

# 3

## Erosão do Solo: Indicadores Físicos e Econômicos

*João Fernando Marques  
Francisco Lombardi Neto  
Andrea Álvaro Alberto Bacellar*

Resumo .....	131
Summary .....	132
Introdução .....	133
Metodologia .....	134
Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS .....	134
Equação Universal de Perdas de Solo Modificada - MEUPS .....	136
Perdas de nutrientes .....	137
Custo de reposição .....	138
Resultados .....	139
Discussão .....	145
Conclusões .....	150
Referências .....	151



---

## Resumo

O objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação física e econômica das perdas de solo em duas áreas distintas da Microbacia do Córrego Taquara Branca, Sumaré- SP: a área do Assentamento, marcadamente de agricultura familiar, e a ocupada por uma agricultura tipo empresarial, denominada neste trabalho de Microbacia. As perdas de solo, estimadas pela Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS, foram por volta de  $70\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ , isto é,  $138.483\text{ t}\cdot\text{ano}^{-1}$  para a Microbacia e  $92.70\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  e  $20.023\text{ t}\cdot\text{ano}^{-1}$  para o Assentamento, considerando as condições naturais relativas ao fator topográfico. Os resultados com o fator LS reduzido foram  $22.08\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  e  $45.705\text{ t}\cdot\text{ano}^{-1}$  para Microbacia e,  $24.97\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  e  $5\,368.55\text{ t}\cdot\text{ano}^{-1}$  para o Assentamento. As amostras de solo foram coletadas para se determinar as perdas de nutrientes bem como as necessidades de reposição de fertilizantes para a área. Em termos econômicos a alteração no fator topográfico, do natural para o reduzido, resultou em uma economia para a área toda de R\$170.000,00 por ano, sendo R\$149.697,00 referentes à Microbacia e R\$21.353,00 ao Assentamento.

---

## Summary

The purpose of this work was to evaluate physical and economic losses due to soil erosion. In order to estimate physical and economic losses the Universal Soil Loss Equation, USLE, and the replacement cost approach were used. For the LS factor, two conditions were considered, natural LS and reduced LS. USLE demonstrates that soil losses are around  $70 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$  i.e.  $138\,483 \text{ t} \cdot \text{year}^{-1}$  for the Microbasin and  $92.70 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$  and  $20.023 \text{ t} \cdot \text{year}^{-1}$  for the family system. The reduced LS results were  $22.08 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$  and  $45.705 \text{ t} \cdot \text{year}^{-1}$  for Microbasin and  $24.97 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$  and  $5\,368.55 \text{ t} \cdot \text{year}^{-1}$  for the family system. Soil samples were collected and nutrient contents were determined as well as nutrient and fertilizer losses for the area. Translated into economic terms, changing from natural LS to reduced LS resulted in total savings of R\$170 000.00 per year, i.e. R\$149.697,00 for Microbasin and R\$21.353,00 for the family system.

## Introdução

A recuperação e conservação dos recursos naturais renováveis - solo, água, flora e fauna - devem ser realizadas de maneira abrangente e integrada, no sentido de que os fatores econômicos, sociais, físicos e biológicos possam contribuir para tais propósitos.

A gestão integrada dos recursos pressupõe a solução de conflitos na busca de interesses comuns dos atores sociais envolvidos, a presença de características físicas similares, a percepção dos fatores críticos e a cristalização de elementos objetivos para a solução dos conflitos, além de um processo decisório aceito pela comunidade envolvida.

É inquestionável a importância da conservação e recuperação do solo, bem como a conservação da qualidade da água para todos os integrantes de uma bacia hidrográfica.

Assad & Sano (1993) enfatizaram que a unidade geográfica ideal para programação de uso e manejo dos recursos naturais renováveis é a bacia hidrográfica, definida como a região de contribuição para um determinado curso d'água.

A integração de dados e informações sobre os aspectos fisiográficos e socioeconômicos de uma bacia hidrográfica permite que se obtenha diversos resultados de interesse. Para este fim, a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) oferece grandes vantagens. O SIG tem como principal função armazenar, recuperar e analisar mapas, realizando combinações destas informações. Os cruzamentos automatizados de informação oferecem, além de uma elevada exatidão do produto final, uma grande economia de tempo em relação aos métodos de análise tradicionais. Ou seja, o planejamento de manejo e conservação de solo e água de uma bacia pode ser executado com maior precisão e rapidez por meio do SIG.

Segundo Chaves (1996), os modelos matemáticos de predição de erosão são ferramentas poderosas na pesquisa e nas práticas agrícolas pois, aplicados a situações de campo, tais modelos auxiliam na determinação das práticas conservacionistas e dos manejos mais indicados para os diferentes cenários de aplicação.

Para este estudo separou-se o Assentamento do restante da Microbacia, e estas duas áreas foram tratadas isoladamente. Esta distinção tornou-se necessária em função das diferenciadas características socioeconômicas existentes entre as duas áreas. Na área do Assentamento predomina a produção tipicamente familiar e no restante da Microbacia a exploração agrícola, tipo empresarial. Denomina-se neste trabalho Assentamento I a porção da área ocupada pela agricultura familiar, e de Microbacia o restante.

## Metodologia

Com o finalidade de estimar as perdas físicas do solo na Microbacia do Córrego Taquara Branca foi utilizada a Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS. Para o calculo do valor econômico da erosão do solo utilizou-se o método do custo de reposição.

### **Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS**

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS ) é utilizada para estimar perdas de solo devido a erosão laminar. Originalmente desenvolvida por Wischmeier & Smith (1978) foi adaptada às condições do Estado de São Paulo por Bertoni & Lombardi Netto (1990).

Os parâmetros da EUPS são:

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

em que:

**A** = Perdas de Solo (ton/ha/ano)

**R** = Erosividade (poder erosivo das chuvas) (MJ.mm/ha.h.ano)

**K** = Erodibilidade do solo (susctibilidade dos solos à erosão) (t.h/mj.mm)

**LS** = Fator topográfico - comprimento de rampa e declividade (adimensional)

**C** = Fator uso/cobertura vegetal e manejo (adimensional)

**P** = Fator práticas conservacionistas (adimensional)

**Fator R - Erosividade da chuva**

O Fator R foi calculado pela equação desenvolvida por Lombardi Netto & Moldenhauer (1990), que utilizaram 22 anos de registros de precipitação pluviométrica para a região de Campinas de 22 anos, estabelecendo a seguinte equação:

$$R = 89,823(r^2 / P)^{0,759} \quad (2)$$

onde:

R = erosividade da chuva (MJ.mm/há<sup>1</sup>.h<sup>-1</sup>)

r = precipitação média mensal (mm)

P = precipitação média anual (mm)

**Fator K - Erodibilidade do solo**

Bertoni & Lombardi Netto (1990) estimaram o fator K para os principais solos paulistas. No presente trabalho, o fator erodibilidade foi calculado pelos valores de K representativos para cada unidade de solo existente no Assentamento e na Microbacia ponderado pela área ocupada pela unidade.

**Fator LS - Comprimento e grau de declividade**

Para o cálculo do fator LS, Bertoni & Lombardi Netto (1990) desenvolveram para os solos do Estado de São Paulo, em talhões de diferentes comprimentos, a seguinte equação:

$$LS = 0,00984 C^{0,63} D^{1,18} \quad (3)$$

em que

LS = fator topográfico

C = comprimento de rampas em metros

D = grau de declive em porcentagem

**Fator C - Uso e manejo**

As variáveis uso e manejo são avaliadas em conjunto. Desta forma, diferentes combinações dessas variáveis apresentam diferentes efeitos nas perdas de solo.

Bertoni & Lombardi Netto (1990) obtiveram a relação entre o uso e manejo e as perdas de solo por meio de parcelas experimentais para diferentes culturas e tipos de manejo no Estado de São Paulo.

**Fator P - Práticas conservacionistas**

Este fator mede a relação entre a perda de solo e determinada prática conservacionista com a correspondente perda quando a cultura está implantada no sentido do declive (Wischmeier & Smith, 1978).

Plantio em contorno, terraceamento, plantio em faixas de contorno, e alternâncias de capinas são as práticas conservacionistas mais comumente utilizadas em culturas anuais. Para o presente estudo considerou-se duas situações distintas em relação a este fator, ou seja, LS sem e com curvas de nível.

**Equação Universal de Perdas de Solo Modificada - MEUPS**

A MEUPS (EUPS Modificada) leva em consideração a expectativa de escoamento superficial das águas pluviais (*run-off*) substituindo na EUPS o fator R, erosividade das chuvas, pelo  $Q \cdot qp$  (Pinto, 1993).

O modelo MEUPS usado neste trabalho refere-se a formulação apresentada por Lombardi Netto (sd), como segue:

$$S = 89,6 \cdot (Q \cdot qp)^{0,56} \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (4)$$

em que:

S = aporte de sedimentos de uma chuva individual numa determinada bacia hidrográfica, em toneladas.

Q = volume de escoamento superficial em  $m^3$ .

qp = vazão pico em  $m^3/s$ .

K, LS, C e P como definido em (1).

Os fatores K, C, P e LS são os mesmos utilizados pela EUPS, enquanto Q, qp e S foram calculados com o auxílio de um software específico<sup>1</sup>, a partir da entrada dos seguintes dados:

- fatores comuns à EUPS (K, LS, C, P);
- curva-número média da região;
- declividade média (m/m);
- comprimento máximo da rede de drenagem (m);
- área da bacia de drenagem (ha), e;
- características de uma determinada precipitação (no caso, trabalhou-se com a média da região).

### **Perdas de nutrientes<sup>2</sup>**

Diversas são as causas das perdas de nitrogênio do solo, destacando-se no entanto, a erosão, lixiviação e volatilização. As quantidades de nitrogênio que um solo perde por erosão dependem de inúmeros fatores, tais como declive, duração e intensidade das chuvas, teor de N existente no solo, permeabilidade, cobertura vegetal, práticas agrícolas e outros. As perdas de nitrogênio causadas pela erosão são significativas porque a maior parte desse nutriente encontra-se nas camadas superficiais do solo, as mais susceptíveis à erosão laminar.

As perdas de fósforo (P) podem ser causadas pela lixiviação e pela erosão. Enquanto as perdas por lixiviação são desprezíveis - o íon fosfato tem baixa mobilidade -, as perdas por erosão podem tornar-se elevadas, principalmente em regiões com altos índices pluviométricos.

As perdas de potássio (K) devem-se sobretudo à lixiviação e à erosão e estão relacionadas com a textura do solo, capacidade de troca catiônica e de fixação de K. Em certos casos a erosão superficial pode causar grandes perdas de K na medida em que remove também os fertilizantes adicionados ao solo e à matéria orgânica existente.

---

<sup>1</sup> Disponível no Centro de Solos e Recursos Agroambientais, Unidade de Fotointerpretação do Instituto Agronômico de Campinas, IAC.

<sup>2</sup> Esta parte do trabalho apoiou-se em Ferraz de Mello et al. (1989).

O cálcio (Ca) é removido do solo predominantemente por lixiviação e erosão. No entanto, as perdas por erosão dependem da precipitação pluviométrica, declividade do terreno, estrutura do solo e práticas conservacionistas. Semelhantemente aos demais nutrientes do solo, as perdas de magnésio (Mg) se dão por lixiviação e erosão. As perdas de Mg pela erosão, claramente, dependem da intensidade do processo erosivo mas também da declividade e da riqueza do solo em Mg.

### **Custo de reposição**

O método do custo de reposição associa diretamente alterações na qualidade do ambiente com as ocorridas na produtividade dos fatores e no produto físico final da atividade econômica, resultando em modificações nos custos de produção e nas receitas ou benefícios obtidos pelas unidades econômicas que recebem os impactos ambientais.

Os custos econômicos causados pela erosão no Brasil utilizando os resultados da EUPS e o conceito de custo de reposição de fertilizantes podem ser encontrados em Bastos Filho (1995); Cavalcanti (1995); Fernandes (1997); Marques (1998); Ortiz López (1997).

Os custos foram calculados utilizando-se as perdas de solo estimadas pela EUPS transformadas em perdas de nutrientes, conforme a composição do solo e sua correspondência em perdas de fertilizantes. Considerou-se que toda a perda de terra representa também uma perda de nutrientes e uma correspondente perda em fertilizantes.

Portanto, as estimativas dos valores econômicos, através do método do custo de reposição, implicou em conhecer o teor de nutrientes do solo do Assentamento e da Microbacia. As transformações das perdas de solo em nutrientes perdidos tomaram por base as análises de 106 amostras compostas de solo, coletadas na área da Microbacia e do Assentamento. Foram determinados os teores de matéria orgânica (que serviu de base para determinação do teor de nitrogênio)<sup>3</sup>, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

---

<sup>3</sup> Foi utilizada a relação: Matéria Orgânica = N x 0,20, sugerida em Ferraz de Mello et al. (1989).

Para efeito das estimativas subseqüentes foi considerado que as quantidades de nutrientes determinadas a partir dos teores existentes no solo do Assentamento e da Microbacia, seriam perdidas e deveriam ser repostas na sua totalidade pelos agricultores na forma de fertilizantes.

## Resultados

A primeira etapa do trabalho consistiu da atualização dos mapas de uso da Microbacia e do Assentamento. O levantamento dessas informações foi feito através de visitas ao local para levantamento visual e entrevistas com os proprietários. Os novos dados foram digitalizados, tendo-se como referência os mapas elaborados por Menk (1995).

O procedimento para a determinação da perda de solo e da geração de sedimentos, através da EUPS e da MEUPS, respectivamente, consistiu em calcular a média (ponderada pela área) de cada fator componente dessas equações, para a Microbacia e para o Assentamento, separadamente. Desta forma, o resultado obtido é uma média representativa de cada área sob estudo.

### **Fator Erosividade (R)**

Tendo em vista que a área sob estudo é relativamente pequena, em termos anuais foi considerado um fator R único para toda a área.

Este fator foi obtido utilizando-se os registros pluviométricos mantidos pela estação meteorológica de do IAC em Campinas, e segundo o modelo proposto por Lombardi Netto & Moldenhauer (1990), como pode ser visto na Tabela 1.

O fator R encontrado, 6828 MJ.mm/ha.h.ano, conforme Tabela 1, foi utilizado tanto para a área ocupada pela Microbacia quanto pelo Assentamento.

$$R \text{ Microbacia} = R \text{ Assentamento} = 6828$$

**Tabela 1.** Índices de precipitação e erosividade para a região da Microbacia do Córrego Taquara Branca.

Mês	Precipitação mm	Precipitação nº Dias mm	t.h/MJ <sub>mm</sub>	Erosividade	
				%	acum %
Julho	36,8	4,2	88	1,3	1,3
Agosto	37,4	4,3	91	1,3	2,6
Setembro	65,6	7,3	213	3,1	5,7
Outubro	123,6	10,1	557	8,2	13,9
Novembro	137,5	11,4	654	9,6	23,5
Dezembro	217,1	16,1	1309	19,2	42,7
Janeiro	240,2	13,5	1526	22,4	65,0
Fevereiro	190,9	13,5	1077	15,8	80,8
Março	147,3	11,2	727	10,6	91,4
Abril	71,0	6,4	240	3,5	94,9
Mai	65,1	6,0	210	3,1	98,0
Junho	48,7	5,0	135	2,0	100,00
Total	1381,2	111,7	6828	100,00	

**Fator Erodibilidade (K)**

No presente trabalho a erodibilidade foi estimada para cada unidade de solo da Microbacia e do Assentamento, conforme Tabela 2, utilizando-se dos resultados obtidos por Bertoni & Lombardi Neto (1990) para os principais solos paulistas.

**Tabela 2.** Fator K para a Microbacia e Assentamento.

Unidade de solo	Fator K	Microbacia	Assentamento
		Área (ha)	
LE1 + LRd	0,0151	10,23	37,78
LE1	0,0167	83,49	35,64
LE2	0,0175	50,8	27,50
LE3	0,0223	5,98	4,00
LV1	0,0246	128,11	7,78
LV2	0,0132	549,00	-----
LV3	0,0172	44,01	23,21
PV1	0,0280	294,34	66,65
PV2	0,0462	612,47	-----
PV3	0,0462	23,85	-----
Li	0,0302	11,79	-----
Hi	0,0302	11,64	-----
PV3 + PV2	0,0462	36,31	-----
LV3 + Lv2	0,0156	15,79	-----

K Microbacia = 0,0250

K Assentamento = 0,0193

### **Fator Topográfico (LS)**

O fator topográfico é uma composição da declividade e do comprimento de rampa, conforme a equação (2). A declividade é calculada através do comando SURFACE-SLOPE, que gera um mapa da área com os declives em porcentagem. O comprimento de rampa foi obtido segundo método desenvolvido por Rocha et al. (1996). Assim, a partir do modelo digital de elevação, gerou-se os mapas contendo declividade em graus e direção de rampa (comando SURFACE). Estes mapas foram reclassificados da seguinte forma: declives de 0 a 3 %, de 3 a 6 %, de 6 a 9 %, de 9 a 12 %, de 12 a 18 % e maior que 18 %. O resultado do cruzamento (CROSSTAB) destes mapas fornece alturas de rampas. Usando-se este resultado como referência, foi possível obter dados da diferença de altura na rampa e o seu ângulo médio de declividade (EXTRACT). O comprimento de rampa é obtido, então, dividindo-se a altura da rampa pelo seno de sua declividade, gerando um mapa de resultados.

Após as operações para cálculo de LS, o mapa obtido foi reclassificado (RECLASS) para os intervalos acima definidos. Um arquivo com o valor médio de cada categoria foi atribuído àquele mapa. Também foram obtidas as áreas de cada intervalo, e então, após a multiplicação (OVERLAY), o resultado foi um mapa com áreas ponderadas, para cada parte estudada. As operações necessárias foram realizadas em IDRISI (Eastman, 1993;1997).

Seguindo-se o procedimento já descrito para o cálculo de K, chegou-se aos seguintes valores de LS:

Microbacia = 4,0782

Assentamento = 5,3294

### **Fator Cobertura vegetal e manejo (C)**

Este fator mede a relação entre as perdas de solo em uma área cultivada em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno continuamente cultivado. As variáveis uso e manejo não são avaliadas independentemente. Diferentes

combinações dessas variáveis apresentam diferentes efeitos nas perdas de solo. Definiu-se, com base no levantamento realizado em 1996, o uso e ocupação do solo no Assentamento e na Microbacia. Bertoni & Lombardi Neto (1990) obtiveram valores de C para diferentes culturas e manejo para o Estado de São Paulo. Os valores do "fator C" variam de 0 a 1 numa escala crescente de perdas de solo (Tabela 3).

**Tabela 3.** Fator C para Microbacia e Assentamento.

Uso do solo	Microbacia	Assentamento	Fator C
	Área		
Cana-de-açúcar	629,57	-----	0,110
Caqui	35,55	-----	0,130
Pasto	528,44	29,80	0,200
Milho	149,83	17,35	0,115
Hortaliças	77,09	92,80	0,150
Eucalipto	70,92	-----	0,047
Café	17,06	17,44	0,130
Banana	24,10	26,37	0,130
Mandioca	8,93	8,25	0,760
Mata	5,33	-----	0,00004
Capoeira	34,47	-----	0,00004
Açudes	3,12	-----	-----
Não registrada	55,96	-----	-----
Área urbana	183,31	13,51	0,850
Arroz	-----	3,99	0,470
Pousio	-----	15,63	0,050
Cultura consorciada	-----	3,47	0,100
Desmatamento	39,51	-----	0,750

Atribuindo arquivos de valores com os dados acima relacionados aos mapas de uso da terra do Assentamento e da Microbacia, e seguindo o método já descrito para o cálculo de K, foram obtidos os valores médios ponderados de C para a Microbacia e para o Assentamento, individualmente.

$$C \text{ Microbacia} = 0,155$$

$$C \text{ Assentamento} = 0,213$$

### Fator Práticas Conservacionistas (P)

O fator P mede a relação entre perda de solo e determinada prática de conservação e a perda resultante quando a cultura está implantada no sentido do declive. Assim, o fator P irá variar de acordo com a declividade. Nesta região pode-se observar o uso de práticas simples de conservação, como o plantio em contorno, por exemplo. Sete classes de declividade foram associadas à área e esta foi reclassificada atribuindo-lhes valores médios de P (Tabela 4). Fazendo a ponderação de áreas obteve-se os seguintes resultados para P Microbacia e Assentamento = 0,62.

**Tabela 4.** Fator P para a Microbacia e Assentamento.

Declividade	Fator P*	Classe	Valor Médio
1	0,62	1	
2	0,56	1	0,57
3	0,53	1	
4	0,51	2	
5	0,50	2	0,51
6	0,51	2	
7	0,54	3	
8	0,57	3	0,57
9	0,61	3	
10	0,65	4	
11	0,70	4	0,70
12	0,75	4	
13	0,79	5	
14	0,84	5	0,84
15	0,88	5	
16	0,92	6	
17	0,94	6	0,94
18	0,96	6	
19	0,98	7	1
> 20	1	7	1

### Curva Número (CN)

O parâmetro CN é estimado a partir de informações de manejo, permeabilidade e umidade do solo (Lombardi Neto, sd). Quanto maior for a curva número, maior será o potencial de escoamento superficial.

A Tabela 5 apresenta a CN para os usos de solo encontrados na Microbacia e no Assentamento, para as quatro classes hidrológicas de solo, nas condições normais de umidade.

**Tabela 5.** Curva-número para os solos da Microbacia e Assentamento.

Uso do solo	CN por Classes Hidrológicas do Solo			
	A	B	C	D
Vegetação natural	27	43	57	66
Reflorestamento	36	60	73	79
Pastagem	49	69	79	84
Frutíferas e café	56	67	79	79
Cana-de-açúcar	58	72	81	85
Culturas anuais	67	78	85	89
Área urbana	72	82	87	89
Solo nu	77	86	90	94
Pousio	70	79	85	89

Para o cálculo da curva número média, o primeiro passo foi fazer o cruzamento (CROSSTAB) dos mapas contendo tipos de solo e uso da terra, para o Assentamento e a Microbacia. A resultante mostrou todas as combinações existentes destas duas categorias. Devido ao grande número de categorias geradas (75 para o Assentamento e 80 para a Microbacia), as áreas foram relacionadas com os valores de CN discriminados acima. Este procedimento simplificou bastante o trabalho de cálculo das áreas ponderadas por CN e da CN médio, e os resultados obtidos foram:

$$\text{CN Microbacia} = 66,6$$

$$\text{CN Assentamento} = 66,8$$

## **Estimativas de perdas de solo - EUPS E MEUPS**

Para a Microbacia as perdas de solo calculadas por meio da EUPS foram as seguintes: 66,9t/ha/ano e 138.483t/ano. As estimativas referentes ao Assentamento atingiram 92,7t/ha/ano e 20.023t/ano. Estes valores elevados devem-se à marcante presença dos podizólicos, tanto na Microbacia quanto no Assentamento e, aos valores de K à este solo associado bem como às condições naturais de declividade da área.

A geração de sedimentos obtida por meio da MEUPS foi de 207,9t/chuva para a Microbacia e 35,3t/chuva para Assentamento. Contudo, há, que se ressaltar que testes efetuados com variação de duração de chuva e curva número mostraram que, enquanto o volume da chuva influencia muito o aporte de sedimentos, a sua duração altera pouco os resultados. Assim, ao se usar o valor médio de precipitação da região, obteve-se um valor aproximado da erosão para qualquer tempo de duração de chuva.

## **Discussão**

Os valores estimados por ambas as equações podem ser considerados bastante altos, acima da tolerância média de perda de solos para a região.

Os custos econômicos totais das perdas de nutrientes, por ano, para o Assentamento e para Microbacia foram estimados por volta de R\$ 21.350,00 e R\$ 150.000,00, respectivamente, considerando-se o fator LS natural para a região (Tabela 6).

Ao ajustar o fator LS segundo as práticas conservacionistas existentes, os custos de reposição estimados para o Assentamento e para a Microbacia caíram para R\$5.700,00/ano e 49.000,00/ano, respectivamente.

**Tabela 6.** Perdas de solo, nutrientes, fertilizantes e custo de reposição - Fator LS natural para Microbacia e Assentamento.

MICROBACIA		ASSENTAMENTO		TOTAL		
Área (ha)	2.070,00		216,00		2.286,00	
EUPS	t/ha/ano	t/ano	t/ha/ano	t/ano	t/ha/ano	t/ano
Perdas de solo	66,9	138.483,00	92,7	20.023,00	69,34	158.506,00
Nutrientes	kg/ha/ano	Kg/ano	kg/ha/ano	kg/ano	kg/ha/ano	kg/ano
N	70,04	144.991,70	95,37	20.605,80	72,44	165.597,50
P	0,33	692,42	1,05	227,40	0,40	919,81
K	8,03	16.617,96	8,40	1.815,80	8,06	18.433,76
Ca	34,12	70.626,33	75,26	16.261,10	38,01	86.887,43
Mg	8,70	18.002,79	10,23	2.210,00	8,84	20.212,79
Fertilizantes	kg/ha/ano	t/ano	kg/ha/ano	kg/ano	kg/ha/ano	kg/ano
Uréia (45%)	155,50	321.881,58	211,71	45.744,87	160,81	367.626,44
Superfosfato simples	1,86	3.849,83	5,85	1.264,33	2,24	5.114,15
Cloreto de potássio	13,33	27.585,81	13,95	3.014,22	13,39	30.600,04
Calcário dolomítico Ca	89,73	185.747,25	197,93	42.766,69	99,96	228.513,94
Calcário dolomítico Mg	22,87	47.347,34	26,90	5.812,31	23,25	53.159,64
Custo*	R\$/ha	R\$/ano	R\$/ha	R\$/ano	R\$/ha	\$/ano
Uréia(45%)	65,31	135.190,26	88,92	19.212,84	67,54	154.403,11
Superfosfato simples	0,41	846,96	1,29	278,15	0,49	1.125,11
Cloreto de potássio	4,80	9.930,89	5,02	1.085,12	4,82	11.016,01
Calcário dolomítico Ca	1,44	2.971,96	3,17	684,27	1,60	3.656,22
Calcário dolomítico Mg	0,37	757,56	0,43	93,00	0,37	850,55
Total	72,32	149.697,63	98,83	21.353,38	74,32	171.051,01

As perdas de solo tanto para Microbacia como para o Assentamento, estão muito acima dos valores esperados para as classes de solo, clima, condições topográficas da Microbacia como um todo. Surge então a necessidade de se adotar hipóteses mais realistas para as condições locais (Tabela 7).

**Tabela 7.** Perdas de solo, nutrientes, fertilizantes e custo de reposição - Fator LS ajustado às condições de Assentamento e da Microbacia.

		Microbacia		Assentamento		Total	
Área (ha)		2.070,00		216,00		2.286,00	
EUPS	t/ha/ano		t/ano	t/ha/ano	t/ano	t/ha/ano	t/ano
Perdas de solo	22,08	45.705,6	24,97	5.368,55	22,34	51.074,15	
Nutrientes	kg/ha/ano	kg/ano	kg/ha/ano	Kg/ano	kg/ha/ano	kg/ano	
N	23,12	47.853,76	25,57	5.524,81	23,35	53.378,57	
P	0,11	228,53	0,28	60,97	0,13	289,50	
K	2,65	5.484,67	2,25	486,85	2,61	5.971,52	
Ca	11,26	23.309,86	20,18	4.359,51	12,10	27.669,77	
Mg	2,87	5.941,73	2,74	592,54	2,86	6.534,27	
Fertilizantes	kg/ha/ano	kg/ano	kg/ha/ano	kg/ano	kg/ha/ano	Kg/ano	
Uréia (45%)	51,32	106.235,35	56,76	12.265,00	51,84	118.500,43	
Superfosfato simples	0,61	1.270,62	1,57	333,94	0,70	1.609,61	
Cloreto de potássio	4,40	9.104,56	3,74	808,17	4,34	9.912,73	
Calcário dolomítico Ca	29,62	61.304,92	53,07	11.466,57	31,83	72.771,49	
Calcário dolomítico Mg	7,55	15.626,74	7,21	1.558,39	7,52	17.185,14	
Custo	R\$/ha	R\$/ano	R\$/ha	R\$/ano	R\$/ha	R\$/ano	
Uréia(45%)	21,55	44.618,85	23,84	5.151,33	21,77	49.770,18	
Superfosfato simples	0,14	279,54	0,35	74,58	0,15	354,11	
Cloreto de potássio	1,58	3.277,64	1,35	290,94	1,56	3.568,58	
Calcario dolomítico	Ca 0,47	980,88	0,85	183,47	0,51	1.164,34	
	Mg 0,12	250,03	0,12	24,93	0,12	274,96	
Total	23,87	49.406,93	26,50	5.725,25	24,12	55.132,18	

As sugestões de alterações com vistas a reduzir as perdas de solo concentram-se, basicamente, nos fatores relacionados ao uso do solo, cobertura vegetal e às práticas conservacionistas, uma vez que os demais parâmetros da EUPS e MEUPS são relativos ao meio físico e, portanto, mais difíceis de serem alterados.

No entanto, neste caso, principalmente para o Assentamento, a alteração de uso é muito difícil. A realidade de pequenos proprietários (lotes, em média, de 7ha) dificulta o trabalho com culturas menos agressivas ao meio. Comparando-se o mapa de uso atual com o mapa elaborado por Miranda (1995), é fácil verificar o expressivo aumento de áreas cultivadas com hortaliças: em 93, totalizavam 40ha, e na atualidade são 92ha. A tendência é que este número aumente com o incremento da irrigação, o que parece ser um caminho natural dentro da realidade socioeconômica dos proprietários e da região onde se encontra a Microbacia.

Assim, a alternativa resumiu-se em modificar o fator topográfico, que, depois do fator C, é o fator de maior influência no resultado da equação. O procedimento a ser adotado implica na limitação do comprimento das rampas de acordo com a declividade, o que na prática significa a construção de terraços. Cabe aqui uma observação importante: é possível que algumas das rampas geradas no mapa já estejam efetivamente fracionadas, seja pela existência de terraços, cordões de árvores ou outros tipos de construção. No entanto, a falta de um levantamento topográfico detalhado não permitiu mapear tais condições. Portanto, as estimativas de erosão sob a condição do fator LS natural resultaram em perdas superestimadas; as alterações no fator LS, apresentadas a seguir, procuram evidenciar uma situação o mais real possível para as áreas sob estudo. O procedimento adotado foi reclassificar o mapa de comprimentos de rampa (L) de acordo com o declive (S) (Tabela 8).

Recalculando o fator topográfico (LS) foram encontrados os seguintes valores  
LS MICROBACIA = 1,35 e Assentamento = 1,44.

Tabela 8. Classes de declividade da área do Assentamento e da Microbacia.

Classe de declive (%) (S)	Dec. Médio	L (m)	LS	Assentamento (ha)	LS*área	Microbacia	LS*área
					Assentamento	(ha)	Microbacia
0 - 3	1,5	150	0,3730	18,04	6,7289	290,89	108,5020
3 - 6	3,5	100	1,0563	56,77	59,9661	656,86	693,8412
6 - 9	7,5	75	1,6101	68,83	110,8233	584,14	940,5238
9 - 12	11,5	50	1,8550	43,83	81,3047	286,20	530,9010
12 - 15	13,5	30	1,8087	18,38	33,2439	149,09	269,6591
15 - 18	16,5	20	1,7753	7,67	13,6165	67,81	120,3831
> 18	20	20	1,9673	2,97	5,8429	64,37	126,6351

Estes resultados mostram a importância do fator topográfico para a área sob estudo, no entanto, somente a alteração neste fator, embora provoque reduções significativas nas taxas de erosão, não mostrou ser suficiente para colocá-las nos limites de tolerância permitidos para as condições locais.

Com alteração no fator LS os resultados obtidos para a Microbacia foram os seguintes 22t/ha/ano e 45.705,6t/ano; e para o Assentamento, os resultados foram 25t/ha/ano e 5.368,55t/ano. As estimativas de aporte de sedimentos obtidos por meio da MEUPS para as mesmas condições de LS foram de 68,6t/chuva e 9,6t/chuva para a Microbacia e Assentamento, respectivamente.

Essa redução fez com que os gastos monetários necessários à reposição dos nutrientes também fossem reduzidos em valores expressivos. Os custos totais passaram de R\$171.051,00 para R\$55.132,00, apresentando uma redução de R\$115.919,00, ou 68% considerando-se a totalidade da Microbacia. Os custos de reposição passaram de R\$149.697,00 para R\$49.406,00 para a Microbacia e de R\$21.353,00 para R\$5.725,00 para a área do Assentamento. Portanto, os custos de reposição por hectare reduziram-se de R\$73,00 para R\$23,87 para a Microbacia e, R\$98,83 para R\$26,50 para a área do Assentamento. Como era de se esperar, na hipótese de redução nos comprimentos de rampa por meio de construção e ou recuperação das curvas de níveis do local, houve sensível redução nos custos.

## Conclusões

A Microbacia do Taquara Branca é ocupada predominantemente por solos de textura média ou arenosa (70% do total), que apresentam susceptibilidade à erosão moderada ou elevada. Estas limitações aumentam em áreas com declividades mais acentuadas; no caso, quase 55% da Microbacia e 65% do Assentamento possuem declives de mais de 6%. Estas características, aliadas aos comprimentos de rampa muito grandes, produzem um Potencial Natural de Erosão variando de médio a alto em mais de 50% da região.

As perdas de solo, segundo ambas as equações utilizadas, encontram-se muito acima do limite médio tolerado pelos solos da região (aproximadamente 12t/ha/ano). Mais de 25% da área total segundo a EUPS, e mais de 40% segundo a MEUPS, possuem expectativa de erosão média ou alta. No caso do Assentamento, mais de 75% da área se enquadra nestas duas categorias. A principal dificuldade para se formular as recomendações de alteração do uso e ocupação agrícola do local são de ordem socioeconômica.

O Assentamento é uma área de agricultura familiar ocupada por 30 famílias com lotes de 7ha, em média. Dentro deste contexto, usos considerados "protetores" do solo como pasto ou cana são economicamente inviáveis, por não oferecerem um bom retorno financeiro, dada a escala de operação. A aptidão econômica parece ser a cultura de hortaliças que duplicou a área ocupada em apenas três anos. Com o aumento de áreas irrigadas este número deve crescer ainda mais num curto espaço de tempo. No restante da Microbacia, além das recomendações para a área agrícola, outros procedimentos devem ser adotados. Sendo assim, a melhor alternativa para conter a erosão é a diminuição dos comprimentos de rampa com a construção de terraços. Limitando estes comprimentos de acordo com a declividade, as perdas de solo são reduzidas em até 70%. Se, além desse procedimento, for incentivado o manejo das culturas pelo uso de plantio com cobertura morta e recomposição da mata ciliar, as perdas de solo atingirão níveis próximos aos da tolerância média dos solos da região. Nesta área, além dos problemas relacionados à área

agrícola são observados os avanços de loteamentos e o crescimento urbano em locais de risco para as nascentes e cursos d'água. Medidas que regulamentem o uso da terra nestes locais poderiam ser um grande passo no combate à erosão e na preservação dos recursos hídricos do município.

Os benefícios oriundos da construção dos terraços, por meio da redução nos custos de reposição, da ordem de 200% para a área da Microbacia e 272% para a área do Assentamento, permite concluir que as medidas necessárias são viáveis ao se ter em conta que a extensão dos benefícios é por um período prolongado. A redução nos custos de reposição dos nutrientes de R\$50,00/ha para a Microbacia e de R\$72,00/ha para o Assentamento, permite inferir que os custos totais evitados, em torno de R\$120.00,00/ano, são suficientes para fazer face às despesas necessárias à adoção de práticas conservacionistas. Isto pelo simples fato de que a vida útil, por exemplo, de um terraço é maior que o período de apenas um ano, como considerado na análise, implicando, portanto, na extensão dos benefícios por outros períodos de produção.

Se ainda for considerado que a redução dos impactos externos provenientes da redução das taxas de erosão geram benefícios adicionais, é bastante razoável esperar que os benefícios totais superem em muito, os custos totais das medidas conservacionistas.

## Referências

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. *Sistema de informação geográfica: aplicações na agricultura*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1993.

BASTOS FILHO, G. *Contabilizando a erosão do solo: um ajuste ambiental para o produto bruto agropecuário paulista*. 1995. 127 p. Dissertação (Mestrado) - ESALQ, Piracicaba, 1995.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. Piracicaba: Livrocetes, 1990. 392 p.

CAVALCANTI, J. E. A. Impactos econômicos das perdas de solo no vale do Rio São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 33., 1995, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SOBER, 1995. v. 2, p. 1097-1111.

CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática de erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. (Ed.). *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa: UFV-DPS, 1996. p. 731-750.

EASTMAN, R. J. *Idrisi - Technical Reference, version 4.1*. Worcester: Clark University, Graduate School of Geography, 1993.

EASTMAN, R. J. *Idrisi for Windows - User's guide, version 2.0*. Worcester: Clark University, Graduate School of Geography, 1997. 316 p.

FERNANDES, E. N. *Sistema inteligente de apoio ao processo de avaliação de impactos ambientais de atividades agropecuárias*. 1997. 122p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

FERRAZ DE MELLO, F. M.; BRASIL SOBRINHO, M. C. B. ; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETTO, A.; KIEHL, J. C. 1983. *Fertilidade do solo*. São Paulo: Nobel, 1989. 400 p.

LOMBARDI NETO, F. *Equação universal de perda de solos modificada*. Campinas: IAC, s.d. mimeo.

LOMBARDI NETTO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., 1990, Recife. *Anais...* Recife, 1990. p. 13.

MARQUES, J. F. Custos da erosão do solo em razão dos seus efeitos internos e externos à área de produção agrícola. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 36, n. 1, p. 71-80, 1998.

MENK, J. R. F. *Caracterização do meio físico da microbacia do Córrego Taquara Branca - Sumaré-SP*. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1995. Documento interno.

MIRANDA, J. I. *Base cartográfica do meio físico da microbacia do Córrego Taquara Branca, Sumaré-SP*. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1995. Documento interno.

ORTIZ LÓPEZ, A. A. *Análise dos custos sociais e privados da erosão do solo – O caso do Rio Corumbataí*. 1997. 118 p. Tese (Doutorado) - ESALQ, Piracicaba, 1997.

PINTO, S. A. F. Análise comparativa da aplicação dos modelos musle e usle, com suporte de técnicas de geoprocessamento. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1994, Campinas. *Anais...* Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p. 164-165.

ROCHA, J. V.; LOMBARDI NETO, F.; BACELLAR, A. A. A. Metodologia para determinação do Fator Comprimento de Rampa (L) para Equação Universal de Perdas de Solo. In: SIMPÓSIO DE USUÁRIOS DE IDRISI, 1., 1996, Campinas. *Anais...* Campinas, 1996. p. 3-6.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosive losses: a guide to conservation planning*. Washington: USDA, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, 537).