

MONITORAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS EM ÁREAS FLORESTADAS

WALTER DE PAULA LIMA

Departamento de Ciências florestais da ESALQ/USP

MARIA JOSÉ BRITO ZAKIA
IPEF

INTRODUÇÃO

De acordo com os preceitos básicos embutidos na Agenda 21, parece claro que não há mais lugar para um empreendimento florestal que não esteja fundamentado na sustentabilidade.

O conceito de manejo florestal sustentável envolve aspectos econômicos, sociais e ecológicos. Do ponto de vista ecológico, a sustentabilidade deve envolver medidas de planejamento do manejo florestal que contemplem pelo menos os seguintes aspectos fundamentais:

- a) Manutenção dos processos ecológicos essenciais da paisagem;
- b) A preservação da biodiversidade;
- c) Manutenção da capacidade natural de suporte do solo.

As medidas práticas de manejo florestal que possibilitam o alcance destes três conjuntos de fatores classificam-se em várias categorias, mas não podem ser consideradas isoladamente. Em escala micro, estas medidas iniciam-se pela preocupação para com a própria superfície do solo, em termos da manutenção de sua estrutura e propriedades hidrológicas. Gradativamente, a escala de preocupação deve ir aumentando, passando pelo sistema de preparo do solo, de plantio, das práticas de conservação do solo, de proteção de encostas e de outras áreas críticas da microbacia, da proteção das cabeceiras e dos riachos através da mata ciliar, da perpetuação do capital de nutrientes do solo e, numa escala mais macro, do arranjo estrutural dos plantios ao longo da paisagem, visando contribuir para com a perpetuação da biodiversidade (Clinnick, 1985; Zwolinski, 1991; Hansen et al., 1991; Ziemer et al., 1991; Menzel, 1991; Sidle & Sharpley, 1991; Shaxson et al, 1989; Gregory et al, 1991; Gillis, 1990; Lima, 1993).

Evidentemente que estas medidas todas devem ser consideradas não como garantia da sustentabilidade ecológica, mas sim como indicadoras da qualidade do manejo florestal, dentro de preceitos que hoje se reconhece como ambientalmente adequados. Como corolário, um outro aspecto importante do manejo sustentável diz respeito à necessidade do monitoramento dos impactos ecológicos, visando a obtenção de informações e resultados que possam estar continuamente retroalimentando o planejamento do manejo florestal.

A MICROBACIA HIDROGRÁFICA COMO ÁREA PILOTO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

A microbacia hidrográfica, como unidade natural da paisagem, vem demonstrando cada vez mais sua condição singular e muito conveniente de definição espacial de um ecossistema, dentro da qual é possível o estudo detalhado das interações entre o uso da terra e a qualidade da água (Nelson, 1973; Likens, 1985; Adams, 1993; Brechtel & Fuhrer, 1994).

Como uma manifestação bem definida de um sistema natural aberto, a microbacia hidrográfica funciona através de contínua troca de energia e de matéria com o meio, de sorte que a qualidade final da água do riacho é o resultado integrado de todos os fatores intrínsecos de cada microbacia, inclusive de sua cobertura vegetal (Walling, 1980).

Uma outra característica importante da microbacia, para esta finalidade, reside no fato de que, como ecossistema aberto e de contornos bem definidos, ela não se encontra normalmente em equilíbrio. Ao contrário, sua dinâmica manifesta-se através de uma contínua condição transiente. Desta forma, seu funcionamento hidrológico é altamente complexo e bastante estável, no sentido de que tem condições de suportar perturbações naturais quando em boas condições de proteção florestal. Por essa mesma razão, a microbacia é, também, altamente vulnerável a perturbações, cujas alterações se refletem na qualidade da água (Perry & Maghembe, 1989).

O uso de microbacias hidrográficas como unidades experimentais teve início por volta do começo deste século em vários países, e os inúmeros resultados já obtidos mostram, cabalmente, que o uso da terra e as atividades florestais podem afetar não apenas a quantidade e o regime da vazão, assim como a qualidade da água. Muito mais importante, todavia, são as evidências demonstradas em vários trabalhos experimentais de que é perfeitamente possível, como base no conhecimento do funcionamento da microbacia, realizar todas as operações necessárias à produção florestal com um mínimo de impacto à qualidade da água (Aubertin & Patric, 1974).

É neste aspecto que reside o fundamento da proposta de se estabelecer um programa permanente de monitoramento da qualidade (e também da quantidade) da água através do uso de microbacias piloto, ou experimentais. Primeiro, porque se trata de um método preciso, já demonstrado em inúmeras situações e condições, de se poder realmente atribuir o efeito à causa (relação entre o uso florestal e a qualidade da água). Segundo, porque a microbacia experimental pode servir como laboratório natural para estudos de médio e longo prazo, visando a comparação de diferentes práticas de manejo, na busca de critérios de manejo florestal que sejam compatíveis com a minimização de impactos ambientais visando a sustentabilidade. Terceiro, porque permite a obtenção de resultados comparativos, confrontando-se, por exemplo, resultados entre uma microbacia testemunha (contendo floresta natural, ou não perturbada, por exemplo), com outra microbacia submetida a uma determinada prática de manejo florestal. Basicamente, o estabelecimento de uma microbacia experimental consiste na seleção de uma microbacia que atenda a alguns requisitos-chaves para este tipo de trabalho, de acordo com os seguintes critérios fundamentais:

- a) Ser representativa da geomorfologia da região;
- b) Ter tamanho adequado (se muito grande, não é mais microbacia; se muito pequena, talvez não tenha fluxo perene);
- c) Ser, evidentemente, representativa quanto aos padrões de uso florestal da empresa;
- d) Com vazão perene;
- e) Condições de acesso adequadas;

f) Condições adequadas para a instrumentação mínima necessária.

Selecionada uma microbacia, o próximo passo seria a escolha adequada de um ponto, ou de um trecho ao longo do riacho que permita a construção da chamada estação linimétrica, visando a quantificação contínua da vazão. O formato e os dispositivos necessários para tal finalidade são os mais variados possíveis, dependendo das condições locais. Na maior parte das microbacias experimentais já instaladas, tem se mostrado muito adequado o uso de vertedores instalados em uma parede frontal de concreto transversal ao riacho, conforme pode ser visualizado na Figura 1 (Reinhart & Pierce, 1964).

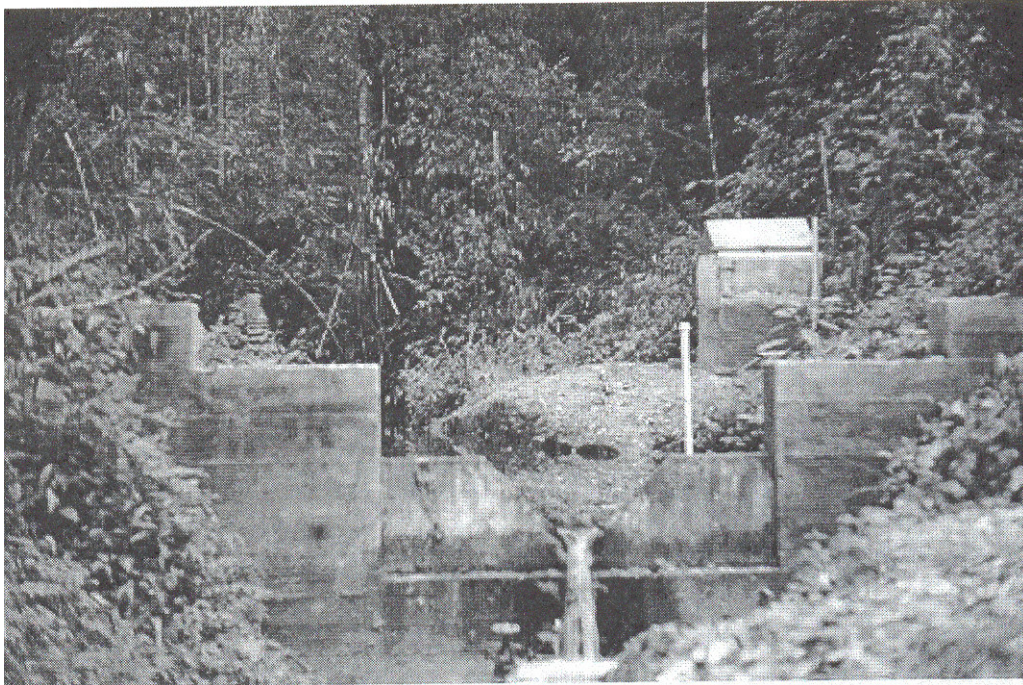


Figura 1. Vista de uma estação linimétrica em uma microbacia, dotada de um vertedor triangular de 900. O abrigo à direita contém o linígrafo, aparelho registrador das variações da vazão.

O QUE MEDIR?

A qualidade da água é, sem dúvida, um ótimo termômetro de verificação da eficácia ecológica do manejo florestal adotado. Mas é óbvio que, como no termômetro, é necessário que ela esteja sendo medida de acordo com critérios científicos. Em outras palavras, é preciso se valer de um método que demonstre inequivocamente os efeitos do manejo florestal sobre a qualidade da água.

Além disto, um outro ponto importante que deve ser considerado para o correto planejamento de um programa de monitoramento diz respeito à identificação dos impactos sobre a qualidade da água decorrentes das atividades florestais. Ou seja, que parâmetros de qualidade da água podem realmente ser afetados pelas atividades de manejo florestal?

Evidentemente que esta definição é crucial para a seleção dos parâmetros a serem monitorados, assim como de sua periodicidade e sazonalidade.

A qualidade da água refere-se a uma série de parâmetros físicos, químicos, biológicos e radiológicos. Um riacho em condições naturais deve apresentar tais componentes num nível "natural" de variação (Hem, 1973). Esse nível, por outro lado, pode ser mais ou menos alterado tanto por eventos naturais (durante urna cheia, por exemplo), como pela ação antrópica (exemplo, a exploração florestal). Quando essa alteração é de intensidade tal que ultrapassa os limites estabelecidos nos critérios de qualidade da água para um determinado uso, diz-se, então, que ocorreu poluição da água.

Na Tabela 1 são definidas as principais categorias de poluição da água, com o intuito de melhor avaliar a possível participação das atividades florestais no contexto.

Tabela 1. Principais categorias de poluição da água, com os respectivos parâmetros de qualidade da água envolvidos (adaptado de Binkley & Brown, 1993).

CATEGORIA	CONSTITUINTES	MONITORAMENTO
Organismos Patogênicos	Bactérias, Protozoários, Fungos e Vírus	Coliforme
Material Orgânico	Efluentes e Resíduos Vegetais	Oxigênio Dissolvido
Nutrientes	Nitrogênio	Nitratos, Nitrito e Amônia
	Fósforo	Fósforo Total
Sedimentos em Suspensão	Sólidos Totais em Suspensão	Turbidez
Sólidos Dissolvidos	Sódio, Ferro, Cálcio, Cloro etc	Condutividade
Tóxicos	Metais Pesados	Cádmio, Chumbo, Cobre, Crômio, Mercúrio e Níquel
	Agrotóxicos	Inseticidas, Fungicidas e Herbicidas
Diversos	Temperatura	Temperatura
	pH	pH

Para completar esta abordagem, falta apreciar as principais fontes destas categorias de poluição da água, a fim de evidenciar aquelas que estão principalmente relacionadas com as atividades florestais.

Em geral, uma primeira classificação destas fontes separa-as em dois grandes grupos: fontes pontuais (um complexo industrial, por exemplo) e fontes não pontuais (decorrentes do uso da terra, que podem estar em qualquer lugar).

A Tabela 2 contém uma classificação das fontes de poluição da água mais comuns, com as principais categorias associadas a cada uma delas.

Tabela 2. Fontes de poluição da água com as respectivas categorias principais de poluição (modificado de Binkley & Brown, 1993).

Fontes	Principais Categorias
Fontes Pontuais	
Indústrias	Efluentes Orgânicos e Tóxicos.
Fontes Não Pontuais	
Áreas Urbanas	Patógenos, Nutrientes, Sedimentos em Suspensão, Sólidos Dissolvidos e Tóxicos
Agricultura	Patógenos, Nutrientes, Sedimentos em Suspensão, Sólidos Dissolvidos e Tóxicos
Exploração Jazidas Minerais	Sedimentos em Suspensão, Sólidos Dissolvidos, pH e Tóxicos
Silvicultura (Atividades Florestais)	Material Orgânico, Nutrientes, Sedimentos em Suspensão, Tóxicos e Temperatura da água

A Tabela 3, finalmente, apresenta um resumo das principais atividades silviculturais que podem se constituir em fontes de alteração da qualidade da água, de acordo com as respectivas categorias de poluição.

Tabela 3. Atividades principais de manejo florestal que podem causar alteração da qualidade da água (adaptado de Binkley & Brown, 1993).

Categoria de Poluição	Atividades de Manejo Causadoras
Material orgânico	Decomposição de folhas e resíduos florestais na água.
Nutrientes	Decomposição de material orgânico, carreamento de fertilizantes para os cursos d'água por escoamento superficial e lixiviação de nutrientes após o corte da floresta.
Sedimentos e suspensão	Erosão provocada por estradas e carreadores, preparo do solo e exploração florestal.
Tóxicos	Uso de pesticidas e herbicidas.
Diversos	Aumento da temperatura da água do riacho em decorrência da destruição da mata ciliar

Estas informações podem, sem dúvida, permitir o equacionamento correto de um programa de monitoramento, tanto do ponto de vista dos parâmetros a serem analisados, quanto de sua periodicidade.

ONDE E COMO MEDIR?

A estação linimétrica, a ser instalada no ponto previamente selecionado, o qual constitui, para efeito das medições e amostragens a serem realizadas, a saída da microbacia, é dotada dos seguintes componentes:

- a) Uma plataforma de entrada para sedimentação;
- b) Um tanque principal de sedimentação e tranquilização do fluxo;
- c) Um vertedor triangular de 90° de metal;
- d) Um linígrafo;
- e) Um coletor semi-automático de amostras do escoamento direto (aumento da vazão após uma chuva).

Os detalhes necessários para a construção da estação linimétrica podem ser encontrados em Reinhart & Pierce (1964).

O vertedor triangular de 900 tem capacidade de medir a vazão com precisão dentro da variação de 0,2 litros por segundo até 395 litros por segundo (Reinhart & Pierce, 1964).

Por outro lado, levando-se em conta a área da microbacia, suas características topográficas, sua localização geográfica, e suas condições de cobertura vegetal, pode-se, também, fazer uma estimativa da vazão máxima esperada, para um determinado tempo de recorrência, através da Fórmula Racional, de acordo com o seguinte procedimento:

a) Fórmula Racional:

$$Q = (C.i.A) / 360$$

Onde:

Q = Vazão máxima esperada (m^3 / s);

C = Coeficiente de Runoff;

i = Intensidade da chuva (mm / h), para duração igual ao tempo de concentração da microbacia;

A = Área da microbacia (ha).

b) Tempo de Concentração:

$$T_c = 0,02 (d^{1,2} / z^{0,4})$$

Onde:

T_c = Minutos;

d = Comprimento do eixo da microbacia;

z = Desnível da microbacia.

O linígrafo, aparelho registrador das variações da cota no vertedor, é assentado sobre um poço tranquilizador acoplado ao tanque principal, conforme mostrado na Figura 1.

O zero do linígrafo é ajustado ao nível zero (vértice) do vertedor. Ao trocar periodicamente o papel registrador do aparelho, é necessário verificar se a escala no papel corresponde à do vertedor (calibragem do linígrafo). Para tanto, deve ser instalada, ao lado do vertedor, uma régua linimétrica.

O linígrafo pode vir equipado para operar em diversos intervalos: diário, semanal, mensal, trimestral etc.

Na estação linimétrica procede-se, também, à coleta periódica de amostras de água do deflúvio.

Dependendo dos objetivos do trabalho e dos recursos disponíveis, tal coleta pode ser realizada de várias maneiras, desde o procedimento mais simples de coleta manual no próprio vertedor, como através de coletores automáticos de amostras, dos quais há também diferentes modelos disponíveis no mercado.

Existe, também, a possibilidade de instalação de um dispositivo semi-automático (Richardson & Koester, 1971), que deve ser instalado a 2/3 da altura do vertedor, visando à coleta de amostras de escoamento direto de chuvas ocorridas durante o período.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, P.W. Closing the gaps in knowledge, policy and action to address water issues in forests. **Journal of Hydrology**, v.150, p. 773-786, 1993.

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.

- BINKLEY, D.; BROWN, T.C. Management impacts on water quality of forests and rangelands. **USDA Forest Service General Technical Report RM**, n.239, p. 1- 85, 1993.
- BRECHTEL, H.M.; FUHRER, H.W. Importance of forest hydrological benchmark catchments in connection with forest decline problem in Europe. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.72, p. 81-91, 1994.
- CLINNICK, P. F. Buffer strip management in forest operations: a review. **Australian Forestry**, v.48, p. 34-45, 1985.
- GILLIS, A.M. The new forestry: an ecosystem approach to land management. **Bioscience**, v.40, p. 558-562, 1990.
- GREGORY, S.V.; SWANSON, F.J.; MCKEE, W.A.; CUMMINS, K.W. An ecosystem perspective of riparian zones. **Bioscience**, v.41, p. 540-551, 1991.
- HANSEN, A.J.; SPIES, T.A.; SWANSON, F.J.; OHMANN, J.L. Conserving biodiversity in managed forests - lessons from natural forests. **Bioscience**, v.41, p. 382-392, 1991.
- HEM, J.D. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters. U.S. **Geological Survey Water Supply Paper**, n.1473, p.1-363, 1973.
- LIKENS, G.E. An experimental approach for the study of ecosystems. **Journal of Biology**, v.73, p. 381-396, 1985.
- LIMA, W.P. Impacto Ambiental do Eucalipto. São Paulo: EDUSP, 1993. 301p.
- MENZEL, R.G. Long-term field research on water and environmental quality. **Agronomy Journal**, v.83, p. 44-49, 1991.
- NELSON, D.J. Measurement and sampling of outputs from watersheds. In: Reichle, R. **Analysis of Temperate Forest Ecosystems**. Berlin: Springer-Verlag, 1973. p.258-267.
- 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.
- REINHART, K.G.; PIERCE, R.S. Stream-gaging stations for research on small watersheds. **USDA Forest Service, Agriculture Handbook**, n. 268, p.1-37, 1964.
- RICHARDSON, C.W.; KOESTER, J.H. Sampler for watershed runoff. **Agricultural Engineering**, p.178-179, 1991.

SHAXSON, T.F.; HUDSON, N.W.; SANDERS, D.W.; ROOSE, E.; MOLDNHAUER, W.C. **Land Husbandry: a framework for soil and water conservation**. Washington: Soil and Water Conservation Society, 1989. 64p.

SIDLE, R.C.; SHARPLEY, A.N. Cumulative effects of land management on soil and water resources: an overview. **Journal of Environment Quality**, v.20, p. 1-3, 1991.

WALLING, D.E. Water in the catchment ecosystem. In: GOWEN, A.M., ed. **Water Quality in Catchment Ecosystems**. New York: John Wiley, 1980. p.1-47.

ZIEMER, R.R.; LEWIS, J.; RICE, R.M.; LISLE, T.E. Modeling the cumulative watershed effects of forest management strategies. **Journal of Environmental Quality**, v.20, p.36-42, 1991.

ZWOLINSKI, J.B. Intensive silviculture and yield stability in tree plantation: an ecological perspective. **South African Forestry Journal**, v.155, p.33-36, 1991.