

# **IMPACTO DO USO DA TERRA NA EROSÃO DO SOLO E NO BALANÇO E QUALIDADE DE ÁGUA NA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ- SP**

## **IMPACT OF LAND USE ON SOIL EROSION AND ON THE WATER BALANCE AND WATER QUALITY IN THE CORUMBATAÍ WATERSHED – SP**

**Garcia, G. J.<sup>1</sup>, Gamero, H.G.<sup>2</sup>, Garcia, L. B. R.<sup>1</sup>, Vettorazzi, C. A.<sup>3</sup>, Kröenert, R.<sup>4</sup>, Volk, M.<sup>4</sup>, Lauch, A.<sup>4</sup>; Meyer, B.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, C.P. 178, CEP: 13.500-230, Rio Claro – SP, Brasil

<sup>2</sup>Unidade Diferenciada de Sorocaba – UNESP, Av. 3 de Março, 511, CEP: 18.087-180, Sorocaba – SP, Brasil

<sup>3</sup>Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, C.P. 09, CEP: 13.418-900, Piracicaba – SP, Brasil

<sup>4</sup>Centre for Environmental Research – UFZ, Pemaserstr – 15, D–04318, Leipzig – Alemanha

---

### **RESUMO**

O principal objetivo desta pesquisa foi o desenvolvimento da formulação de estratégias que possam contribuir para o manejo sustentado de recursos existentes em uma bacia hidrográfica sob grande pressão antrópica. Vários métodos foram aplicados. Os aspectos erosivos dos solos foram estudados pela USLE – Equação Universal de Perda de Solos e sua versão modificada (MUSLE); a distribuição da qualidade da água para Nitrogênio e Fósforo foi estudada aplicando-se o método da Análise de Superfície de Tendências; o modelo SWAT – Soil and Water Assessment Tool foi utilizado na modelagem hidrológica. O estudo revelou uma situação de equilíbrio precário na área, particularmente pelo aumento da cultura da cana-de-açúcar em áreas não recomendadas para este tipo de cultura, quanto ao relevo e tipos de solos.

**Palavras-chave:** geoestatística, equações USLE-MUSLE, modelo SWAT, erosão de solos, qualidade da água.

---

Recebido em: 31/08/2005	<i>HOLOS Environment</i> , v.6 n.2, 2006 - P. 119
Liberado para Publicação em: 22/09/2006	ISSN:1519-8421 (CD-ROM) / ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

## ABSTRACT

The main objective of this research was the development and proposal of strategies which could contribute to the sustainable management of the existing resources in a watershed under high anthropic pressure. Several methods were applied. The erosional aspects of soils were analysed using the USLE-MUSLE equations; the distribution of water quality for N and P was studied through the Trend Surface Analysis; the SWAT model was used in the hydrologic model. The study showed an unstable equilibrium in the area, mainly due to the increase of sugar-cane cultivation in non-suitable areas, specially in terms of relief and soils.

**Key words:** Geostatistics, USLE-MUSLE Equations, SWAT Model, Soil erosion, Water quality.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Rio Piracicaba situa-se, sem dúvida, em uma das áreas mais impactadas do Estado de São Paulo, pelo que tem recebido grande atenção das autoridades, tanto em nível municipal como estadual, assim como da sociedade civil organizada. O principal objetivo deste trabalho é o desenvolvimento da formulação de estratégias que possam contribuir para o manejo sustentável de recursos em áreas altamente antropizadas.

Foi utilizada como unidade de estudo a bacia hidrográfica porque como Moldan e Cerny (1994) destacam, esta é a unidade da paisagem que melhor reflete o impacto antrópico, possibilitando integrar em análises, todos os componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água, a saber: atmosfera, vegetação natural, agricultura, solos, substrato rochoso, corpos d'água e áreas industriais, dentre outros.

Conforme comentam Souto e Crestana (2000), a erosão hídrica é a mais significativa forma de erosão e é causada pela chuva e respectivo escoamento superficial. Nos locais onde ocorrem processos erosivos, ocorre redução da capacidade produtiva dos solos e a água excedente que chega até os curso d'água transporta sedimentos, nutrientes e agroquímicos.

Os modelos aplicados ao ambiente, como ferramentas de apoio à análises integradas, podem ser materiais ou conceituais. O modelo material representa um sistema físico e é mais simples que o modelo idealizado, embora tenha propriedades similares. O modelo conceitual é uma representação matemática do sistema físico, podendo ser teórico ou empírico (TIM, 1996). Tais modelos têm recebido atenção crescente, porque monitorar fisicamente uma bacia hidrográfica é um processo que demanda recursos financeiros significativos (COCHRANE e FLANAGAN, 1999).

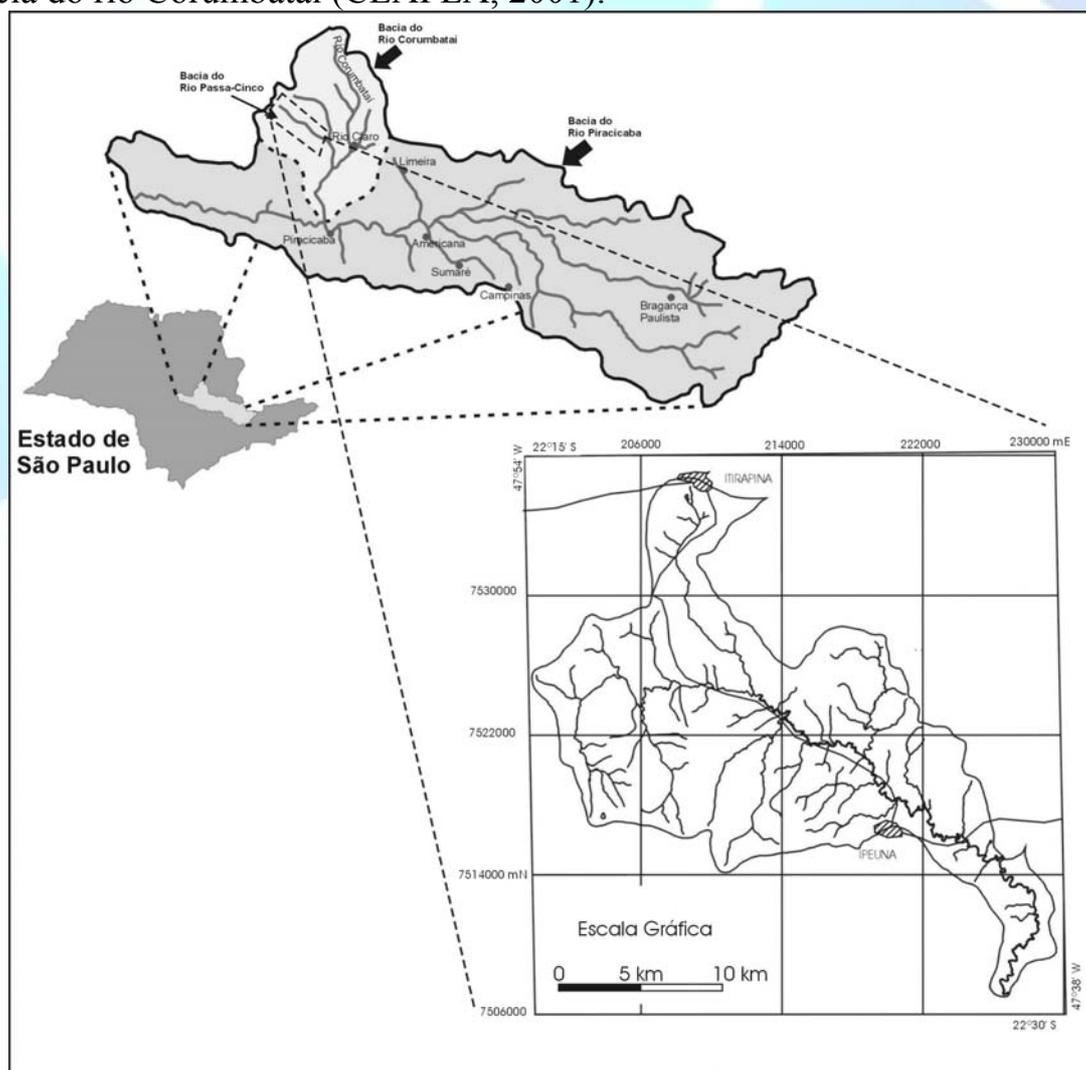
O modelo empírico (preditivo) mais utilizado é o USLE – Equação Universal de Perda de Solos (WISCHMEIR e SMITH, 1978) e sua versão modificada MUSLE

– Equação Universal de Perda de Solos Modificada, conforme já utilizaram Willians (1975) e Pinto (1996). Outros modelos mais sensíveis vem sendo utilizados, destacando-se o SWAT – Soil and Water Assessment Tool, que avalia a qualidade e produtividade de água, produção de sedimentos e cargas poluentes em bacias hidrográficas, de acordo com o uso e ocupação das terras (KING et al., 1996).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização e Descrição da Área

A bacia do rio Corumbataí tem uma área aproximada de 1710 km<sup>2</sup> e sua localização aparece na Figura 1. Esta bacia foi utilizada para a modelagem hidrológica, enquanto que para o estudo do transporte de sedimentos e qualidade da água utilizou-se a sub-bacia hidrográfica do rio Passa-Cinco, afluente da margem direita do rio Corumbataí. Na caracterização da área e no processamento das informações utilizou-se do material existente no Banco de Dados do Atlas Ambiental da Bacia do rio Corumbataí (CEAPLA, 2001).



**Figura 1** – Localização geográfica da bacia do Rio Corumbataí.

Recebido em: 31/08/2005	<i>HOLOS Environment</i> , v.6 n.2, 2006 - P. 121
Liberado para Publicação em: 22/09/2006	ISSN:1519-8421 (CD-ROM) / ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

De acordo com (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981) ocorrem na região: Grupo Tubarão – Formações Itararé e Tatuí; Grupo Passa Dois – Formações Irati e Corumbataí; Grupo São Bento – Formações Pirambóia, Botucatu, Serra Geral, Itaqueri, Rio Claro.

O relevo da área é representado por colinas com altitudes variando entre 550 e 650 m, Aparecem ainda na área, altitudes superiores a 1000 m, podendo ocorrer diferenças de nível entre a área serrana e as partes mais baixas, de até 400 m.

Quanto aos tipos de solos, ocorrem por ordem de importância: Argissolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Litólicos, Latossolos Vermelhos e Neossolos.

De acordo com a classificação de Köppen, a bacia está sob um clima subtropical do tipo Cwa, com inverno seco e verão chuvoso. As temperaturas médias anuais variam entre 18,1°C e 20,9°C. A média anual da precipitação para a região serrana está em torno de 1450 mm e a temperatura média anual de 18,7°C.

A hidrografia da área é controlada pelo rio Corumbataí e seus principais afluentes, destacando-se os rios Passa-Cinco, Cabeça e o Ribeirão Claro.

A vegetação natural remanescente aparece apenas nas encostas declivosas, nos fundos de vales e em fragmentos esparsos. Quanto ao uso das terras, a cana-de-açúcar foi à cultura que ajudou a desbravar a região, incentivada pelas autoridades reais, no início do século XIX. No entanto, em meados deste século, o café começa a se tornar à cultura mais importante, dando sequência ao processo de desmatamento, especialmente nas áreas de solos mais férteis e de relevo suavizado. Nas primeiras décadas do século XX, o café vai gradativamente perdendo sua importância e, a partir da década de 40, a agricultura vai lentamente se reorganizando com base na pequena produção, ao mesmo tempo em que se organiza a pecuária leiteira. A partir da década de 70, com os incentivos do PROALCOOL, a cana-de-açúcar começa a avançar, do setor Sul da bacia em direção Norte, em áreas com solos mais pobres e arenosos, coberto com pastagens. Este avanço tem sido constante e, com a atual demanda por álcool, as expectativas são de um incremento significativo nas áreas ocupadas por esta cultura. A Figura 2 apresenta o mapa de vegetação e de uso das terras na área do rio Passa-Cinco.

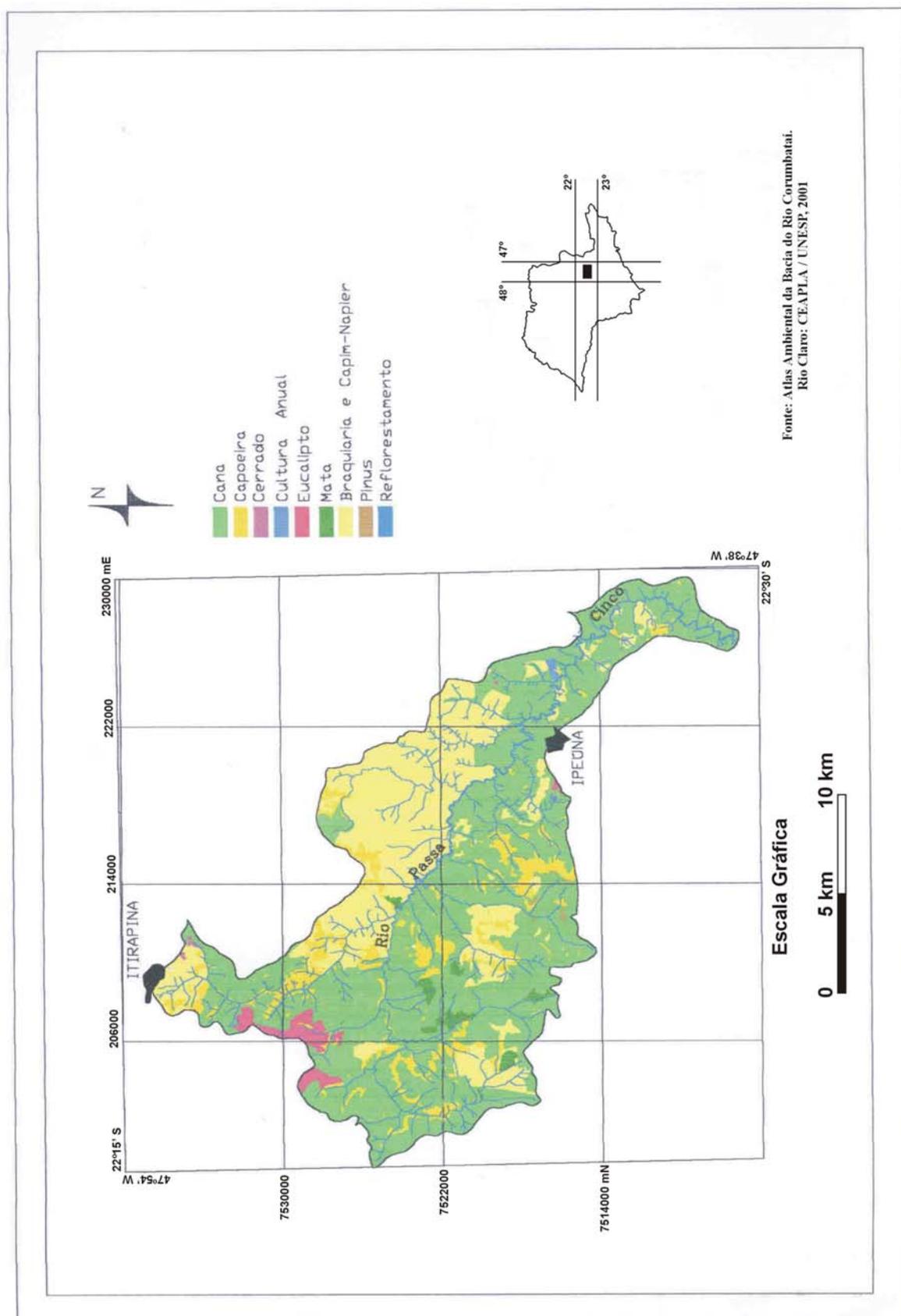


Figura 2 – Mapa de Vegetação e Uso do Solo–2000 da Bacia do Rio Passa-Cinco/SP

Recebido em: 31/08/2005	HOLOS Environment, v.6 n.2, 2006 - P. 123
Liberado para Publicação em: 22/09/2006	ISSN:1519-8421 (CD-ROM) / ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

## 2.2. Metodologia

Na avaliação do impacto do uso da terra sobre a erosão do solo, balanço e qualidade da água, alguns métodos foram utilizados para a coleta de dados, a saber:

### 2.2.1. Análise da Qualidade da Água e Modelagem Estatística

As coletas de amostras de água foram feitas nos canais ativos, abaixo do nível da água, em pontos amostrados ao longo dos cursos d'água, no mínimo uma amostra a cada 200 Km<sup>2</sup>, conforme metodologia proposta pela (COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS, 2001). A amostragem adotada foi a estratificada sistemática não alinhada (GERARDI e SILVA, 1981). Na análise dos teores de nitrito, nitrato e fósforo foram utilizados kits Merck para análise de água (Aquaquant e Aquamerck), de acordo com a faixa analítica.

Na tabulação dos dados, foi utilizada a Análise de Superfície de Tendências. Segundo Landim (1997), o comportamento espacial de variáveis mapeáveis, isto é, aquelas associadas a coordenadas, pode ser mostrado com os valores distribuídos segundo curvas de mesmo valor, conhecidos como **isopletas**. Uma **superfície de tendência** pode ser definida como uma função linear das coordenadas geográficas de um grupo de observações, construída de tal maneira que os quadrados dos desvios em relação à tendência sejam mínimos.

### 2.2.2. O Modelo SWAT

O SWAT – Soil and Water Assessment Tool é um modelo matemático que permite que diferentes processos físicos sejam simulados na bacia hidrográfica, com o objetivo de analisar os impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água, em bacias com baixo nível de monitoramento (KING et al, 1996).

Como dados de entrada são utilizados mapas de elevação digital do terreno, mapa de solos, mapa de vegetação natural e uso do solo, dados de precipitação, temperatura máxima e mínima, radiação solar, vento e umidade relativa do ar. Diante da grande quantidade de dados, é imprescindível o uso de um SIG – Sistema de Informação Geográfica, no caso os módulos ArcView e Spatial Analyst do ArcGIS.

### 2.2.3. Os Modelos USLE e MUSLE

Utilizando-se dos modelos USLE e MUSLE pode-se chegar a determinação da perda de solos, PN – Potencial de Erosão e Riscos de Erosão. O Modelo USLE é representado pela equação:  $A = R.K.LS.C.P.$  onde: A = Perda média de solo em t/ha; R = Fator erosividade da chuva (expresso em Mj.mm/h.ha) - capacidade de chuva em uma dada localidade em causar erosão em uma área sem cobertura; K = Fator erodibilidade do solo (expresso em t.h/Mj.mm) – representa diferenças na susceptibilidade natural dos solos à erosão; LS = Fator comprimento de rampa e grau de declive (adimensional) – representa a influência do relevo na erosão do solo; C = Fator Uso e manejo do solo (adimensional) - perda de solo durante um determinado

Recebido em: 31/08/2005	HOLOS Environment, v.6 n.2, 2006 - P. 124
Liberado para Publicação em: 22/09/2006	ISSN:1519-8421 (CD-ROM) / ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

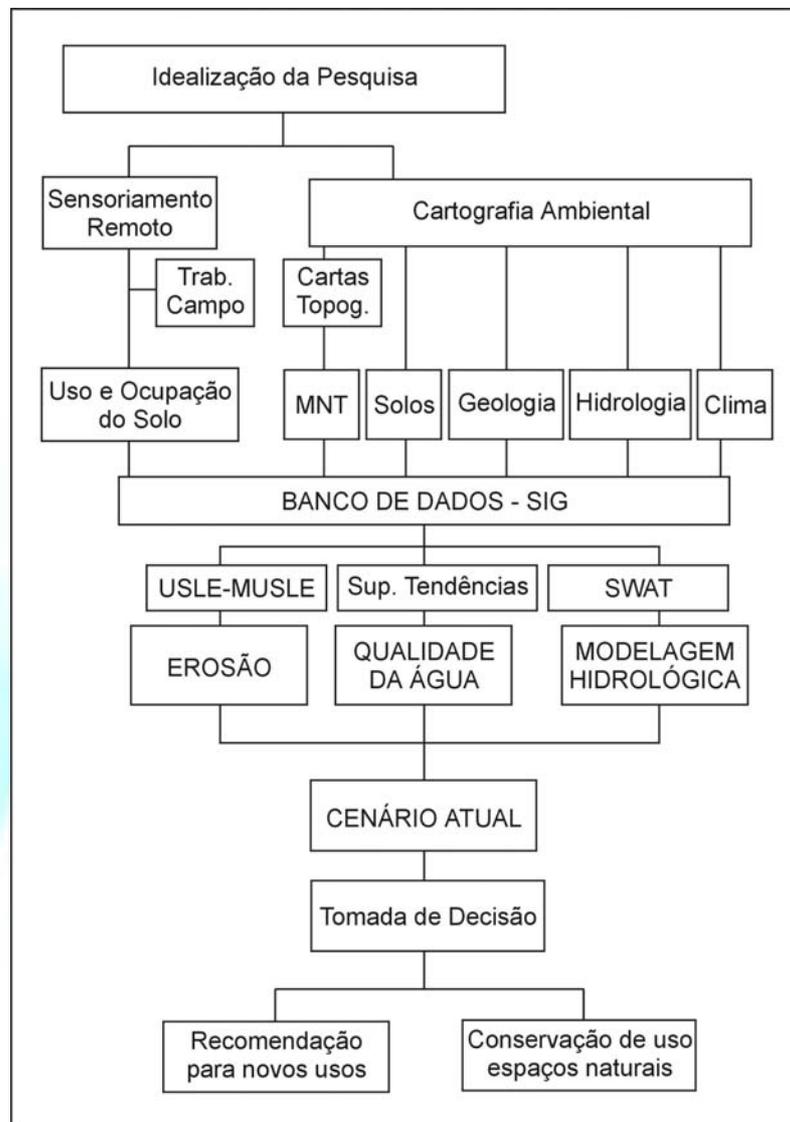
estágio da cultura, comparada à perda de solo numa parcela padrão, no mesmo período; P = Fator práticas conservacionistas (adimensional) – efeito das práticas conservacionistas na erosão do solo.

A formulação da MUSLE difere da USLE no que se refere ao termo R, substituído por informações relativas à expectativa de escoamento superficial da água “runoff” (WILLIAMS, 1975; PINTO et al, 1994), de modo que  $R = 89,6 (Q \cdot qp)^{0,56}$ . Substituindo-se este termo na equação da USLE tem-se então:  $S = 89,6 (Q \cdot qp)^{0,56} \cdot K.LS.C.P$ , onde S = fornecimento de sedimentos de uma determinada chuva (ton); Q = volume de escoamento superficial total (m<sup>3</sup>); qp = vazão pico do escoamento (m<sup>3</sup>/seg); K.LS.C.P. = termos indicados na USLE.

Para o cálculo de Q (volume de “runoff”) foram observadas as seguintes etapas (USDA,1972): a) Identificação das características hidrológicas dos solos da área; b) Superposição do “overlay” de Uso da terra e de características hidrológicas dos solos, obtendo-se valores de Curva Número (CN); c) Os valores CN são transformados em valores de Q, através de ábaco apropriado, adotando-se uma intensidade de chuva de 115 mm para 24 h, com recorrência de 10 anos.

Para o cálculo de qp, foi utilizado a formulação proposta por Genovez (1993):  $qp = 0,278.Cx.I.A^{0,9}.K$ , onde: Cx = Coeficiente de enxurrada; I = Intensidade de chuva (mm/h); A = Área de trabalho (ha); K = Coeficiente de distribuição da chuva, conforme gráfico. Valores de Cx foram obtidos pela superposição dos seguintes “overlays”: Uso da terra/cobertura vegetal; Características hidrológicas dos solos; Classes de relevo – obtido a partir da reclassificação dos dados de declividade. Para a Intensidade de chuva (I), adotou-se o valor de 115 mm/24 h, com retorno de 10 anos. Os dados referentes aos termos dos fatores da USLE/MUSLE no formato de matrizes numéricas foram introduzidas no SIG para integração e processamento, procurando-se obter o Potencial de erosão (PN) e Expectativa de erosão/Perdas Relativas (PR), de modo que:  $PN = 89,6 (Q \cdot qp)^{0,56} \cdot K.LS$  ou  $PN = 89,6 (Q \cdot qp)^{0,56} \cdot K \cdot (0,00984L^{0,63} \cdot S^{1,18})$ , de acordo com (DONZELI et al, 1992). Assim,  $PR = PN \cdot CP$ .

A Figura 3 apresenta o diagrama de fluxo das técnicas e métodos utilizados.



**Figura 3** – Diagrama de fluxo da pesquisa

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Qualidade da Água

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises para nitrato, nitrito e fósforo para os anos de 2001 e 2002.

**Tabela 1.** Resultados das Análises de água

LOCAL	RESULTADOS* (mg/l)							
	2001				2002			
	Nitrato	Nitrito	Total	Fósforo	Nitrato	Nitrito	Total	Fósforo
P1	1,51	0,08	1,59	0,06	1,60	0,08	1,68	0,06
P2	1,74	0,08	1,82	0,06	1,90	0,09	1,99	0,07
P3	2,02	0,30	2,32	0,16	2,24	0,40	2,64	0,22
P4	1,95	0,05	2,00	0,17	2,02	0,06	2,08	0,20
P5	2,50	0,04	2,54	0,15	2,65	0,04	2,69	0,16
P6	1,92	0,07	1,99	0,07	2,04	0,09	2,13	0,08
P7	1,48	0,05	1,53	0,03	1,51	0,06	1,57	0,03
P8	1,15	0,06	1,21	0,04	1,20	0,06	1,26	0,05
P9	2,40	0,20	2,60	0,20	2,93	0,15	3,08	0,27
P10	2,80	0,25	3,05	0,21	3,00	0,15	3,15	0,28

\*Média de 2 coletas espaçadas em 15 dias para o mês de fevereiro.

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos pela Análise de Superfície de Tendências. As Figuras 4a a 4d evidenciam, pelos maiores limites entre classes, que maiores quantidades de nitrato + nitrito e fósforo foram transportados em 2002, comparativamente a 2001. A explicação estaria na quantidade de chuva nos períodos analisados. Em 2001 na área, a precipitação total para os meses de janeiro e fevereiro foi de 346,8 mm e, em 2002 de 564,3 mm. Variação na produção de sedimentos e contaminantes segundo a precipitação já foi comentado por Brooks et al (1991) e Souto e Crestana (2000). Comparando-se as Figuras 4a e 4b (Nitrato + Nitrito) observa-se que a variação nos valores foi muito mais sensível que a variação ocorrida para Fósforo Total (Figuras 4c e 4d), nos dois casos, no entanto, concordantes com a quantidade de chuva em 2001 e 2002. A explicação para tais comportamentos estaria na maneira como nitrogênio e fósforo comportam-se no solo. As condições climáticas locais favorecem a mineralização do nitrogênio orgânico, que passa primeiro para  $\text{NH}_3$  e depois para  $\text{NO}_3^-$ . O adubo nitrogenado mais utilizado na região, também apresenta o nitrogênio na forma  $\text{NH}_3$  que, em seguida passa para  $\text{NO}_3^-$ . A forma  $\text{NO}_3^-$  é bastante solúvel e facilmente carregada pelas águas da chuva (JORGE, 1983). Quanto ao fósforo, o comportamento segue também o que é amplamente discutido na literatura pertinente (JORGE, 1983). Este elemento, na forma de fosfato, é facilmente fixado por elementos componentes da solução do solo: adsorção por argilas; adsorção

Recebido em: 31/08/2005	HOLOS Environment, v.6 n.2, 2006 - P. 127
Liberado para Publicação em: 22/09/2006	ISSN:1519-8421 (CD-ROM) / ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

pelos hidróxidos de ferro e alumínio; precipitação com o ferro, alumínio e manganês; formação de compostos de cálcio; formação de compostos orgânicos. Assim, ao contrário do nitrogênio, o fósforo é mais estável no perfil do solo.

As Figuras 4e e 4f mostram a tendência de acumulação e transporte de nitrato + nitrito e fósforo na bacia hidrográfica. Observando-se a Figura 2 e a Tabela 1, pode-se perceber que, a partir das cabeceiras, os valores obtidos das análises apresentam estreita relação com o tipo de cobertura vegetal (pastagem ou cana-de-açúcar). Neste caso, a cultura da cana-de-açúcar estaria permitindo que quantidades maiores de produtos sejam carregados para os cursos d'água.

### 3.2. Modelagem Hidrológica

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os valores médios anuais obtidos nas simulações na bacia para o período de 1995 a 1997, comparativamente a valores reais obtidos junto ao Centro Tecnológico de Hidráulica/Departamento de Águas e Energia Elétrica (CTH/DAEE). Vale esclarecer que a Estação Fluviométrica na foz do rio Corumbataí funciona de modo intermitente, e que de 1997 até 2005 o período máximo de operação foi de 19 meses, razão, portanto, de se utilizar o período de 1995 a 1997, no total de 36 meses. Observando-se os valores da Tabela 2, verifica-se que o valor estimado de vazão foi de 352,4 m<sup>3</sup>/s, estando próximo do valor observado igual a 364,5 m<sup>3</sup>/s. Esses valores seguem o comportamento dos outros componentes envolvidos na produção da vazão. Analisando-se a Figura 5a, pode-se observar claramente que os valores de vazão observada e estimada apresentam uma boa concordância ao longo do período, embora o modelo tenha subestimado o escoamento nos meses secos, provavelmente em virtude da ocorrência de déficit hídrico no perfil do solo, conforme também observado por Arnold et al (2000) e Spruill et al (2000).

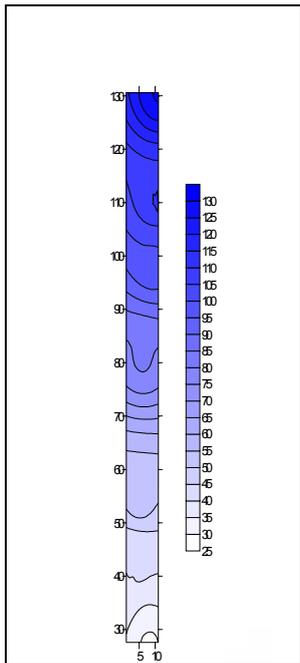


Figura 4a – Nitrato + Nitrito 2001

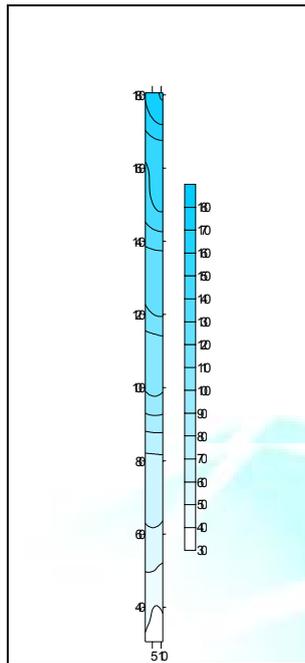


Figura 4b – Nitrato + Nitrito 2002

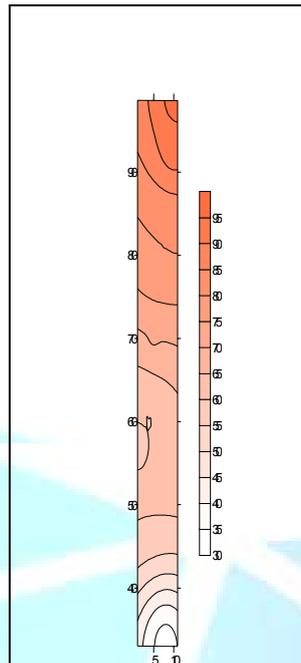


Figura 4c – Fósforo Total - 2001

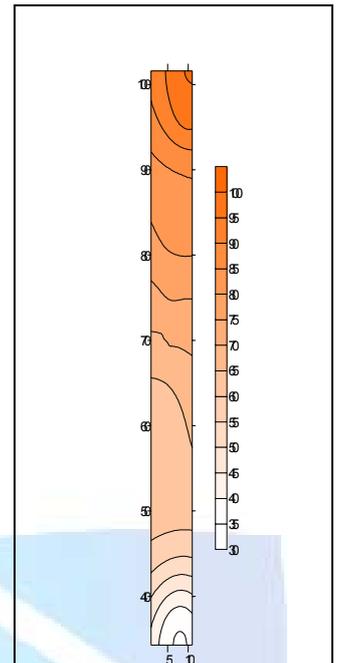
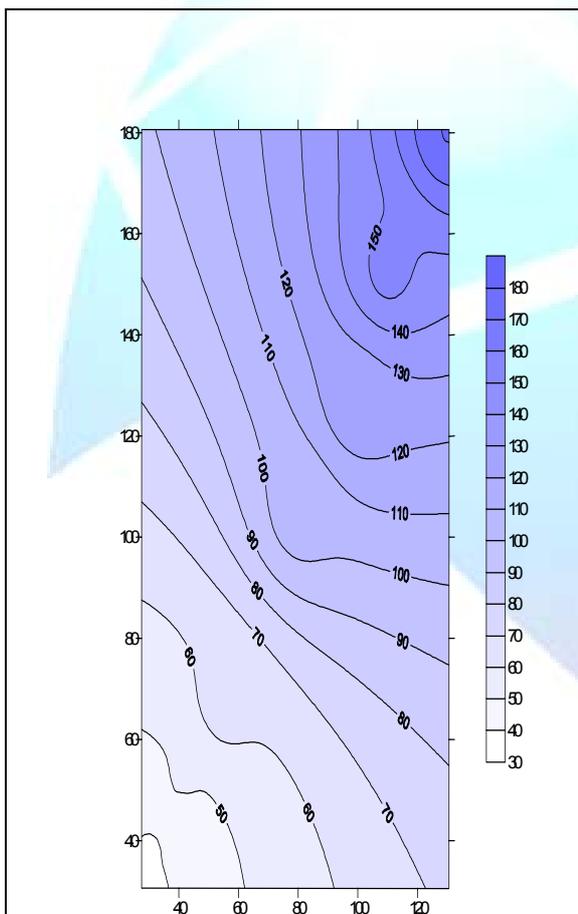
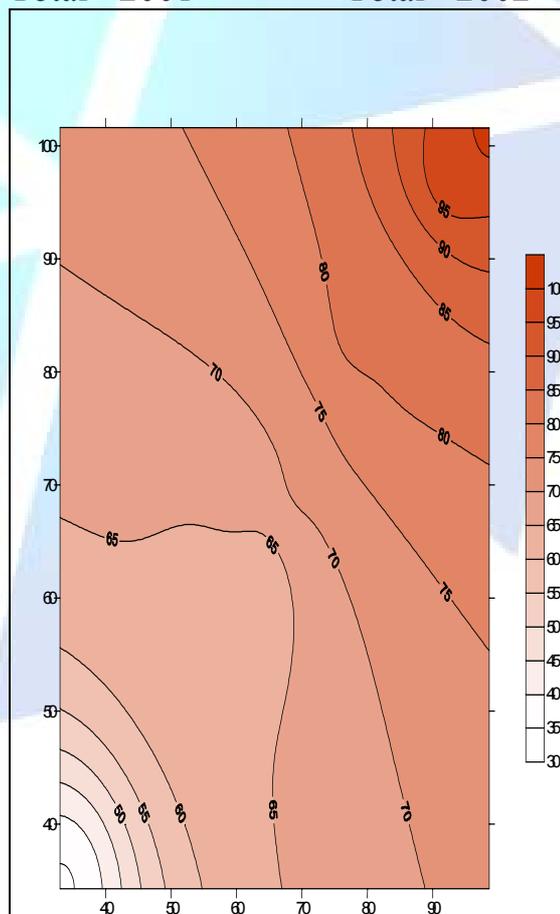


Figura 4d – Fósforo Total - 2002



Cabeceira de Drenagem



Cabeceira de Drenagem

Figura 4e – Nitrato + Nitrito 2001/2002

Figura 4f – Fósforo Total 2001/2002

Figura 4 – Análise de Superfície de Tendências

Os resultados da simulação do cenário de mudança de uso da terra para cana-de-açúcar é mostrado na Tabela 3. A vazão estimada de 443,4 m<sup>3</sup>/s foi maior que o valor observado com o uso atual da terra (Tabela 2). Isto está de acordo com os valores estimados de escoamento superficial que também aumentaram (685,9 mm) em conjunto com a diminuição dos outros valores. Este tipo de cobertura acarretaria, portanto, uma diminuição da infiltração de água no solo, provocando maior escoamento superficial e diminuindo por consequência o escoamento sub-superficial e a percolação (Figura 5b).

A Tabela 4 mostra os resultados das simulações com cobertura com floresta nativa. A vazão estimada foi de 332,1 m<sup>3</sup>/s, inferior ao valor observado na condição de uso atual do terreno. Estes resultados são coerentes, mostrando maior infiltração no perfil do solo.

Observando-se os valores da Figura 5c verifica-se que os valores de maior ocorrência de chuva, provocaram maiores valores de vazão. No entanto, comparando-se os valores de vazão estimada e observada, nota-se uma diminuição nos valores mensais na época de chuvas.

O modelo subestimou também, alguns valores de vazão no período de estiagem, como já haviam observado Arnold et al (1998) e Rosenthal et al (1995). Os resultados evidenciaram que os tipos de cobertura do terreno modificam a relação infiltração/deflúvio, interferindo diretamente nas vazões simuladas. Outros fatores que afetam esta relação, especialmente tipo e profundidade dos solos, declividade e aspectos hidrogeológicos deixaram de ser levados em conta, pela falta de informações ao nível exigido pelo modelo. Os resultados indicam ainda que os estudos devem ser aprofundados, especialmente na melhoria da sensibilidade do método.

**Tabela 2.** Simulação bacia/uso atual

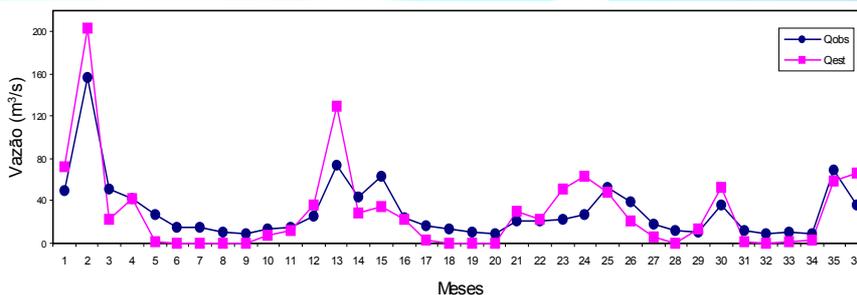
ANO	Precipitação (mm)	Esc. sup. (mm)	Esc. ss (mm)	Percolação (mm)	Vazão obs. (mm)	Vazão obs. (m <sup>3</sup> /s)	Vazão est. (m <sup>3</sup> /s)
1995	1677	647,8	28,4	192,7	660,0	429,4	399,9
1996	1700	664,4	31,1	203,4	556,1	347,0	384,8
1997	1458	481,6	29,1	195,3	506,2	317,2	272,5
Média	1612	598,0	29,5	197,1	574,1	364,5	352,4

**Tabela 3.** Simulação bacia/cana-de-açúcar

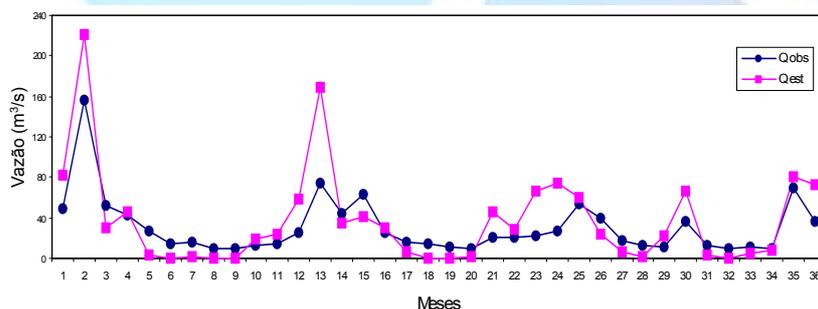
ANO	Precipitação (mm)	Esc. sup. (mm)	Esc. ss (mm)	Percolação (mm)	Vazão obs. (mm)	Vazão obs. (m <sup>3</sup> /s)	Vazão est. (m <sup>3</sup> /s)
1995	1677	729,1	26,1	134,7	660,0	429,4	483,9
1996	1700	775,3	26,2	159,0	556,1	347,0	496,2
1997	1458	553,5	24,9	61,1	506,2	317,2	350,0
Média	1612	685,9	25,7	118,2	574,1	364,5	443,3

**Tabela 4.** Simulação bacia/floresta nativa

ANO	Precipitação (mm)	Esc. sup. (mm)	Esc. ss (mm)	Percolação (mm)	Vazão obs. (mm)	Vazão obs. (m <sup>3</sup> /s)	Vazão est. (m <sup>3</sup> /s)
1995	1677	468,7	34,5	292,0	660,0	429,4	324,0
1996	1700	562,5	32,7	317,6	556,1	347,0	367,7
1997	1458	462,6	30,1	332,5	506,2	317,2	304,6
Média	1612	497,9	32,4	314,0	574,1	364,5	332,1



**Figura 5a** – Uso atual



**Figura 5b** – Cana-de-açúcar

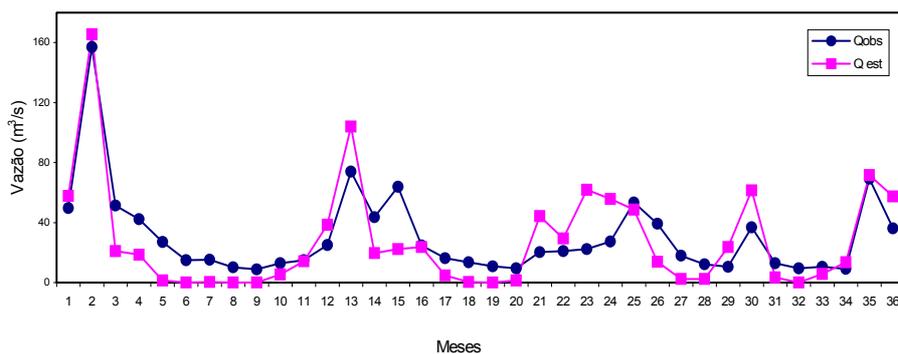


Figura 5c – Floresta nativa

Figura 5 – Vazões Observadas e Estimadas

### 3.3. Aspectos Erosivos

#### 3.3.1. Potencial de Erosão do Solo (PN)

Como indicado na Metodologia, foi gerado o mapa de Potencial de Erosão do Solo (Figura 6). As quatro classes de PN adotadas foram definidas conforme distribuição de seus valores, os quais não devem ser considerados em valores absolutos.

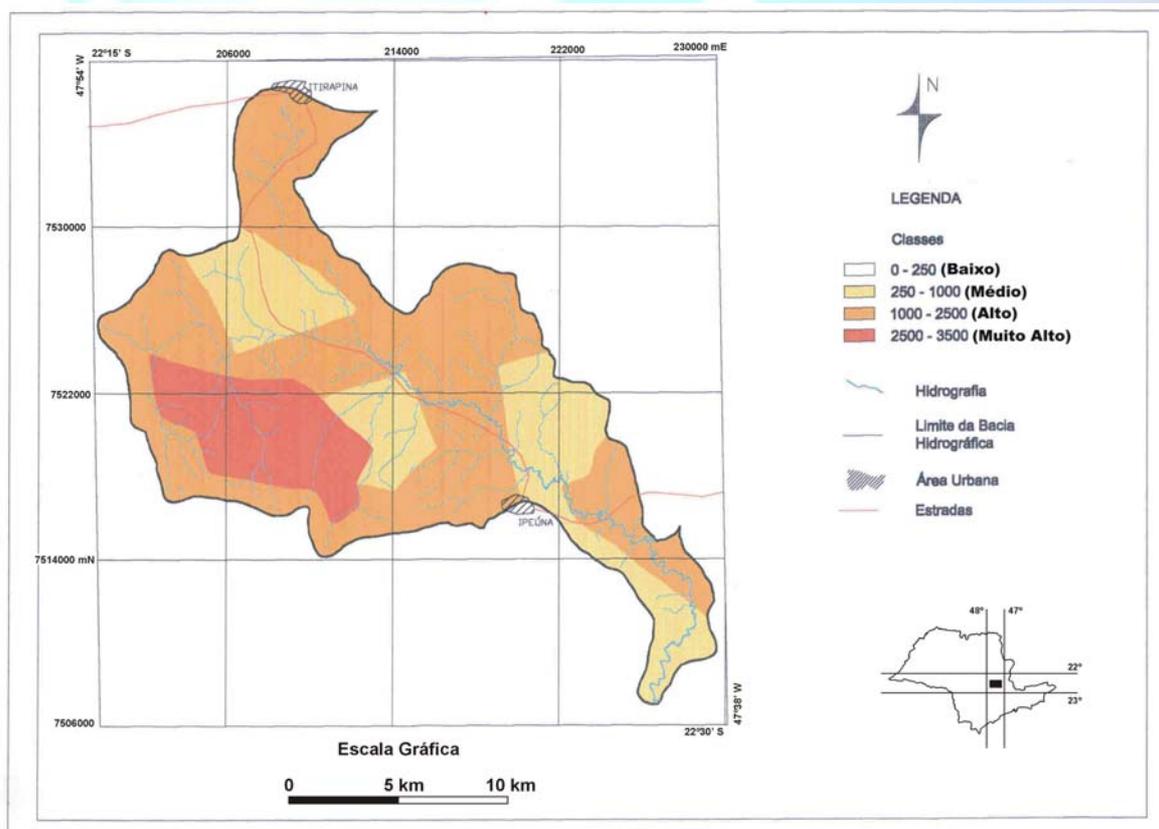
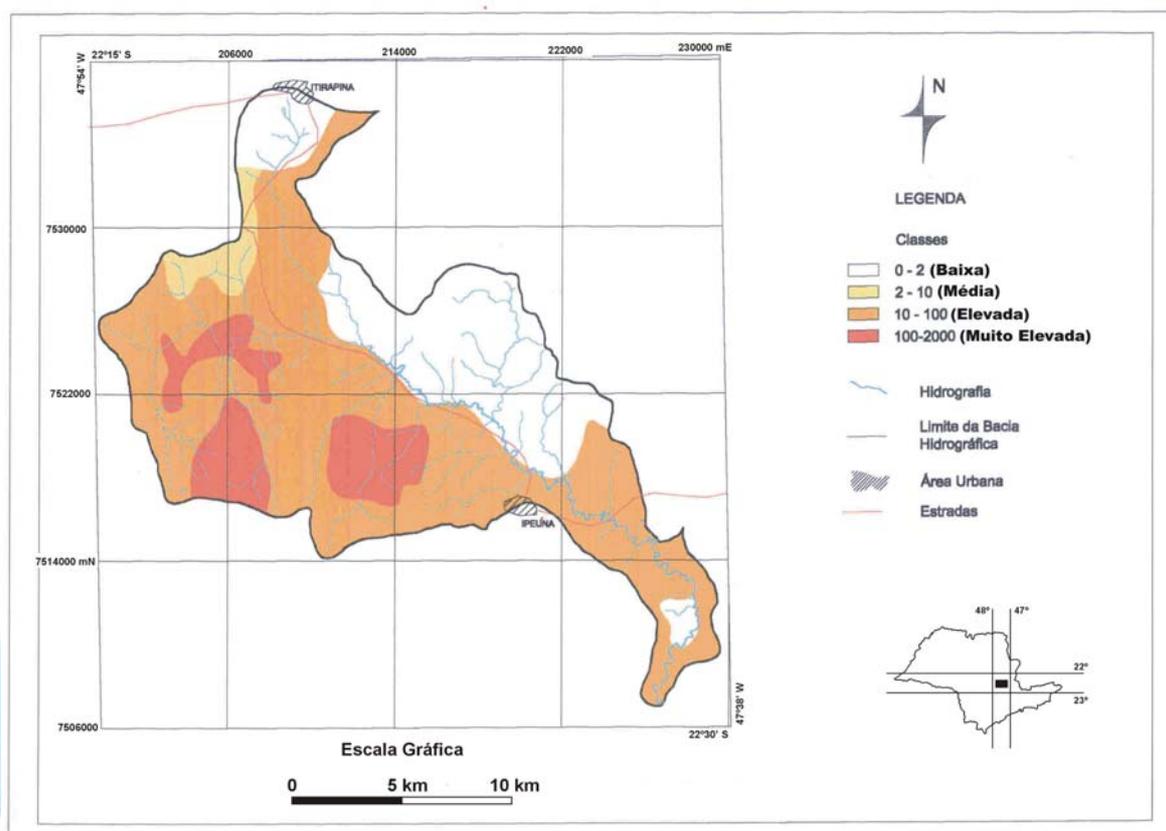


Figura 6 – Potencial de Erosão

### 3.3.2. Expectativa de Erosão do Solo (Perdas Relativas – PR)

O estudo leva em conta o potencial de erosão e os valores dos fatores C e P da USLE. Neste caso o fator P foi considerado igual a 1,0 (ausência de práticas de conservação). Assim, os dados de PR vinculam-se exclusivamente à influência da variação da ocupação das terras e cobertura vegetal (fator C), os quais foram definidos a partir da integração dos dados de PN e fator C no SIG, gerando-se nova matriz de valores os quais foram agrupados em quatro classes, a partir da análise de sua variação de ocorrência. A Figura 7 mostra os resultados obtidos.



**Figura 7** – Expectativa de Erosão

### 3.4. Interações dos Elementos da Paisagem

Da análise integrada dos dados obtidos, verifica-se que o estágio atual de antropização da bacia do rio Passa-Cinco reflete perfeitamente o histórico da ocupação sócio-econômica da região, onde cada ciclo econômico deixou uma herança, quase sempre negativa, conforme já comentado.

No estudo da erosão dos solos, através do Potencial de Erosão (Figura 6) e Expectativa de Erosão (Figura 7), verifica-se que existe um equilíbrio relativo, tendo em vista a predominância de coberturas vegetais pouco agressivas ao solo (pastagens – 55,5%; reflorestamento – 7,6%; vegetação natural – 13,5% = 76,6%). No entanto, ao longo dos anos, a cana-de-açúcar tem avançado gradativamente sobre as áreas de

Recebido em: 31/08/2005	HOLOS Environment, v.6 n.2, 2006 - P. 133
Liberado para Publicação em: 22/09/2006	ISSN:1519-8421 (CD-ROM) / ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

pastagens, quase sempre sobre solos arenosos, podendo-se esperar um aumento na erosão dos solos da bacia.

Sendo uma área com várias restrições na exploração, boa parte dela tem uso atual compatível com a vocação agrícola (55,5% de pastagens), não tanto porque esta seja uma decisão técnica, mas principalmente, porque o nível tecnológico nas propriedades é baixo, como revelou pesquisa de Santos (2002). Este mesmo levantamento também constatou que possivelmente, o nível tecnológico é baixo porque o grau de escolaridade dos proprietários também é baixo. Este fato também é responsável pelo pouco acesso que os produtores tem a fatores que permitiriam aumentar a produtividade, como “produtor associado”, “produtor cooperado”, crédito rural, escrituração agrícola, assistência técnica.

Em 1990, a cultura da cana-de-açúcar correspondia a aproximadamente 5% da área enquanto que em 2000 a aproximadamente 25% (CEAPLA, 2001), demonstrando que o risco de erosão tem crescido gradativamente, levando em conta que o nível tecnológico tenha permanecido o mesmo. Como existem possibilidades concretas da expansão da cana-de-açúcar, haveria necessidade de um programa assistencial aos agricultores da área, nos quesitos identificados como limitantes à melhoria do nível de exploração.

O estudo da qualidade da água, representado neste trabalho pelos níveis de fósforo e nitrogênio, revelou que quantidades significativas são carregadas para os cursos d'água, indicando a necessidade de estudos mais detalhados sobre o manejo das culturas, especialmente a cana-de-açúcar. Como já comentado, o aumento no plantio desta cultura significará maior adição de fertilizantes ao sistema, tendo como resultado, aumento do N e P nos cursos d'água, bem como outros componentes de outros adubos. Imagina-se que o mesmo deva ocorrer com os pesticidas aplicados.

A avaliação hidrológica igualmente mostrou que é possível estimar a vazão na bacia do rio Corumbataí, a partir de séries temporais, com boa precisão. Mais importante, no entanto é a simulação realizada com o tipo de cobertura vegetal (cana-de-açúcar e mata), tendo como referência o uso atual. Encontrou-se um aumento significativo na vazão para cana-de-açúcar e diminuição para mata, o que é compreensível. Aqui também, há que se considerar o nível de manejo da cultura, não se esquecendo que ela não é recomendável para a região. Ou seja, mais água escoando superficialmente, mais erosão superficial é induzida e mais sedimentos são carregados para os cursos d'água.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estudo revelou para a bacia estudada, uma situação de equilíbrio que pode ser considerado precário, levando em conta a rápida expansão da cultura da cana-de-açúcar em áreas não recomendadas, especialmente em função do relevo e tipos de solos. Esta inadequação de uso se materializa pelo aumento da erosão destes solos, cujos sedimentos são carregados para os cursos d'água, juntamente com componentes

Recebido em: 31/08/2005	HOLOS Environment, v.6 n.2, 2006 - P. 134
Liberado para Publicação em: 22/09/2006	ISSN:1519-8421 (CD-ROM) / ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

dos fertilizantes utilizados nas culturas. Igualmente, o tipo de cobertura do terreno afeta o volume de água dos rios locais, pelo aumento do deflúvio em detrimento da infiltração. Isto ocasiona aumento na erosão e diminuição na capacidade de recarga dos aquíferos subordinados ao sistema. Os resultados indicam a necessidade do Planejamento Ambiental da área de modo a prevenir uma degradação ambiental ainda mais significativa que a atual. Neste caso, o estudo preliminar seria o Zoneamento Ambiental, preferencialmente do tipo ecológico-econômico.

## 5. REFERENCIAS

ARNOLD, J.G.; MUTTIAH, R.S.; ALLEN, P.M. Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin. *J. of Hydrology*, Orlando, v. 227, n.1, p.21-40. 2000.

ARNOLD, J.G.; SRINAVASAN, R.; WILLIAMS, J.R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *J. American Water Resources Association*, Middleburg, v.34, n.2, p.73-89. 1998.

BROOKS, K.N.; FOLLIOU, P.F.; GREGERSEN, H.M. *Hidrology and management of watersheds*. Ames: Iowa State Un. Press, 1991. 204 p.

CEAPLA – *Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí*. Rio Claro, IGCE-UNESP, 2001. Disponível em [www.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlas](http://www.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlas). Acesso em 10 de julho de 2001.

COCHRANE, T.A.; FLANAGAN, D.C.; ENGEL, B.A. WEPP – *Watershed modeling using ArcView 3.0 (GIS)*. Madison: ASA, 1999. 108 p.

CPRM-COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS. *Manual de Geoquímica*. Brasília, DF: CPRM, 2002. 28p.

DONZELI, P.L.; VALERIO Fº, M.; PINTO, S.A.F.; NOGUEIRA, F.P.; ROTTA, C.L.; LOMBARDI NETO, F. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. *Documentos IAC*. v. 29, p.91-119, 1992.

GENOVEZ, A.M. *Métodos de estimação de vazões de enchentes para pequenas bacias*. Campinas: FEC-DHS, 1993. 42p.

GERARDI, L.H.; SILVA, B.N. *Quantificação em Geografia*. São Paulo: Difel, 1981. 161 p.

Recebido em: 31/08/2005	HOLOS Environment, v.6 n.2, 2006 - P. 135
Liberado para Publicação em: 22/09/2006	ISSN:1519-8421 (CD-ROM) / ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

IPT-INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT, 1981, 2v.

JORGE, J.A. *Solo – Manejo e adubação*. São Paulo: Nobel, 1983. 315 p.

KING, K.W.; ARNOLD, J.G. SRINAVASAN, R. *Soil and Water Assessment Tool – SWAT*. Texas: USDA, 1996. 142 p.

LANDIM, P.B. *Análise estatística de dados geológicos*. São Paulo: EDUNESP, 1997. 145 p.

MOLDAN, B.; CERNY, J. *Biogeochemistry of small catchments*. Chicester: John Wiley, 1994. 288 p.

PINTO, S.A.F. *Contribuição metodológica para análise de indicadores da erosão do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelo preditivo*. Rio Claro. 1996. 136 f. Tese (Livre Docência em Cartografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1996.

PINTO, S.A.F.; DONZELI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; LOMBARDI NETO, F. e VALERIANO, M.M. Análise comparativa da aplicação dos modelos MUSLE e USLE, com o suporte de técnicas de geoprocessamento. In: X REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, N.10, 1994, Florianópolis. *Resumos...* Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p. 127.

ROSENTHAL, W.D.; SRINAVASAN, R.; ARNOLD, J.G. Alternative river management using a linked GIS – Hydrologic model. *Transactions of the ASAE*, St Joseph, v. 38, n.8, p.783-790. 1995.

SANTOS, C.S. *Uso da terra e nível tecnológico das unidades de produção agropecuária da bacia hidrográfica do Rio Passa-Cinco/SP*. Rio Claro, 2002. 118 f. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

SOUTO, A.R.; CRESTANA, S. Identificação das áreas potenciais de produção de sedimentos com o modelo AGNPS e técnicas de SIG em uma microbacia hidrográfica. *Rev. Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 4, n. 4, p.429-435. 2000.

Recebido em: 31/08/2005	HOLOS Environment, v.6 n.2, 2006 - P. 136
Liberado para Publicação em: 22/09/2006	ISSN:1519-8421 (CD-ROM) / ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

SPRUIILL, C.A. WORKMAN, S.R.; TARABA, J.L. Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model. *Transactions of the ASAE*, St Joseph, v. 43, n.10, p.1431-1439. 2000.

TIM, U.S. Emerging technologies for hydrologic and water quality modeling research. *Transactions of the ASAE*, St Joseph, v. 39, n.4, p.465-476. 1996.

USDA – SOIL CONSERVATION SERVICE. *National engineering handbook hydrology*. Washington, DC: SCS, 1972. 282p.

WILLIAMS, J.R. *Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor*. Washington, D.C.: USDA-ARS Handbook 5-40, 1975. 228 p.

WISCHMEIR, W.H; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning. *Agricultural Handbook n. 537*. Washington, D.C.: USDA, 1978. 57p.

