

Expectativa de degradação dos recursos hídricos em microbacias hidrográficas com auxílio de sistemas de informação geográfica

Arthur Costa Falcão Tavares, Jener Fernando Leite de Moraes*, Samuel Fernando Adami, Francisco Lombardi Neto e Márcio de Morisson Valeriano

Instituto Agronômico de Campinas, C.P. 28, 13020-902, Campinas, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência.
e-mail: jfmoraes@iac.sp.gov.br

RESUMO. No presente trabalho, avaliou-se a expectativa de degradação dos recursos hídricos em Áreas de Preservação Permanente (APP) de uma microbacia hidrográfica, localizada no município de Jundiá, SP. Foi elaborada uma base de dados do meio físico, utilizando os fatores e os cálculos da Equação Universal de Perda de Solo (Eups), em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), o que permitiu a obtenção de planos de informação sobre Perdas de Solo e sobre Risco de Erosão. Na metodologia para avaliação da expectativa de degradação, elaborou-se uma matriz de correlação entre os fatores risco de erosão, uso e ocupação do solo, e a declividade dentro das APP. De acordo com os resultados, 32% da área da microbacia apresentou um alto risco de erosão, e 30% das APP apresentaram alta expectativa de degradação dos recursos hídricos. Concluiu-se que a metodologia proposta forneceu subsídios necessários para identificação das zonas de maior expectativa de degradação dos recursos hídricos, adequando-se como ferramenta para análise e para a gestão ambiental de microbacias hidrográficas.

Palavras-chave: microbacia, risco de erosão, Eups, gestão ambiental.

ABSTRACT. Expectation of water-course degradation using geographical information system in a watershed. The present work evaluated the expectation of water-courses degradation in Areas of Permanent Preservation (APP), a watershed situated at Jundiá/SP county. A data base of environmental aspects was elaborated using factors and calculations from the Universal Soil Loss Equation (USLE), in a Geographical Information System (GIS), which allowed the obtention of information plans about soil losses and erosion risk. A correlation matrix of the factors of erosion risk, was elaborated accounting for soil use and steepness-slope present in the APP, to evaluate degradation expectation. According to the result, 32% of the total area showed high erosion risk, and the APP showed high expectation of water-course degradation. The proposed methodology provided important aid to identify areas with expectation of water-course degradation, being an adequated tool for environmental analysis of watersheds.

Key words: watershed, erosion risk, USLE, land use planning

Introdução

Entre os principais fatores relacionados com o aumento de degradação ambiental estão as frequentes alterações não-planejadas no uso da terra, acima da capacidade de suporte do solo. Tais alterações são também os principais responsáveis pelo aumento dos processos erosivos verificados nas áreas agrícolas e urbanas. Lal e Stewart (1992) relatam que entre 5 e 7 milhões de hectares de terra cultiváveis são perdidas a cada ano devido à erosão. Os processos erosivos representam um problema não somente pela perda de solo como meio de

suporte às atividades agrícolas, mas também por trazerem consequências negativas relacionadas ao assoreamento e à contaminação dos cursos d'água, lagos e represas (Lal, 1988; Pinto, 1991).

Numa visão holística de preservação dos recursos naturais, a identificação dos problemas ambientais de uma área deve subsidiar a implementação de um planejamento do uso e da ocupação das terras, já que se trata de uma etapa essencial na minimização dos impactos causados pela erosão do solo (Donzeli *et al.*, 1992; Castro e Valério Filho, 1997; Ranieri *et al.*, 1998). O planejamento do uso da terra, quando desenvolvido dentro de uma microbacia hidrográfica

que sofre fortes interferências antrópicas sobre seus recursos hídricos (Jenkins *et al.*, 1994), constitui-se numa forma integrada de implementação de práticas conservacionistas. Para que tais práticas resultem em melhoria significativa e a custos aceitáveis, é necessário, todavia, que se proceda a uma avaliação ambiental, a fim de se ter maior precisão de onde estas devam ser implantadas (Castro e Valério Filho, 1997).

O uso de técnicas de geoprocessamento, em que se incluem o sensoriamento remoto e os sistemas de informação geográfica (SIG), constitui-se numa ferramenta de alto potencial para integração e análise de diferentes componentes de um sistema ambiental, permitindo a elaboração de zoneamentos e propostas de manejos específicos, com base no cruzamento de diferentes planos de informação espacial. A integração da tecnologia SIG com modelos matemáticos de estimativa de perdas de solo por erosão vem sendo aplicada com eficiência no planejamento agroambiental de microbacias hidrográficas, principalmente no diagnóstico do risco de erosão (Donzeli *et al.*, 1992; Castro e Valério Filho, 1997; Moraes *et al.*, 2000).

Este estudo foi realizado visando à avaliação da expectativa de degradação dos recursos hídricos de uma microbacia hidrográfica a partir da análise integrada com Sistema de Informação Geográfica, mapas sobre risco de erosão e uso e ocupação do solo nas zonas classificadas como Áreas de Preservação Permanente (APP). Dentro deste estudo, propõe-se uma metodologia que subsidie ações do poder público visando à preservação dos recursos hídricos.

Material e métodos

A área de estudo foi a microbacia hidrográfica do rio Jundiá-Mirim (6880ha) localizada no município de Jundiá, Estado de São Paulo (23°00'S a 23°30'S e 46°30'W a 47°15'W). A microbacia situa-se no Planalto de Jundiá (IPT, 1981), inserida na Zona Cristalina do Norte (Almeida, 1974), numa transição entre as terras altas do sudoeste mineiro e a região sedimentar mais baixa da Depressão Periférica. De acordo com o sistema de Köppen, o clima da região é do tipo mesotérmico brando super úmido (Aw), sem uma estação seca definida, com temperaturas máximas entre 34° a 36°C, e com temperaturas mínimas entre 6° a 10°C. A vegetação original, caracterizada por fragmentos remanescentes, compõe a Floresta Subcaducifolia Tropical. Com o desenvolvimento da região, a vegetação original foi sendo substituída por culturas agrícolas, notadamente fruticultura, pastagem e reflorestamento (IBGE, 1977; Cetesb, 1994).

A partir de um levantamento pedológico detalhado, constatou-se que na área predominam Cambissolos, além de outras classes de solo, como Latossolos Vermelho Amarelo, Latossolos Vermelho e Neossolos Litólicos (Tabela 1). A predominância de Cambissolos, associados ao relevo forte ondulado denotam suscetibilidade da área aos processos erosivos e, por consequência, expectativa de degradação das terras e dos recursos hídricos em função de ações antrópicas. Na Tabela 2, são apresentadas as áreas totais e relativas das classes de declividade da microbacia, onde se observa a predominância do relevo ondulado a forte ondulado, com declividades entre 12% a 40%, em 70% da área. Para definição das classes de declive, consideraram-se os trabalhos de Chiarini e Donzeli (1973) e de Lepsch *et al.*, 1983).

Essa microbacia constitui-se no principal manancial de abastecimento de água e vem sendo afetada por sérios problemas de degradação ambiental relacionados à expansão urbana, às atividades agrícolas, ao parcelamento do uso do solo e às atividades de mineração de argila.

Tabela 1. Classes de solo com suas respectivas distribuições relativas

Classes de Solo	Distribuição Relativa (%)
Cambissolo Tb distrófico A moderado textura média ou argilosa	48
Associação Cambissolo Tb distrófico + Argissolo Vermelho Amarelo Tb distrófico A moderado textura média/argilosa	11
Cambissolo Háplico Tb Distrófico gléico substrato sedimentos aluviais A moderado	8
Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico textura média A moderado	2
Latossolo Vermelho Escuro distrófico A moderado textura argilosa	10
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico A moderado textura argilosa	14
Neossolo Litólico Tb Distrófico típico textura média A moderado	5

Tabela 2. Áreas totais e relativas das classes de declividade na microbacia hidrográfica do rio Jundiá-Mirim, Estado de São Paulo

Classes de Declividade (%)	Área (ha)	Distribuição Relativa (%)
0-3	214.4	3
3-6	429.4	6
6-12	1281.0	19
12-20	2419.9	35
20-40	2377.3	35
>40	158.1	2
Área Total	6880.0	100

Análise da expectativa de degradação dos recursos hídricos

Para se avaliar a expectativa de degradação dos recursos hídricos, aplicou-se uma metodologia que integra, via Sistemas de Informação Geográfica (SIG), uma série de dados relevantes ao estudo

proposto. Dentro desse contexto, este estudo baseou-se na análise das seguintes informações:

- quantificação das classes de uso e ocupação do solo dentro das Áreas de Proteção Ambiental (APP);
- estimativa das perdas de solo e do risco de erosão da área com base na Equação Universal de Perda de Solo (Eups, Wischmeier e Smith, 1978);
- análise integrada em SIG dos planos de informação de Uso da Terra, Declividade e Risco de Erosão.

Levantamento do uso atual das terras

Visando a obter uma precisão na quantificação e na delimitação dos resultados, elaborou-se um detalhado mapeamento do uso e da ocupação das terras da microbacia a partir da interpretação das diferentes classes de uso em ortofotos digitais (2000) na escala 1:10000. Cada ortofoto foi georreferenciada no Sistema de Projeção Cartográfica (UTM) e as áreas referentes às diferentes classes de uso e de ocupação foram delimitadas diretamente na tela do computador no SIG - Ilwis. A partir de apoio de campo, com equipamento de Posicionamento Global (GPS), procedeu-se a identificação das principais categorias de uso da terra para auxiliar na interpretação das ortofotos. A legenda preliminar de uso da terra consistiu das seguintes classes: *Mata, Reflorestamento, Capoeira, Pasto, Fruticultura (Uva, Pêssego, Citros), Horticultura, Culturas Anuais, Áreas Urbanas, Loteamentos, Mineração*.

Integrando-se as informações geradas pela fotointerpretação das ortofotos digitais, as informações de campo e a legenda formulada para o uso da terra, foi possível criar polígonos representando as combinações entre as classes de uso e do nível de risco de erosão na microbacia estudada.

Equação Universal de Perdas de Solo

A Equação Universal de Perda de Solo (Eups) integra seis parâmetros que interferem na quantificação das perdas de solo na seguinte relação:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

onde

A equivale às perdas médias anuais de solo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

R representa a erosividade das chuvas;

K é o fator erodibilidade do solo;

LS o fator topográfico;

C o fator de uso;

P o fator referente às práticas conservacionistas de manejo.

Erosividade das Chuvas (R): O fator R da Eups foi estimado com base no método proposto por Bertoni e Lombardi Neto (1992). Para a microbacia estudada o valor da Erosividade foi igual a $6757 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$

Erodibilidade do solo (K): O fator K foi obtido pela metodologia proposta por Denardin (1990) e modificada por Levy (1995). No modelo desenvolvido por Denardin, a erodibilidade é estimada com base na relação entre os teores de matéria orgânica do solo, de areia grossa, de areia fina, de silte e de argila, e também na permeabilidade do solo.

Fator Topográfico (LS): O fator topográfico baseou-se na relação entre o comprimento de rampa e a declividade proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1992).

$$LS = 0,00984 \cdot C^{0,68} \cdot D^{1,18} \quad (2)$$

onde:

LS fator topográfico,

C - comprimento de rampa (metros),

D - declividade (%).

O plano de informação do fator LS foi gerado a partir da metodologia desenvolvida por Valeriano (1999).

Fator C (Uso e Manejo): Obtido para cada categoria de uso da terra que receberam valores de fator C, estabelecidos segundo metodologia de Bertoni e Lombardi Neto (1992).

Fator P (Práticas Conservacionistas): Os valores do fator P foram estabelecidos a partir de uma relação direta com a declividade da área e variaram de $P = 0,5$, para declividades até 3%, até $P = 1,0$ para declividades superiores a 12%.

Risco de erosão

Para a obtenção do plano de informação de risco de erosão, considerou-se a relação entre as Perdas Atuais de Solo (A), obtidas pela Eups, com a Tolerância de Perdas (T) estabelecidas para cada solo, a partir de experimentos de perdas de solo e produtividade das culturas realizados por Lombardi Neto e Bertoni (1975) e apresentados para cada solo na Tabela 1.

O plano de informação do Risco de Erosão foi reclassificado em classes de intensidade de risco, conforme a Tabela 3:

Tabela 3. Classes de risco de erosão para a microbacia do rio Jundiá-Mirim, Estado de São Paulo

Razão $A/T^{(2)}$	Classe de Risco
1	Muito Baixo
2	Baixo
5	Médio

> 10	Alto
------	------

(2) Os valores indicam o número de vezes que as perdas atuais de solo (A) são superiores às perdas toleráveis, segundo Bertoni e Lombardi Neto, 1992.

Tabela 4. Matriz de análise para implementação do fator risco de degradação dos recursos hídricos por meio de SIG

Risco de Erosão	Uso da terra ⁽¹⁾																														
	MR	P	F	H	CA	AU	MI	MR	P	F	H	CA	AU	MI	MR	P	F	H	CA	AU	MI	MR	P	F	H	CA	AU	MI			
	Declividade																														
	0-3%								3-6%								6-12%								> 12%						
MB	MB	MB	MB	B	B	M	A	MB	MB	B	B	B	A	A	MB	B	B	A	M	A	A	MB	M	M	A	A	A	A			
B	MB	MB	B	B	B	M	A	MB	MB	M	M	M	A	A	MB	M	M	A	M	A	A	MB	M	M	A	A	A	A			
M	MB	B	M	M	M	A	A	MB	B	M	A	A	A	A	A	MB	A	M	A	A	A	A	MB	A	A	A	A	A			
A	MB	B	M	A	M	A	A	MB	M	A	A	A	A	A	A	MB	A	A	A	A	A	A	MB	A	A	A	A	A			

MR: (mata, reflorestamento, capoeira, cobertura residual); P: pasto limpo, pasto sujo; F: fruticultura; H (horticultura); CA (culturas anuais); AU (área urbana, loteamentos, chácaras, solo exposto); MI (mineração); MB: risco muito baixo; B: risco baixo; M: risco médio; A: risco alto

Definição das Áreas de Preservação Permanente (APP)

Na avaliação da expectativa de degradação dos recursos hídricos, consideraram-se os limites das APP conforme condições estabelecidas pelo Código Florestal Brasileiro: 30 metros ao longo das margens de cada curso de água; 50 metros nas áreas de nascentes e 100 metros para os dois grandes reservatórios de água do município. A partir de uma análise de distância por meio do SIG, elaboraram-se imagens de distâncias em relação aos cursos de água, nascentes e reservatórios, que posteriormente foram reclassificadas de acordo com os limites acima descritos.

O risco de degradação dos recursos hídricos foi estabelecido a partir de uma matriz que correlacionou planos de informação relevantes às análises do risco de degradação. Adotou-se parcialmente a metodologia proposta por Ranieri *et al.* (1998). Os planos considerados na matriz de avaliação foram o uso da terra, a declividade e o risco de erosão dentro da APP, relacionados conforme a Tabela 4. A partir dessa matriz, gerou-se o plano de risco de degradação dos recursos hídricos que, uma vez cruzado com o plano contendo as Áreas de Preservação Permanente (APP), gerou valores da distribuição relativa das áreas de degradação.

Resultados e discussão

Uso da terra

Na Tabela 5, apresentam-se as áreas totais e relativas dos usos da terra na microbacia hidrográfica. A classe Pasto, que ocorre em 28% da área, engloba as classes de Pasto limpo e Pasto sujo, sendo esta última caracterizada pela presença de plantas invasoras.

A categoria Mata também possui uma importante representatividade em termos de extensão, ocorrendo em 17% da área total da microbacia, o que pode indicar um fato importante sobre o controle da erosão, da proteção dos

mananciais e da recarga do lençol freático (Rocha, 1990). Além desse aspecto, as matas são essenciais na preservação da flora e da fauna nativas da área. A categoria Reflorestamento ocorre em 11,7% da área e constitui-se numa atividade em expansão na região de Jundiá, explicada pela proximidade de indústrias de papel e de celulose. Especificamente para a região da microbacia, essa categoria também teve um grande impulso no passado, quando da implantação do horto florestal, que fornecia madeira para a então Estrada de Ferro Santos-Jundiá. Resultados semelhantes foram observados por Fadini (1998) num diagnóstico da evolução do uso das terras para os anos de 1962, 1972 e 1993, no qual confirmou-se a expansão do reflorestamento e das áreas urbanas na região. As atividades agrícolas são caracterizadas pela fruticultura, em que predominam o cultivo de uva, de pêssego e de figo. Dentre as formas de uso e de ocupação que não são interessantes do ponto de vista de preservação dos mananciais do município, as representadas pela área urbana, os loteamentos e a mineração são as que mais preocupam em termos de degradação ambiental. A expansão urbana é um fator agravante e de difícil reversão, considerando que a microbacia já possui áreas classificadas como Zona Urbana pelo Plano Diretor Municipal. Faz-se necessário, entretanto, maior controle dos vetores de expansão urbana pela fiscalização pública. A questão dos loteamentos também é um problema sério no local, visto que vários loteamentos apresentam lotes com tamanho inferior ao limite estabelecido pela legislação vigente, quando não são clandestinos. São atividades que já estão ocasionando um aumento da densidade populacional com o conseqüente aumento no volume de efluentes domésticos.

As minerações de argila para cerâmica ocorrem predominantemente nas áreas dos Latossolos Vermelhos e concentram-se na porção sudeste da microbacia. São atividades já embargadas pela

prefeitura municipal, mas que, em alguns casos, voltam a funcionar com suporte de recursos judiciais.

Tabela 5. Área de ocorrência e distribuição relativa das classes de uso e de ocupação das terras

Classes de Uso e de Ocupação	Área (ha)	Distribuição relativa (%)
Pasto	1926,1	28,0
Mata	1300,6	18,9
Reflorestamento	804,6	11,7
Área Urbana	470,4	6,8
Fruticultura	544,7	7,9
Chácaras/Loteamentos	657,4	9,6
Cobertura Residual	258,7	3,8
Solo Exposto	195,1	2,8
Lagos	190,3	2,8
Capoeira	156,8	2,3
Mineração	135,6	2,0
Hortaliças	113,6	1,7
Várzea	98,3	1,4
Cultura Anual	27,5	0,4
TOTAL	6880,0	100,0

Estimativa de perdas de solo por erosão

As perdas de solo estimadas pela Eups apresentaram valores que variaram de $8\text{mg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ a mais de $80\text{mg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ em toda a microbacia. Em termos percentuais, observou-se uma concentração das perdas nas classe de $0\text{-}8\text{Mg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$, com 44% da área e $> 80\text{Mg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$, que predomina em 30% da área total da microbacia. Esses resultados condizem com os dados obtidos por Bertoni e Lombardi Neto (1990), Donzeli *et al.* (1992), Lagrotti (2000), Gracia (2001) e Siviero (2003), que também verificaram perdas de solo situadas entre 8 e $10\text{mg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$, mesmo em áreas sob condições de relevo menos acentuado que o verificado neste estudo. De acordo com a Tabela 6, verifica-se que as áreas de mineração, urbana e loteamento, são as que concentram as maiores perdas de solo. Isso se deve a constantes e intensas movimentações de terra promovidas por essas atividades, além de não disporem de nenhuma prática conservacionista, aumentando significativamente a perda de solo por erosão. Tais atividades ocorrem principalmente sobre áreas que apresentam altas limitações naturais, em especial o fator erodibilidade do solo e topografia, favorecendo os processos erosivos, e que, portanto, devem ser objeto de preocupação para o gerenciamento ambiental da microbacia hidrográfica. As perdas vão decrescendo gradativamente à medida que se aumenta a cobertura do solo e o emprego de outras práticas conservacionistas, exigidas pelas atividades agrícolas. A falta de práticas conservacionistas nos usos de maior impacto ambiental, isto é, nas classes com valores acima de $16\text{mg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ de perda de solo (Tabela 6), expõem o solo aos processos

erosivos e certamente contribuem com o aumento do risco de degradação dos mananciais ali localizados.

Tabela 6. Distribuição relativa das classes de perda de solo por categoria de uso da terra (áreas hachuradas mostram a evolução decrescente das perdas de solo)

Classes de Uso	Classes de Perda de Solo (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)					Área (ha)
	<8	8-16	16-40	40-80	>80	
	(%)					
Área Urbana/Loteamentos/Solo	6	0	2	3	89	1314
Expoto	5	1	3	7	83	135
Mineração	5	4	15	18	58	114
Horticultura	10	4	12	18	56	532
Fruticultura	7	2	11	11	69	27
Culturas anuais	55	24	18	3	0	1950
Pastagem	64	5	9	9	14	2520
Mata/Reflorestamento/Capoeira						190
Lagos						98
Várzea						6880
Área Total						

Risco de erosão

O risco de erosão apresentado na Figura 1 revelou uma maior frequência relativa das seguintes classes: Muito Baixo/Baixo (52%) e Alto (37%). Desse fato denotam-se duas considerações importantes: (1) apesar de a microbacia apresentar, na maior parte de suas áreas, limitações naturais de solo e de topografia, muitas dessas encontram-se protegidas por vegetações mais densas (mata e reflorestamento) e menos densas (capoeira e cobertura residual), que, se mantidas, contribuirão para a preservação dos recursos hídricos; (2) as áreas com alto risco de erosão, ou seja, onde a expectativa de perda de solo é pelo menos dez vezes superior ao limite tolerável, representam uma séria ameaça à preservação dos recursos hídricos, principalmente considerando-se que muitas delas podem estar ocorrendo dentro de APP. Sabe-se também que o fator topográfico (LS) da Eups possui uma grande influência no cálculo final das perda de solo e conseqüentemente do risco de erosão de uma área, aumentando consideravelmente em áreas de declive mais acentuado conforme demonstrado por Bertoni (1959). Nesse sentido, o mapa de risco de erosão conjuntamente com condições de uso e de ocupação das APP devem ser considerados como instrumentos norteadores das ações de gestão ambiental dessas áreas.

Expectativa de degradação dos recursos hídricos

Na Tabela 7, tem-se a distribuição territorial das categorias de uso da terra dentro dos limites da APP. A área calculada para APP foi de 1303ha, sendo que desse total 560ha (43%) estão ocupadas com vegetação tipo mata, reflorestamento ou capoeira. Esses usos são considerados adequados para APP, desde que, no caso do reflorestamento, essa cobertura não seja removida

para fins comerciais. Por outro lado, 752 ha (57%) da APP está inadequadamente ocupada com diferentes

categorias de uso, com atenção especial para áreas com mineração, urbana, loteamento e atividades agrícolas.

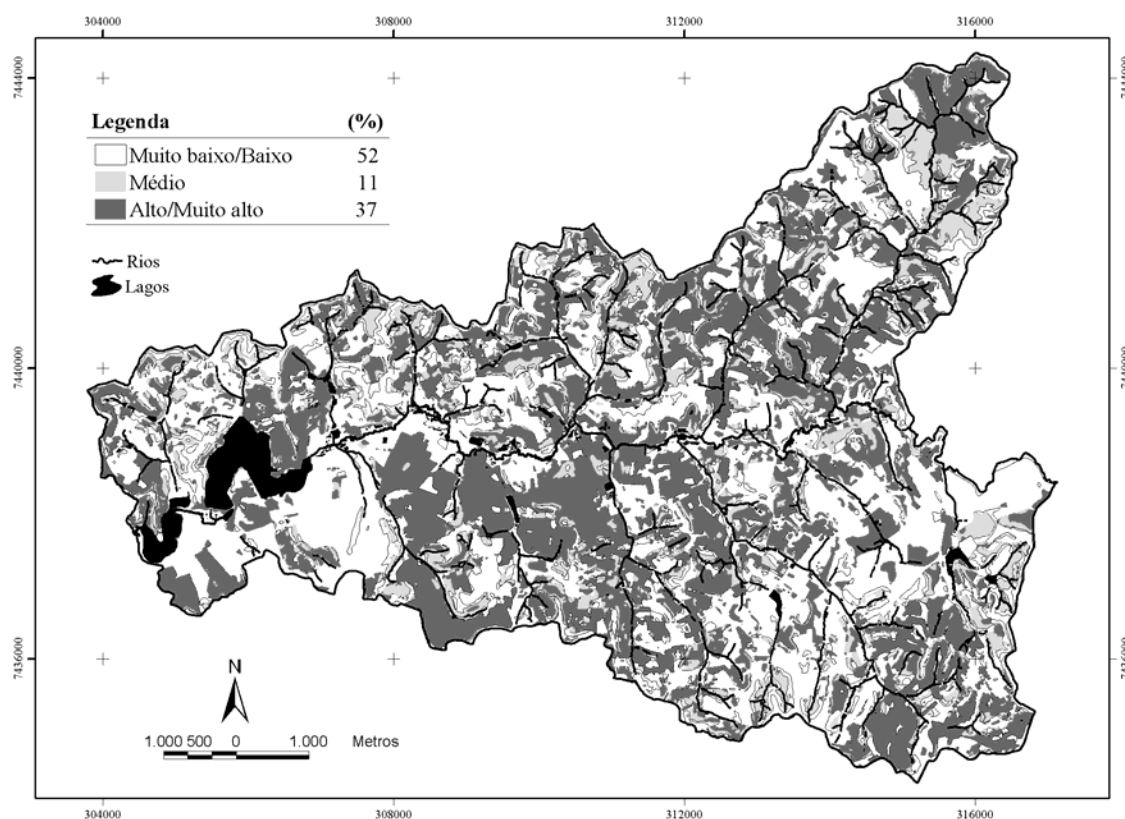


Figura 1. Carta de risco de erosão da microbacia do rio Jundiá-Mirim, Estado de São Paulo

A análise da expectativa de degradação dos recursos hídricos baseou-se na integração das informações do meio físico para determinação do risco de degradação, conforme apresentado na Tabela 8. Na Figura 2, tem-se a ilustração das áreas de expectativa de degradação dos recursos hídricos dentro dos limites das APP's. Por esta análise, observou-se que 59% das APP possuem um baixo risco de degradação, enquanto que as áreas de médio a alto risco corresponderam a 11% e 30%, respectivamente. Se considerarmos que essa análise restringiu-se às APP's de uma importante área de manancial para abastecimento público, os valores das porcentagens de médio e de alto risco de degradação são elevados e indicam a necessidade de um planejamento específico por parte do poder público local, visando à modificação do cenário atual do uso das terras nos limites das APP's. Dentro das áreas inadequadamente ocupadas, verificou-se a ocorrência de atividades impactantes do ponto de vista ambiental que acarretam uma série de problemas para a preservação dos recursos hídricos,

seja pelo aporte de sedimentos, seja pela contaminação por resíduos de fertilizantes, de inseticidas e também de coliformes fecais. A importância da preservação/recomposição da vegetação ciliar foi demonstrada por Bertoni e Lombardi Neto (1992), Narumalani *et al.* (1996) e Montgomery (1997), que estudaram a ação da vegetação ciliar como agente de controle e de redução das fontes de poluição difusa e como barreira direta para o escoamento superficial da água em direção aos cursos de água. Segundo esses autores, o tipo de cobertura vegetal e o estado de degradação das zonas ciliares, associadas às características de relevo e do solo são parâmetros que interferem na eficiência da retenção de sedimentos e de possíveis contaminantes carregados para os cursos de água. Nesse sentido, as áreas de APP sob condições de maior risco de erosão, por sofrerem as maiores perdas de solo, são as maiores responsáveis pela degradação dos recursos hídricos devido ao aporte de sedimentos e de agroquímicos (Lal, 1988). Nesse estudo, apesar de não terem sido feitas as

medidas da descarga sólida transportada para os mananciais, ficou evidente que o maior risco de degradação para os recursos hídricos da área está associado àquelas áreas onde o risco de erosão é maior dentro dos limites das APP's desprovidos da vegetação ciliar.

Tabela 7. Distribuição das diferentes classes de uso da terra dentro dos limites da Área de Preservação Permanente (APP)

Uso da Terra	Área (ha)	Distribuição (%)
Pasto	428,39	32,88
Mata/Reflorestamento/Capoeira	560,48	43,02
Chácaras	98,82	7,59
Várzea	47,74	3,66
Área Urbana	34,31	2,63
Solo Exposto	26,24	2,01
Fruticultura/Horticultura	60,78	4,67
Mineração	24,55	1,88
Lotamentos	16,06	1,23
Cultura Anual/Cana-de-Açúcar	5,45	0,42
Área corretamente ocupada	560,48	43,02
Área a ser revegetada	742,34	56,98
Área Total da APP	1302,82	100,00

Tabela 8. Expectativa de degradação dos recursos hídricos nas áreas de preservação permanente

Expectativa	Área (ha)	Distribuição Relativa (%)
Alta	394	30
Muito Baixa/Baixa	769	59
Média	140	11
Muito Baixa	675	52
Área Total	1303	100

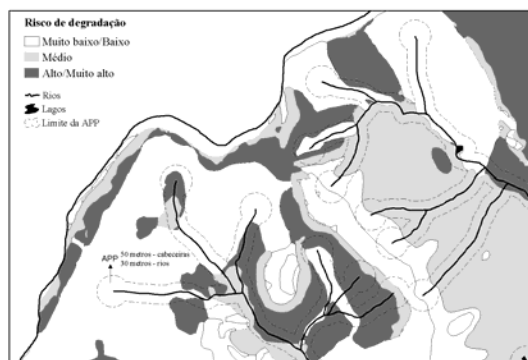


Figura 2. Áreas de preservação permanentes com zoneamento do risco de degradação dos recursos hídricos

Conclusão

A avaliação da expectativa de degradação de recursos hídricos, baseada na integração em módulos SIG de cálculos da Eups, possibilitou as seguintes conclusões:

- a proposta possibilitou o zoneamento da microbacia em relação à expectativa de degradação dos recursos hídricos, estimado

com análise integrada de fatores da Equação Universal de Perda de Solo;

- a expectativa de degradação dos recursos hídricos nas APP foi classificada entre as classes baixa, média e alta. Essas áreas devem ser priorizadas pelo poder público com relação à implantação de projetos de reorganização das atividades antrópicas nelas estabelecidas, visando a minimizar os riscos de degradação;
- a análise do risco de erosão da microbacia mostrou que em 32% da área este foi classificado como alto, o que denota um desequilíbrio entre as perdas de solo atuais e as perdas toleráveis, e um alto risco de degradação dos recursos hídricos próximos a essas áreas;
- o uso de Sistemas de Informação Geográfica otimizou a integração dos diferentes planos de informação e mostrou-se eficiente como ferramenta para a avaliação dos riscos de degradação dos recursos hídricos e para suporte à decisão de políticas públicas.

Referências

- ALMEIDA, F.F.M. de. *Fundamentos geológicos do relevo paulista*. Série Teses e Monografias, São Paulo: Universidade de São Paulo, n. 14, 1974.
- BERTONI, J.O. espaçamento de terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. *Bragantia*, Campinas, v. 18, p.113-140, 1959.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. 3. ed., São Paulo: Ícone. 1992.
- CASTRO, A.G.; VALÉRIO FILHO, M. Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 21, p. 419-426. 1997.
- CETESB - Bacia 13 - Jundiá. Diagnóstico da Poluição Ambiental no Interior do Estado de São Paulo. São Paulo: Cetesb, 1994. p. 53-76.
- CHIARINI, J.V.; DONZELI, P. L. Levantamento por fotointerpretação das classes de capacidade de uso das terras do Estado de São Paulo. Campinas: IAC (Boletim Técnico, 3), 1973. p. 89-105.
- DENARDIN, J.E. *Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. 1990. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- DONZELI, P.L. et al. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. In: LOMBARDI NETO, F.; CAMARGO, O.A., eds. *Microbacia do córrego São Joaquim (município de Pirassununga, SP)*. Campinas, IAC, Documentos IAC, n. 32, 1992. 138p.

- FADINI, A.A.B. *Impactos do uso das terras na bacia hidrográfica do rio Jundiá (SP)*. 1998. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.
- GRACIA, M.E.P.S. *Planejamento agroambiental da microbacia do córrego soturninha, Arealva/SP*. 2001. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2001.
- IBGE. *Geografia do Brasil - Região Sudeste*. Rio de Janeiro, IBGE, v. 3, 1977.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia.. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. Governo do Estado de São Paulo, 1981.
- JENKINS, A. et al. Hydrology. In: MOLDAN, B. and CERNY, J. *Biogeochemistry of small catchments: A tool for environmental research*. Chichester: John Wiley, 1994. p. 31-54.
- LAGROTTI, C.A.A. *Planejamento agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim - SP: Estudo de caso na microbacia hidrográfica do córrego do Jardim*. 2000. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp, Campinas, 2000.
- LAL, R.; STEWART, B.A. Need for land restoration. *Adv. Soil Sci.*, New York, v. 17, p. 1-11, 1992.
- LAL, R. Soil erosion by wind and water: Problems and prospects. In: LAL, R. *Soil erosion and research methods*. Wageningen: SWCS, 1988. p. 1-6.
- LEPSCH, I. F. et al. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.
- LEVY, M.C.T.C. *Avaliação da sustentabilidade das terras de Piracicaba por comparação de cenários*. 1995. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. *Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agronômico, 1975.
- MONTGOMERY, D.R. What's best on banks? *Nature*, London, v. 388, p. 328-329, 1997.
- MORAES, J.F.L. et al. Land Planning For Sustainable Development In: Watersheds using Geographical Information System. *International Archives Of Photogrammetry And Remote Sensing*, Amsterdam, v. 33, n. 3, p. 895-900. 2000.
- NARUMALANI, S. et al. Application of remote sensing and geographic information systems to the delineation and analysis of riparian buffer zones. *Aquat. Bot.*, Amsterdam, v. 58, p. 393-409, 1996.
- PINTO, S.A.F. *Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica*. 1991. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- RANIERI, S.B.L. et al. Aplicação de índice comparativo na avaliação do risco de degradação das terras. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 22, p. 751-760. 1998.
- ROCHA, J.S.M. *Educação Ambiental, primeiro e segundo graus: introdução ao terceiro grau*. Santa Maria: Imprensa Universitária, Universidade Federal de Santa Maria, 1990.
- SIVIERO, M.R.L. *Estudo da ocupação do solo a montante de uma seção do rio Atibaia associada à descarga sólida transportada*. 2003. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas, 2003.
- VALERIANO, M.M. *Estimativa de variáveis topográficas por geoprocessamento para modelagem de perda de solos*. 1999. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. *Predicting Rainfall Erosion Losses - a Guide to Conservation Planning*. Washington D. C. USDA/ARS, 1978, 58p. (Agricultural Handbook n° 537).

Received on November 29, 2001.

Accepted on October 27, 2003.