

IDENTIFICAÇÃO DE INDICADORES ESTRUTURAIS DA PAISAGEM PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS¹

MOSCA, A. A. O¹

¹Mestre em Recursos Florestais (Conservação de ecossistemas florestais) – ESALQ/USP. Doutoranda em Geografia Física – FFLCH/USP. / Tel. (64) 9627 8192 amosca@usp.br

LIMA, W. P²

²Prof. Titular do Departamento de Ciências Florestais/Programa de Pós Graduação Recursos Florestais ESALQ/USP / Tel. (19) 3436 8607. wplima@esalq.usp.br

RESUMO

As sub-bacias hidrográficas monitoradas localizam-se na sub-bacia do Rio do Peixe, Fazenda Santa Terezinha, de propriedade da Eucatex/S.A., município de Bofete, região centro-sul do Estado de São Paulo (22°58'30" a 23°04'30" de Latitude Sul e 48°09'30" a 48°18'30" de Longitude Oeste). A altitude média é de 600 m. Regionalmente, "[...] a área em estudo teve as bases de sua evolução marcada por certa oscilação cultural e social entre Tatuí e Botucatu, se prendendo ao desenvolvimento das vias de comunicação e da economia agrícola" (Candido, 1987, p.32). A inserção da eucaliptocultura no município (1970) caracteriza as transformações paisagísticas e sócio-ambientais. A sub-bacia E possui 50,23 ha de área de drenagem, ocupada por eucalipto desde 1972. Os primeiros plantios foram de *Eucalyptus saligna*, para fins de serraria. A partir de 1990 a área foi reformada com o *E. grandis*, por sua melhor adaptação ao tipo de solo, em espaçamento de 3,00 x 1,75 m. Atualmente, a sub-bacia representa um mosaico de talhões de eucalipto nas mais variadas idades e condições de sub-bosque. A maior fertilidade do solo da sub-bacia E, conforme análises físico-químicas está relacionada à maior capacidade de ciclagem de nutrientes pela floresta. A sub-bacia P, drena 60,80 ha, cobertos com capim braquiária para pecuária extensiva, uso tradicional da terra na região. A caracterização hidrológica quantitativa baseou-se na análise dos dados pluviométricos e fluviométricos obtidos no decorrer de 2 anos de monitoramento contínuo (novembro de 2000 a outubro de 2002). A precipitação média anual registrada no ano hídrico de nov./00 a out./01 foi de 1.893,80 mm e 1.407,90 para nov./01 a out./02. O deflúvio anual para a sub-bacia E no primeiro ano hídrico foi de 148,76 mm e de 125,62 mm, para o segundo. As perdas médias ocasionadas por evapotranspiração somaram 1.513,66 mm. Para a sub-bacia P, o deflúvio observado para o ano hídrico de nov/00 a out/01 correspondeu a 383,35 mm e para nov/01 a out/02, 365,67 mm. As perdas médias por evapotranspiração nessa sub-bacia corresponderam a 1276,34 mm. A temperatura média entre set/01 a ago./02 foi de 21,38 °C e a umidade relativa média, de 69,67 %. Os indicadores estruturais sugeridos mostraram correspondência com os demais resultados observados. As sub-bacias integram ao projeto "Monitoramento e Modelagem de Bacias Hidrográficas" desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, Laboratório de Hidrologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (ESALQ/USP).

Palavras-chave: indicadores estruturais; paisagem; impactos ambientais.

1. INTRODUÇÃO

Plantações florestais são frequentemente questionadas a respeito de possíveis impactos ambientais negativos, principalmente aqueles relacionados com o consumo de água e perdas de solo e de nutrientes. Em função destas possibilidades, que realmente podem acontecer associado ao manejo inadequado, torna-se necessário o contínuo monitoramento das ações de manejo, tanto para a quantificação destes possíveis impactos, quanto para nortear a implementação de melhores práticas de manejo. Neste sentido, a

¹ Dissertação de Mestrado desenvolvida com apoio do CNPq.

identificação de indicadores consistentes, facilmente mensuráveis e economicamente viáveis são fundamentais para auxiliar aos tomadores de decisão e produtores rurais na implementação de melhores práticas de manejo.

Para efeito deste artigo considerou-se apenas a identificação de indicadores visuais ou qualitativos da saúde das sub-bacias para a área em estudo.

Uma avaliação completa e integrada da identificação dos demais indicadores a partir da caracterização hidrológica das sub-bacias estudadas encontra-se em Mosca e Lima (2003).

2. ÁREA DE ESTUDO

As sub-bacias hidrográficas monitoradas localizam-se na mesma vertente da sub-bacia do Rio do Peixe e fazem parte da Fazenda Santa Terezinha, de propriedade da Eucatex/S.A. Situam-se no município de Bofete, na região centro-sul do Estado de São Paulo (22°58'30" a 23°04'30" de Latitude Sul e 48°09'30" a 48°18'30" de Longitude Oeste). A altitude média é de 600 m.

O município de Bofete chamou-se antes Rio Bonito, tendo sido inicialmente um pequeno povoado conhecido por Samambaia, formado em torno de uma capela, já conhecido em 1846.

Regionalmente, "[...] a área em estudo teve as bases de sua evolução marcada por certa oscilação cultural e social entre Tatuí e Botucatu, se prendendo ao desenvolvimento das vias de comunicação e da economia agrícola" (Candido, 1987, p.32).

As primeiras formas de uso da terra referem-se às fazendas de cria pertencentes a padres da Companhia de Jesus, instaladas no início do século XVIII. A partir de então, com o cultivo de grãos e cereais, o município se pauta numa agricultura basicamente voltada para subsistência com uma ligeira ampliação da produção de café nos anos posteriores. Com a crise cafeeira, em 1902 e uma forte geada, em 1918, inicia uma fase de decadência progressiva que perdura até o final da década de 40, marcada pelo mau estado e descuido da superfície plantada.

Candido (1987) registra que, por ocasião de sua visita ao município, em 1948, nem um só fazendeiro ou sitiante possuía jipe, automóvel ou estrada de automóvel em suas terras. Não se praticava adubação, não se utilizavam quaisquer produtos veterinários, não havia uma só máquina agrícola, a maior parte do transporte se fazia à carroça ou lombo de animal. Em 1980 a tendência para a pecuária que implicava a transformação em pastagens das terras de cultivo encontra resistências, pois a estabilização da pobreza, após a crise

sofrida com o café, dependia da agricultura de semi-subsistência baseada na pequena propriedade. Com a incorporação progressiva dos agrupamentos rurais à esfera de influência da economia capitalista, o conseqüente aumento da dependência econômica condicionou um novo ritmo de trabalho e ambos condicionaram uma reorganização ecológica, que transforma as relações com o meio abrindo caminho para novos ajustes.

A inserção da eucaliptocultura no município, a partir da década de 1970, caracteriza as transformações paisagísticas e sócio-ambientais nesta nova fase. A fotografia aérea (Figura 1) obtida em 07/07/2000 (1:25.000), permite vislumbrar as rugosidades² presentes na paisagem em decorrência desta evolução.



Figura 1 - Contexto espacial de inserção das sub-bacias na paisagem (escala macro)

É marcante a diferença observada em relação à manutenção das áreas de preservação permanente e reserva legal nas duas formas predominantes de uso da terra. Logo, isso expressa a disparidade na aplicabilidade e materialização das leis ambientais brasileiras numa escala macro.

A sub-bacia E possui 50,23 ha de área de drenagem, com sua porção superior ocupada por eucalipto desde 1972. Os primeiros plantios foram de *Eucalyptus saligna*, para fins de serraria. A partir de 1990 a área foi reformada com o *E. grandis*, por sua melhor adaptação ao tipo de solo do local, sendo usado o espaçamento de 3,00 x 1,75 m.

² SANTOS, M. **Por uma geografia nova**. São Paulo: Hucitec, 1978.

Atualmente, a sub-bacia representa um mosaico de talhões de eucalipto nas mais variadas idades e condições de sub-bosque. No geral, a maior fertilidade do solo da sub-bacia E, conforme mostram as análises físico-químicas, estão relacionadas a maior capacidade de ciclagem de nutrientes pela floresta.

A sub-bacia P, com área de drenagem de 60,80 ha, está coberta predominantemente por capim braquiária destinado à pecuária extensiva, uso tradicional da terra na região. A sub-bacia possui uma estreita faixa de mata ciliar ao longo das margens do canal, em estado visível de degradação. Esse fragmento é testemunha da vegetação nativa de cerrado que ocupava toda a área até o final da década de 70.

A caracterização hidrológica quantitativa baseou-se na análise dos dados pluviométricos e fluviométricos obtidos no decorrer de 2 anos de monitoramento contínuo (novembro de 2000 a outubro de 2002). A precipitação média anual registrada no ano hídrico de nov/00 a out/01 foi de 1.893,80 mm e 1.407,90 para nov./01 a out./02. O deflúvio anual para a sub-bacia E no primeiro ano hídrico foi de 148,76 mm e de 125,62 mm, para o segundo. As perdas médias ocasionadas por evapotranspiração no período monitorado somaram 1.513,66 mm. Para a sub-bacia P, o deflúvio observado para o ano hídrico de nov/00 a out/01 correspondeu a 383,35 mm e para nov/01 a out/02, 365,67 mm.

As perdas médias por evapotranspiração nessa sub-bacia corresponderam a 1276,34 mm. A temperatura média observada entre set/01 a ago/02 foi de 21,38 °C e a umidade relativa média, de 69,67 %.

Os indicadores visuais sugeridos mostraram correspondência com os demais resultados observados. As sub-bacias hidrográficas monitoradas fazem parte do programa mais abrangente de Monitoramento e Modelagem de Bacias Hidrográficas desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, através do Laboratório de Hidrologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (ESALQ/USP).

3. UMA BREVE REVISÃO

Rodier (1976) e Whitehead e Robinson (1993) levantaram a importância que as bacias hidrográficas, como unidades experimentais, poderiam apresentar para o monitoramento ambiental visando o manejo sustentável.

Para Lima (1996) o desenvolvimento de um programa de monitoramento florestal sustentável adequado passa, a princípio, pela identificação das seções dos canais na sub-bacia onde o monitoramento em longo prazo deverá ser implementado e, o

monitoramento dessas áreas problema. Os indicadores daí apontados servem como norteadores das práticas de manejo no sítio florestal ou sub-bacia como um todo.

O desenvolvimento de um conjunto de indicadores facilmente mensuráveis que descrevam a condição e saúde das sub-bacias é essencial para a proteção e uso sustentável dos recursos hídricos, esclarece He et al. (2000).

Do ponto de vista hidrológico, o manejo sustentável é aquele que, segundo Lima e Zakia (1998), permite a utilização dos recursos naturais de modo que não seja destruída a estabilidade do ecossistema, ou seja, a manutenção de seu funcionamento ecológico com base na perpetuação de seus processos hidrológicos, de sua capacidade natural de suporte, de sua diversidade biológica, na sua resiliência e na sua estabilidade.

A partir de revisão realizada por Gunderson (2000), a resiliência ecológica pode ser definida como a quantidade de alteração que um ecossistema pode absorver sem mudar seu estado e depende, primeiramente, da diversidade dos grupos funcionais que definem sua composição e estrutura. Quando o ecossistema perde resiliência, ele se torna mais vulnerável a perturbações, que de outro modo seriam normalmente absorvidas.

Para Lima et al. (2002) o desenvolvimento de um conjunto de indicadores apropriados deve considerar, ao mesmo tempo, a unidade de manejo florestal, a fazenda ou horto florestal, a sub-bacia, a região, o país e a biosfera com indicadores específicos para cada uma destas escalas.

Um conjunto de indicadores selecionados deve produzir rapidamente, respostas sensíveis, específicas e de confiança que correspondam ao stress e, ao mesmo tempo, seja relativamente fácil ou barato para tornar-se prático na decisão das intervenções de gestão e manejo nas escalas espacial e temporal (He et al., 2000, p.26).

As Tabelas a seguir (1, 2 e 3) sugerem a identificação destas escalas e dos respectivos indicadores, no que diz respeito à proteção do solo e da água.

Tabela 1. Macro escala e indicadores da proteção do solo e da água para o manejo sustentável das plantações florestais.

Impacto ambiental	Possíveis causas	Indicadores
Uso conflitivo da água	Desmatamento/reflorestamento	Balanco Hídrico regional
Desfiguramento da paisagem	Substituição de ecossistemas naturais por plantações florestais	Zoneamento Ecológico

Fonte: Lima e Zakia (1998).

Ao nível macro, os elementos que contribuem para assegurar a manutenção dos processos hidrológicos, da capacidade de produção do sítio e do papel social da sub-bacia, estão contemplados nas políticas ambientais nas esferas Federal, Estadual e Municipal.

Atualmente, essas fronteiras se ampliam na medida em que o capital externo fixa requisitos e normas de qualidade do produto e do ambiente, como é o caso das normas ISO visando à Certificação Ambiental.

As zonas ripárias atuam, por sua vez, como elemento integrador das escalas macro, e micro. "As faixas de vegetação ripária tem mostrado ser uma prática de manejo efetiva para o controle de algumas fontes não pontuais de poluentes, especialmente sedimentos" (Dillaha et al., 1989, p.517).

Tabela 2. Meso escala e indicadores da proteção do solo e da água para o manejo sustentável das plantações florestais.

Impacto ambiental	Possíveis causas	Indicadores
	Destruição das zonas ripárias	Condições de proteção vegetal das zonas ripárias
Degradação da sub-bacia	Sistema viário inadequado	Planejamento hidrológico das estradas e dos carregadores
	Compactação do solo	Taxa de infiltração
	Erosão	Práticas de conservação do solo

Fonte: Lima e Zakia (1998).

Na escala micro processam-se as transformações que podem ser medidas e avaliadas no deflúvio do riacho e que não são perceptíveis visualmente, exercendo influência importante as zonas ripárias.

Tabela 3. Micro escala e indicadores da proteção do solo e da água para o manejo sustentável das plantações florestais.

Impacto ambiental	Possíveis causas	Indicadores
Quantidade e regime de vazão d' água	Alteração da cobertura florestas	Medição da vazão
Eutrofização dos cursos d' água e reservatórios	Adubação, ausência	Concentração de N e P na mata ciliar
Assoreamento dos cursos d' água	Erosão e sedimentação	Turbidez, concentração de sedimentos
Perda de nutrientes	Erosão, colheita florestal, preparo do solo	Condutividade elétrica, biogeoquímica da sub-bacia
Material orgânico	Decomposição de resíduos florestais	Oxigênio dissolvido, cor

Fonte: Lima e Zakia (1998).

Para Moldan e Cerny (1807) pesquisas em pequenas bacias hidrográficas ajudam a determinar condições para uma agricultura sustentável baseada na estabilidade dos ciclos biogeoquímicos, retenção de água, nutrientes e substâncias dissolvidas, e minimização da erosão.

Lima (1998) aponta que o monitoramento ambiental em sub-bacias, por intermédio da medição criteriosa de indicadores hidrológicos consistentes, constitui um instrumento importante para sinalizar as mudanças desejáveis ou indesejáveis que estejam ocorrendo no ecossistema, como consequência das práticas de manejo.

METODOLOGIA

Os critérios de identificação dos indicadores visuais foram baseados na percepção ambiental da paisagem das sub-bacias nas visitas realizadas *in loco*, em diferentes estações do ano, compreendendo o período de mar/2002 a mar/2003. Os fenômenos observados foram catalogados e fotografados.

Foram também monitorados dados fluviométricos e pluviométricos, além de parâmetros físicos e químicos de qualidade da água que podem ser conferidos em Mosca e Lima (2003). Estas observações foram importantes para validar os indicadores da estrutura da paisagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Algumas observações feitas em campo estão explicitadas visualmente na estrutura da paisagem das sub-bacias e não exigem a aplicação de metodologias de amostragem para constatar a ocorrência ou não do impacto e foram classificados como indicadores visuais ou qualitativos da estrutura e da 'saúde' da paisagem. Estes indicadores são fundamentais para a uma avaliação estrutural da paisagem na escala meso, complementando a Tabela 2 proposta por Lima e Zakia (1998) citada anteriormente.

Os indicadores visuais expressam, dessa forma, o resultado das ações humanas ao longo do tempo facilmente percebidas na paisagem.

Como os parâmetros de qualidade da água, os atributos visualmente percebidos na paisagem permitem integrar respostas às práticas de manejo na escala da sub-bacia. Para tal, a fim de estabelecer uma avaliação mais consistente desses indicadores, procurou-se relacionar o estágio em que se encontram os impactos visuais com as medições efetuadas na escala micro e os respectivos indicadores de ordem quantitativa diretamente monitorados no campo.

Os indicadores visuais observados na sub-bacia com pastagem são apresentados na Figura 1. Para a sub-bacia com eucalipto, esses indicadores foram percebidos em menor número de ocorrências e variedade, estando mais relacionados ao traçado de estradas e carreadores, o que não demonstra uma ausência de perturbação nesse ecossistema daí, então, a necessidade de uma avaliação holística, considerando-se as escalas macro, meso e micro e seus respectivos indicadores. Há que se considerar também as especificidades intrínsecas a cada lugar, a cada ecossistema.

Para o caso da pastagem a proliferação de cupim, formiga e tatu indicam, então, uma simplificação da diversidade biológica e um desequilíbrio do ecossistema decorrente de alterações na cadeia alimentar entre presa x predador.

Indicador	Formas de Manifestação	
Presença de sulcos e voçorocas		
Exposição do nível freático		
Proliferação de cupim, formiga e tatu		
Proliferação de gramíneas nativas e exposição do solo		
Volume de sedimentos que chega ao vertedor		

Figura 1 - Indicadores visuais propostos para integrar a avaliação do estado da saúde das sub-bacias monitoradas.

Odum (1985) ao discutir a relação entre estabilidade do sistema e a diversidade de espécies, afirma que em ambientes homogêneos, a dominância tende a ser alta e a diversidade tende a diminuir, exatamente como constatado pelos indicadores estruturais.

O surgimento dos sulcos e voçorocas está relacionado aos caminhos do gado que, num primeiro momento, por conta da compactação na linha de pisoteio acaba por gerar condições ideais para a diminuição da infiltração da água no solo, concentração do escoamento superficial, aumento da velocidade da água e, num segundo momento, ao intenso desagregamento de partículas de solo, cada vez mais e com maior intensidade a continuar o esforço.

Na medida em que o esforço impactante permanece a consequência é a abertura de sulcos, ravinas e voçorocas de dimensão tal que atinge o lençol freático, o que acaba por gerar um outro problema: a migração de nascentes.

Pode ocorrer, também, que o processo de perda de solo em função da degradação seja tão intenso que os sedimentos carregados cheguem a assorear as nascentes existentes.

A exposição do solo em função do raleamento da gramínea baqueária, no caso, já é um fator de aumento da desagregação mecânica de partículas de solo por conta do efeito 'splash' das gotas de chuva, salpicamento, que leva a intensificação das perdas de solo e contribui para o assoreamento.

CONCLUSÃO

Os indicadores visuais se mostraram condizentes com as respostas hidrológicas observadas nas sub-bacias, o que lhes confere importante papel, em termos de praticidade operacional, no monitoramento ambiental de sub-bacias hidrográficas e na análise estrutural da paisagem no geral, inclusive em termos de oneração de custos de monitoramento.

BIBLIOGRAFIA

DILLAHA, T.A.; RENEAU, R.B.; MOSTAGHIMI, S.; LEE, D. Vegetative filter strips for agricultural nonpoint source pollution control. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 32, n.2, p.513-519, 1989.

GUNDERSON, L.H. Ecological resilience - in theory and application. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.31, p.425-439, 2000.

HE, C.; MALCOLM, S.B.; DAHLBERG, K.A; FU, B. A conceptual framework for integrating hydrological and biological indicators into watershed management. **Landscape and Urban Planning**, v.49. p. 25-34, 2000.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2.ed. São Paulo: EDUSP, 1996. 301p.

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

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B.; CÂMARA, C. Implicações da colheita florestal e do preparo do solo na erosão e assoreamento de bacias hidrográficas. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. (Ed.) **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. Cap. 11, p.373-391.