocorrendo o inverso para o ferro.

Na Figura 6 estão os valores das concentrações mensais de nutrientes na água do deflúvio observadas no primeiro ano após o corte raso e o intervalo de confiança estimado para os valores de concentração de nutrientes em condições de cobertura florestal.

Os valores de concentração de nutrientes encontram-se abaixo dos encontrados por Arcova e Lima (1985), em condições de floresta natural e também aos observados por Oliveira (1989), em microbacias recobertas por pastagem e pinheiros tropicais. Azevedo (1995), estudando características da água do deflúvio em microbacias com pastagem, floresta natural e *Eucalyptus*, encontrou valores superiores aos observados na microbacia do Tinga. Vital (1996) observou um aumento na concentração de Ca, Mg e Fe após o corte do eucalipto, enquanto K e Na apresentaram concentrações menores após o corte. Estes resultados indicam a grande variabilidade das características químicas das águas em microbacias contendo diferentes coberturas vegetais. Além do aspecto da cobertura vegetal, as demais características da microbacia, como o tipo de solos, o relevo e as variáveis climáticas também devem ser consideradas na interpretação da resposta às operações silviculturais em termos de qualidade da água.

Os solos da microbacia, Latossolos vermelho-escuro e vermelho-amarelo, apresentam teores elevados a médios de Fe_2O_3 , caracterís-

tica que pode ser observada pelo aumento das concentrações de Ferro na água do deflúvio durante os meses de maior precipitação ao longo de todo o período de estudo. As elevadas concentrações deste elemento observadas no mês de agosto, após o corte do eucalipto, podem estar associadas ao transporte de substâncias húmicas, decorrentes da decomposição da biomassa que permaneceu sobre o solo após a colheita da madeira.

De acordo com os resultados observados, o corte raso não causou grande alteração nas concentrações de nutrientes da água do deflúvio. Foram observados aumentos significativos na concentração dos íons Mg^{++} , Fe^{++} e K^+ nos meses de janeiro e fevereiro, quando ocorreram também as maiores precipitações.

Foram observados inclusive valores de concentração de cálcio inferiores aos estimados pelo intervalo de confiança para as condições de cobertura florestal, resultado semelhante ao observado por Aubertin e Patric (1974). Tiedemann et al. (1988) estudando o efeito do corte da floresta em 3 microbacias das quais foi retirada 41% da área basal na primeira, 17% da área basal na segunda e na terceira, onde foi realizado corte seletivo, não observaram alterações nas concentrações deste elemento após os tratamentos. Também Aubertin e Patric (1974), em estudo sobre o efeito do corte raso sobre a qualidade da água, não observaram alterações na concentrações de magnésio e ferro após o corte raso.

Os resultados observados no presente estudo podem estar relacionados à redução do tempo de residência da água na microbacia. A retirada da cobertura florestal favorece o aumento do escoamento superficial, devido à ausência do processo de interceptação de água pela copa das árvores, e à alteração nas condições de infiltração de água no solo.

De acordo com O'Loughlin (1981), o escoamento superficial está associado ao transporte de nutrientes depositados em uma camada

superficial do solo, destacando-se o fósforo retirado das partículas de argila e o potássio, ligados à matéria orgânica. Já os íons solúveis são transportados via fluxo subsuperficial, que atravessa o perfil do solo, podendo ter suas concentrações reduzidas com o aumento do escoamento superficial. Estas observações são condizentes com o resultado do presente estudo, especialmente em relação aos incrementos nos teores de K e Mg e reduções nos teores de Na após o corte.

Com relação à redução nos teores de cálcio, este resultado pode estar relacionado à assimilação deste nutriente pela rebrota das árvores, processo que pode estar associado de forma geral, ao impacto relativamente menor do corte raso sobre os aspectos químicos da qualidade da água.

Binkley e Brown (1981) destacam que os principais processos que promovem a alteração nas características da água da chuva e do deflúvio são a lavagem de nutrientes depositados na superfície das folhas e tronco e a lixiviação de nutrientes constituintes das folhas, de forma que o contato com a superfície vegetal pode causar um significativo aumento nas concentrações de nutrientes que atingem o canal. Com a retirada da cobertura florestal a microbacia perde a contribuição que este processo vinha proporcionando em termos de entrada de nutrientes.

A manutenção da camada orgânica no local também pode atuar como um fator de manutenção da qualidade da água, protegendo o solo da erosão. Meguro et al. (1979) estimaram o tempo necessário para decomposição de 50% do folheto depositado em região de mata mesófila secundária em 9 a 10 meses. Considerando a velocidade de decomposição do folheto depositado pelo eucalipto, pode-se esperar um período mais longo para a decomposição, devido à composição do material, com maiores teores de lignina conferindo ao litter maior resistência e também à menor diversidade

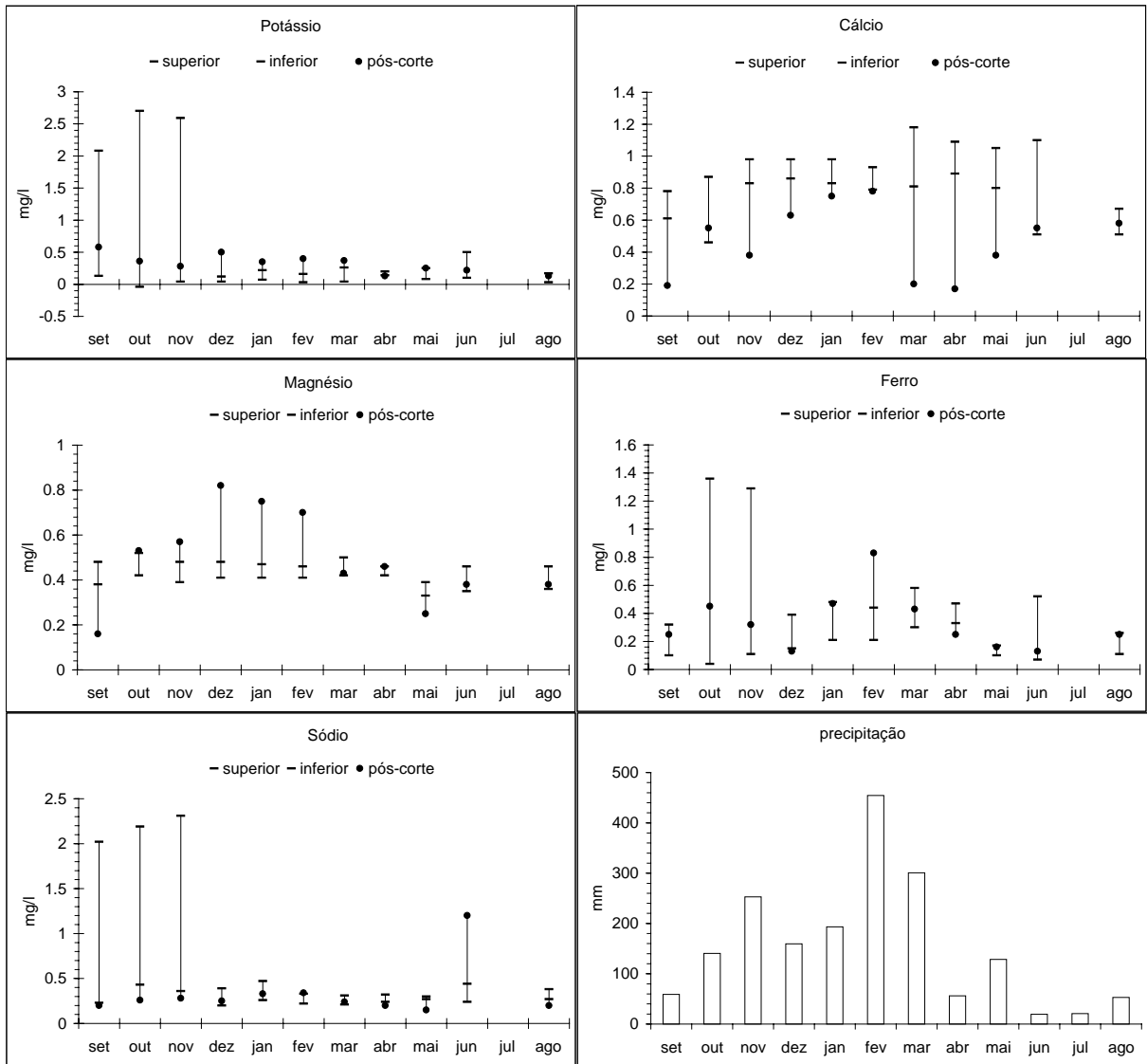


Figura 6. Limites superior e inferior do intervalo de confiança estimado para as concentrações de nutrientes na água do deflúvio para as condições de cobertura florestal ($t = 0,95$) e valores observados durante o primeiro ano após o corte

(Confidence intervals estimated for dissolved ions concentrations during the pre-harvest period ($t = 0,95$) and observed concentrations during the first year after clearcutting)

de de espécies presentes no solo sob plantação homogênea em relação à floresta natural. Poggiani (1992) destaca que a velocidade na decomposição da serapilheira em florestas naturais ou plantações depende em parte da própria constituição química do material vegetal, e que a diversidade biológica favorece a cadeia alimentar ampliando a diversidade de organis-

mos e microorganismos que colaboram na decomposição. Possivelmente o efeito da liberação dos nutrientes da serapilheira, que também pode afetar a qualidade da água demandaria um período de observação superior a um ano, de forma que os efeitos deste processo devem ser considerados a longo prazo.

Sedimentos em suspensão e perdas de solo

O escoamento superficial constitui um dos principais agentes de erosão do solo. As atividades que envolvem grandes danos à superfície do solo, como a remoção da serapilheira pelo arraste de toras e o tráfego de máquinas, podem acentuar este processo, tanto pela exposição do solo ao impacto da chuva como também por limitar sua atuação favorável à infiltração da água no solo. Hornbeck e Federer (1975) sugerem que em qualquer operação silvicultural a proteção do piso florestal é fundamental para evitar a erosão do solo.

Alguns estudos destacam que práticas de manejo tais como a construção de estradas e o preparo intensivo do solo têm grande potencial para causar erosão e sedimentação dos cursos d'água (Binkley e Brown, 1981; Belt e O'Laughlin, 1994).

As concentrações de sedimentos em suspensão no riacho Tinga mantiveram-se entre 0,5 e 19,7 mg/l durante os 6 anos de estudos

anteriores ao corte do eucalipto. Após o corte, a menor concentração observada foi de 1,5 mg/l, e a maior de 15,9 mg/l.

Embora a concentração máxima observada após o corte raso seja inferior à máxima observada no período anterior, pelos resultados observados na Figura 7, pode-se observar que houve um aumento significativo na produção de sedimentos ao longo do ano, indicando maior suscetibilidade da microbacia à erosão do solo após o corte das árvores.

De acordo com o intervalo de confiança estabelecido para as perdas totais de sedimentos durante os anos de estudo, pode-se concluir que o aumento na produção de sedimentos em suspensão na água do riacho foi o impacto mais notado sobre a qualidade da água da microbacia. Os valores observados tanto na concentração de sedimentos na água do deflúvio como no fluxo total de sedimentos superaram os valores máximos estimados para o

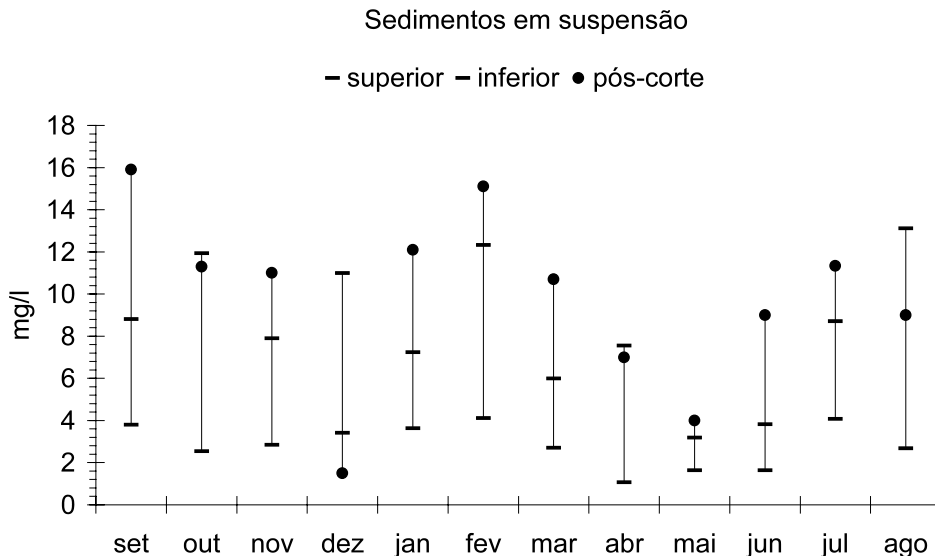


Figura 7. Limites superior e inferior do intervalo de confiança estimado para concentrações médias mensais de sedimentos em suspensão na água do deflúvio em condições de cobertura florestal ($t = 0,95$) e valores observados durante o primeiro ano após o corte raso

(Confidence intervals estimated for suspended sediment monthly mean values during pre-harvest period ($t = 0,95$) and observed values during the first year after clearcutting)

valor médio mensal deste parâmetro para a microbacia em condições de cobertura florestal.

Estes incrementos na concentração de sedimentos ao longo do ano resultaram em um aumento nas perdas anuais de solo da ordem de 52,7% em relação à média dos anos anteriores ao corte, que foi estimada em 28,68 kg ha⁻¹.

O limite superior do intervalo de confiança previsto para a produção anual de sedimentos em suspensão para a microbacia em condições de cobertura florestal foi de 44 kg/ha.ano⁻¹, enquanto o valor observado no primeiro ano após o corte raso foi de 60,6 kg. ha⁻¹.

Na Figura 8 estão os valores de precipitação anual e as perdas anuais de sedimentos ocorridas no período experimental de agosto de 1991 a setembro de 1997 (anterior ao corte raso) e de setembro de 1997 a agosto de 1998 (após o corte).

Hornbeck e Federer (1975) destacam a habilidade do piso florestal em proteger o solo

contra a erosão e subsequente sedimentação dos rios. Na microbacia do Tinga, apesar da manutenção da camada orgânica depositada sobre o solo, esta não foi suficiente para manter a produção de sedimentos dentro dos intervalos de valores estimados para as condições de cobertura florestal, o que sugere a necessidade de adoção de outras práticas de manejo que possam, em conjunto atenuar este processo após a colheita da madeira.

Cor, turbidez, condutividade elétrica e pH

Entre os parâmetros considerados para monitoramento da qualidade da água, os sedimentos em suspensão e a turbidez, que pode ser considerada uma medida óptica da concentração de sedimentos, foram os que mostraram maiores alterações após a colheita da madeira.

Na Figura 9 estão os valores mínimos e máximos do intervalo de confiança para a média mensal estimados para os parâmetros fisi-

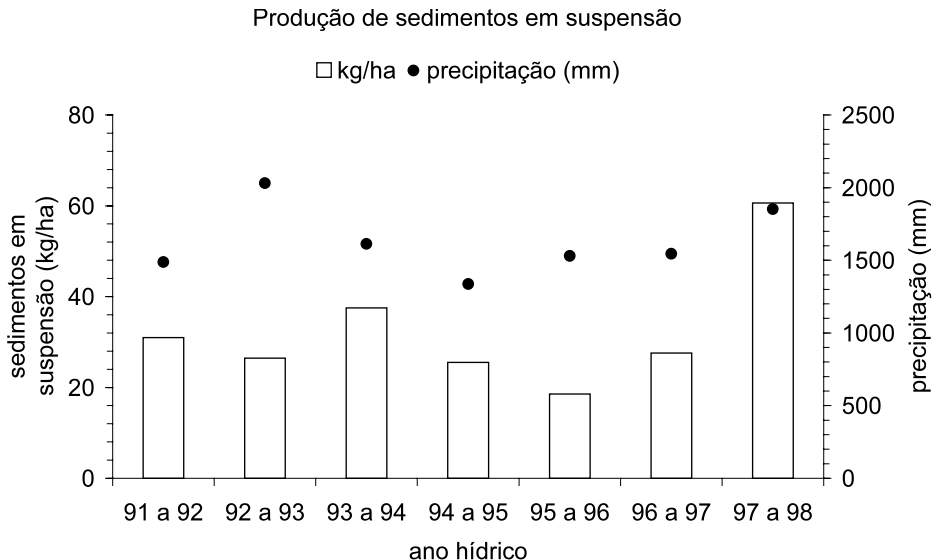


Figura 8. Totais anuais de perda de sedimentos em suspensão (kg. ha⁻¹) na microbacia do Tinga durante o período de setembro de 1991 a agosto de 1997 (anterior ao corte) e de setembro de 1997 a agosto de 1998 (após o corte) e totais anuais de precipitação (mm).

(Annual amounts of suspended sediment (kg. ha⁻¹) in the streamflow from September 1991 to August 1997 (pre-harvest period) and September 1997 to August 1998 (after clearcutting))

cos de qualidade da água nas condições de cobertura florestal e os valores observados durante o primeiro ano após o corte do eucalipto.

Observa-se um aumento mensal significativo para os parâmetros cor e turbidez. Os valores de pH mantiveram-se entre 5 e 7, estando dentro da variação de valores médios considerados para águas naturais (Hem, 1970), apresentando reduções significativas em apenas 4 meses após o corte raso.

A condutividade elétrica não apresentou grandes variações durante o período experimental. Os valores inferiores aos esperados após o corte raso podem estar associados à redução nas concentrações iônicas observadas no deflúvio. De acordo com Binkley e Brown (1981), a condutividade elétrica depende da quantidade total de íons dissolvidos na água, e pode fornecer uma boa indicação de como as práticas florestais alteram as características químicas da água. Kochenderfer e Aubertin (1975) destacam que os valores de condutividade, embora não dêem indicações de quais íons estão presentes na água, refletem alterações da sua concentração iônica. De acordo com o autor, a colheita da madeira em uma microbacia pode ser realizada sem que os valores deste parâmetro sejam alterados. Aubertin e Patric (1974) verificaram que o corte realizado em diferentes proporções de microbacias, tomando precauções para evitar distúrbios acentuados no solo, mantendo a faixa ciliar e com localização adequada de estradas, não causou alterações na condutividade, no pH e manteve baixos níveis de sedimentos em suspensão na água do deflúvio.

Oliveira (1989) observou uma correlação entre a cor, turbidez e as concentrações de ferro na água do deflúvio em microbacias contendo diferentes coberturas florestais. Resultados semelhantes foram observados na microbacia do Tinga em relação à cor e turbidez, parâmetros que se mostraram bons indicadores do efeito da atividade florestal sobre a qua-

lidade da água. Em relação aos aspectos físicos de qualidade da água, estes parâmetros foram os mais afetados pela colheita da madeira e indicam um impacto desta operação sobre a hidrologia da microbacia.

Indicadores de qualidade da água

A qualidade da água produzida em uma microbacia é resultado de diversos fatores. As operações de manejo florestal vêm se somar a esse complexo conjunto de variáveis, de forma que do ponto de vista experimental a separação dos efeitos das operações de manejo realizadas em uma microbacia daqueles decorrentes de variações naturais do ecossistema se torna muito difícil, especialmente quando o período de caracterização é pequeno.

A partir dos resultados obtidos durante os 6 anos de calibração da microbacia do Tinga algumas considerações podem ser feitas quando se busca identificar os melhores indicadores da qualidade da água.

Os intervalos de confiança foram estimados com o objetivo de abranger toda a variação das médias mensais e totais anuais nos resultados observados durante o período em que a microbacia mantinha a cobertura florestal. Como durante o período não foi realizada qualquer intervenção silvicultural, as variações nos resultados são decorrentes de fatores ambientais.

Os intervalos mais amplos refletem maior sensibilidade aos fatores naturais do ambiente. Desta forma, os parâmetros que apresentaram esta característica não constituem bons indicadores. Já aqueles que apresentaram intervalos mais estreitos não tiveram tamanha variabilidade no período anterior ao corte raso, de forma que os valores situados fora do intervalo após o corte têm maior probabilidade de estarem associados a esta operação.

Dentre os parâmetros químicos foram considerados melhores indicadores em primeiro lugar o magnésio, seguido pelo cálcio. Já os parâmetros físicos apresentaram, de forma geral, menor variação no período anterior ao corte e tiveram maiores alterações após o corte raso. Entre estes parâmetros, mostraram-se melhores indicadores a turbidez, a cor e a

condutividade elétrica. Além de apresentarem menor variação durante o período pré corte, as observações durante o primeiro ano após o corte raso estiveram fora dos intervalos previstos para as condições de cobertura florestal, indicando maior sensibilidade a esta operação de manejo.

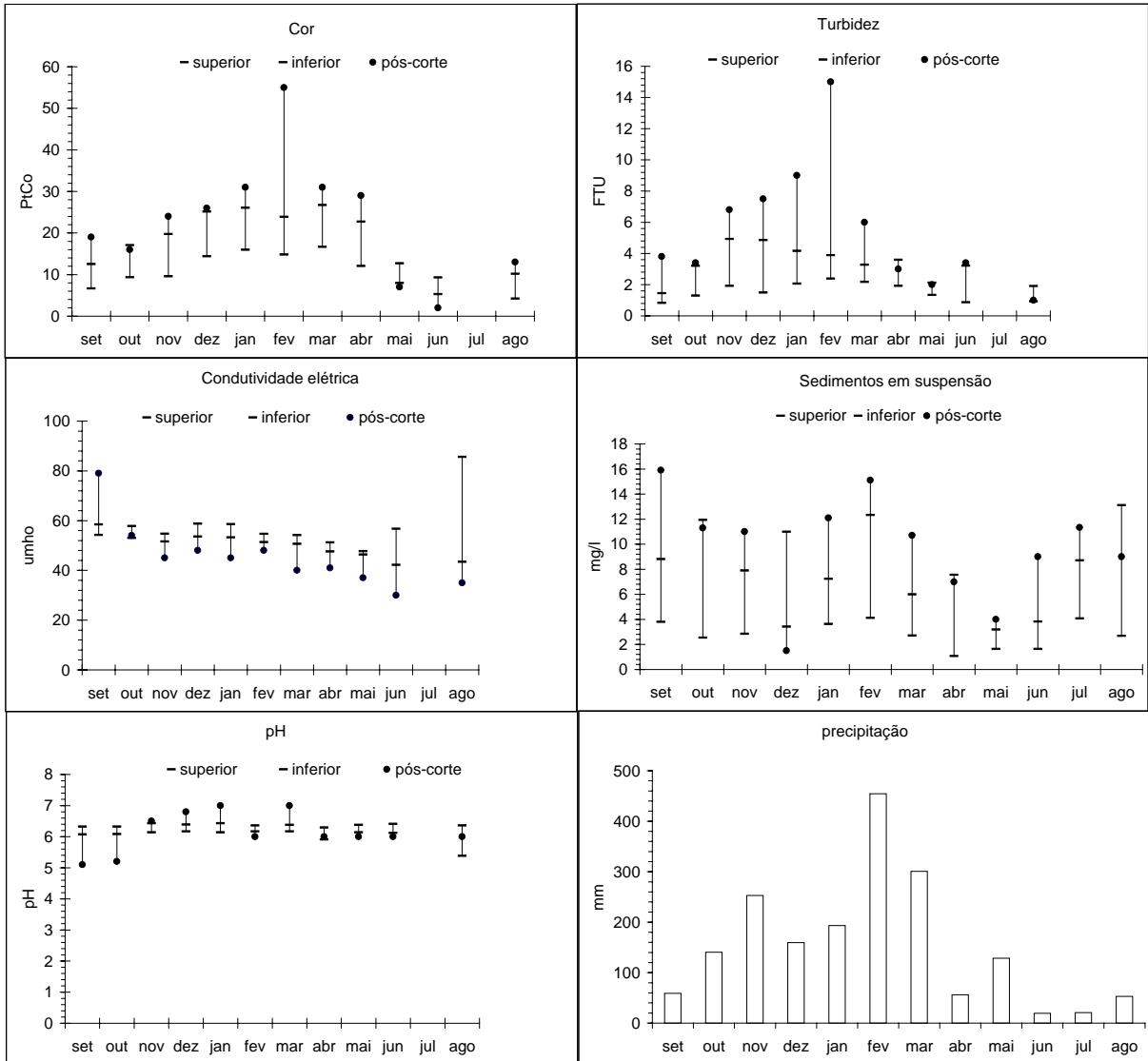


Figura 9. Limites superior e inferior do intervalo de confiança estimado para os valores de cor (PtCo), turbidez (FTU), condutividade elétrica (mmho) e pH na água do deflúvio em condições de cobertura florestal ($t = 0,95$) e valores observados durante o primeiro ano após o corte raso

(Confidence intervals for the values of color (PtCo), turbidity (FTU), electric conductivity (mmho) and pH during the pre-harvest period ($t = 0,95$) and observed values during the first year after clearcutting)

CONCLUSÕES

O impacto do corte raso do eucalipto sobre a produção de água na microbacia foi baixo, relativamente a resultados obtidos em outros estudos similares. Este resultado foi associado a algumas características da plantação, como por exemplo, o estágio de desenvolvimento das árvores, já em declínio e conseqüentemente sem grande consumo de água para incorporação de biomassa; a menor superfície evaporante, proporcionada pela baixa densidade de indivíduos e pela menor proporção de biomassa concentrada nas folhas, característica da idade da plantação, o que proporcionou uma taxa de evapotranspiração inferior à observada em plantações mais jovens.

Com relação aos aspectos químicos da qualidade da água, o aumento nas concentrações iônicas na água do deflúvio em relação ao período anterior ao corte foi bastante discreta, e observada em apenas 4 dos meses posterior-

es ao corte raso, concentrando-se, para os 5 elementos em estudo, nos períodos de maior precipitação (dezembro a fevereiro). Os aspectos do manejo considerados importantes para o baixo impacto sobre estes aspectos foram a forma lenta e gradual em que foi realizado o corte, a manutenção da camada orgânica do solo favorecida pelo restrito uso de máquinas, sem a abertura de novas estradas, a regeneração das árvores e a manutenção da mata ciliar.

Os parâmetros físicos de qualidade da água foram os mais afetados pelo corte raso. Destacam-se a produção de sedimentos em suspensão, a turbidez e a cor. Apesar das características da operação de colheita da madeira, a produção de sedimentos e a turbidez foram significativamente superiores ao longo de todo o ano após o corte em relação aos seis anos anteriores.

AUTORES E AGRADECIMENTOS

CARLA DANIELA CÂMARA é Engenheira Florestal, Mestre em Ciências Florestais pela ESALQ/USP. Departamento de Ciências Florestais – ESALQ/USP – Caixa Postal 9 – Piracicaba, SP – 13400-970 – E-mail: cdcamara@carpa.ciagri.usp.br

WALTER DE PAULA LIMA é Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais – ESALQ/USP – Caixa Postal 9 – Piracicaba, SP – 13400-970 – E-mail: wplima@carpa.ciagri.usp.br

Agradecimentos aos Professores João Luiz Ferreira Batista e José Luiz Stape do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, ao Engenheiro Florestal Rildo Moreira e Moreira e ao Sr. Lourival Firmiano, da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, à CNPq e à FAPESP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A.P.; RIEKERK, H. Water balance of *Eucalyptus globulus* and *Quercus suber* forest stands in South Portugal. **Forest ecology and management**, v.38, p.55-64, 1990.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standards methods for the examination of water and wastewater**. Washington, 1975. 1193p.

- ARCOVA, F.S.C. ; LIMA, W.P. Balanço dos nutrientes Ca^{+2} , Na^{+2} , K^{+1} e NO_3^{-1} em bacia hidrográfica experimental com vegetação natural do Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo de Cunha, SP. **IPEF**, n.31, p.61-67, 1985.
- AUBERTIN, G.M.; PATRIC, J.H. Water quality after clearcutting a small watershed in West Virginia. **Journal of environmental quality**, v.3, n.3, p.243-249, 1974.
- AZEVEDO, E.C. **Vazão e características físicas e químicas do deflúvio de microbacias hidrográficas cobertas com mata nativa pastagem e *Eucalyptus grandis***. Viçosa, 1995. 92p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- BELT, G.H.; O'LAUGHLIN, J. Buffer strip design for protecting water quality and fish habitat. **Western journal of applied forestry**, v.9, n.2, p.41-45, 1994.
- BINKLEY, D. ; BROWN, T.C. Management impacts on water quality of forests and rangelands. In: HAMMER, M.J.; KENNETH, A. **Hydrology and water quality of water resources**. New York: John Wiley, 1981. p.88-98
- BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of hydrology**, v.55, p.3-23, 1982.
- DOUGLAS, J.E.; SWANK, W.Y. Effects of management practices on water quality and quantity: Coweeta Hydrologic Laboratory, North Carolina. **USDA. Forest Service. NE general technical report**, n.13, 1975.
- EASTHAM C. V. et al. Planting density effects on water use efficiency of trees and pasture in an agroforestry experiment. **New Zealand journal of forest science**, v.20, n.1, p.39-53, 1990.
- HEM, J.D. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. Washington: U.S. Geological Survey, 1970. (Water supply paper, n.1973)
- HORNBECK, J.; FEDERER, C. An effect of management practices on water quality and quantity: Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. **USDA. Forest Service. NE general technical report**, n.13, p.58-65, 1975.
- KOCHENDERFER, J.N.; AUBERTIN, G.M. Effects of management practices on water quality and quantity: Fernow Experimental Forest, West Virginia. **USDA. Forest Service. NE general technical report**, n.13, p.14-24, 1975.
- LEE, R. **Forest hydrology**. New York: Columbia University Press, 1986. 349p.
- LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: EDUSP, 1996. 301p.
- MANN, P.S. **Introductory statistics**. New York: John Wiley, 1995. 800p.
- MEGURO, M.; VINUZIA, G.N.; DELITTI, W.B.C. Ciclagem de nutrientes na mata mesófila secundária: 1- produção de conteúdo de nutrientes minerais no folheto. **Boletim de botânica da Universidade de São Paulo**, v.7, p.11-31, 1979.
- OLIVEIRA, F.A. **Produção e qualidade da água em microbacias contendo diferentes coberturas vegetais na região de Agudos**. Piracicaba, 1989. 96p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- O'LOUGHLIN, E.M. Water pathways through catchments and their relation to nutrient losses. In: IUFRO. **Workshop on water and nutrient simulation models**. Birmensdorf, 1981. p.123-134.
- POGGIANI, F. Alterações dos ciclos biogeoquímicos em florestas. **Revista do Instituto Florestal**, v.4, p.734-739, 1992.
- POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Atmospheric inputs compared with nutrients removed by harvesting from *Eucalyptus* plantation: implications for sustainability. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, Salvador, 1997. **Anais**. Colombo: EMBRAPA/CNPF, 1997. v.4, p.68-74.
- RAPPER, S.M.; STONBECK, K.; MOSS, I.A. Water use efficiency and transpiration of *Robinia*, *Liquidambar* and *Platanus* sprouts in the Southeastern USA. **Forest ecology and management**, v.51, p.259-268, 1992.
- ROGICK, A. Efeitos ambientais do eucalipto. **Ambiente**, n.59, p.38-41, 1996.
- SCARDUA, F.P. **Caracterização hidrológica de uma microbacia hidrográfica experimental da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, ESALQ/USP**. Piracicaba, 1994. 93p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- TIEDEMANN, A.R.; QUIGLEY, T.M.; ANDERSON, T.D. Effects of timber harvest on stream chemistry and dissolved nutrient losses in Northeast Oregon. **Forest science**, v.34, n.2, p.344-358, 1988.

TRIMBLE, S.W.; WEIRICH, F.H.; HOAG, B.L. Reforestation and the reduction of water yield on the Southern Piedmont since circa 1940. **Water resources research**, v.23, n.3, p.425-437, 1987.

VIEIRA, S.A. **Efeito das plantações florestais (Eucalyptus sp.) sobre a dinâmica de nutrientes em região de cerrado do Estado de São Paulo.** Piracicaba, 1998. 74p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.

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