

USO DAS TERRAS: PERDAS DE SOLO POR EROSÃO  
E VALORAÇÃO ECONÔMICA

Lauro Charlet PEREIRA  
Doutor, Engenheiro Agrônomo – EMBRAPA MEIO AMBIENTE  
lauro.pereira@embrapa.br

Sergio Gomes TÔSTO  
Doutor, Engenheiro Agrônomo – EMBRAPA TERRITORIAL  
sergio.tosto@embrapa.br

Ademar Ribeiro ROMEIRO  
Doutor, Economista, Professor Titular - INSTITUTO DE ECONOMIA DA UNICAMP  
ademar@eco.unicamp.br

#### RESUMO

Uma das formas de degradação ambiental em terras brasileiras é a erosão hídrica, que tem causado graves prejuízos tanto em áreas agrícolas quanto nas cidades. Este trabalho foi realizado no Município de Araras, Estado de São Paulo, com o objetivo de estimar as perdas de solo por erosão em diferentes tipos de uso da terra e realizar a valoração deste serviço ecossistêmico. Como metodologia, utilizou-se a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) para obter as taxas de erosão do solo, e o Método do Custo de Reposição (MCR) para efetuar a valoração econômica do serviço ecossistêmico. A cana-de-açúcar queimada e culturas anuais apresentaram maiores “taxas de erosão”, sendo 4 a 15 vezes superiores aos demais usos das terras. A perda de solos totalizou cerca de 308 mil toneladas/ano, resultando em um custo de R\$ 2,37 milhões/anual para reposição dos nutrientes.

Palavras-chave: Planejamento Conservacionista, Sustentabilidade Ambiental, Economia Ambiental, Política Ambiental.

#### ABSTRACT

Hydric erosion is one of the forms of environmental degradation in Brazilian lands, which has caused serious losses in both agricultural areas and in the cities. This work was accomplished in Araras city, State of Sao Paulo, with the objective of estimating soil loss by erosion in different types of land use and economical valuation of these environmental losses. The adopted methodology was the Universal Soil Loss Equation (USLE) to obtain rates of soil erosion and the Replacement Cost Method (RCM) to perform economic valuation losses. The burned sugarcane and annual crops had higher "rates of erosion", 4 to 15 times higher than other land uses. The soil loss amounted to about 308 tons/ year, resulting in a cost of R\$ 2.37 millions/year for nutrient replenishment.

Keywords: Conservation Planning, Environmental Sustainability, Environmental Economics, Environmental Policy.

## INTRODUÇÃO

Historicamente, o desenvolvimento econômico global, na grande maioria dos países, apoiou-se na exploração e na utilização de recursos naturais, exercendo, assim, pressões sobre os diferentes ecossistemas, com efeitos adversos na qualidade ambiental.

O Município de Araras, SP, possui aspectos físico-ambientais e logísticos que favorecem a exploração agropecuária, resultando no uso intensivo de insumos e mecanização agrícola. Todavia, o uso inadequado de tecnologias pode contribuir para a ocorrência de sérios problemas ambientais, colocando em risco a oferta de serviços ecossistêmicos, sobretudo quanto à integridade dos solos da região.

A questão ambiental, frequentemente, tem sido discutida sob uma estratégia baseada no conceito de serviços ecossistêmicos. Estes são entendidos como um conjunto formado por todas as comunidades que vivem e interagem em determinada região e pelos fatores abióticos que atuam sobre as mesmas. Entre outros, podem ser considerados como serviços ecossistêmicos: controle da erosão, retenção e formação de solo, regulação de nutrientes, oferta de água, polinização e controle biológico, principalmente (COSTANZA, 1994; COSTANZA et al., 1997; de GROOT et al., 2002).

Em se tratando de erosão do solo no Brasil, a erosão hídrica é considerada a mais importante e tem causado graves prejuízos, tanto em áreas agrícolas quanto nas cidades. O fenômeno da erosão caracteriza-se pelo desprendimento e arraste de partículas de solo, decorrentes da ação das chuvas.

Vários autores têm trabalhado neste tema, em diferentes níveis de abrangência, tais como: nacional, estadual, municipal e bacias hidrográficas (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1975; PEREIRA, 2002; MICHELLON, 2002; KIM & DIXON, 2003; TÔSTO, 2010).

De forma sumária, alguns dos principais impactos da erosão do solo podem ser citados, como: carreamento progressivo das camadas superiores do solo; declínio da produtividade; diminuição de renda e êxodo rural, poluição e assoreamento de corpos d'água; destruição de estradas, pontes e benfeitorias.

Barreto et al. (2009) verificaram que dois terços das publicações geradas sobre erosão em cinco décadas, entre 1950 e 2000, referiam-se à tema sobre a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e, também, a comparações de manejos agrícolas relacionados à erosão de solo.

Nesse sentido, é oportuno enfatizar que embora o cálculo da taxa de perdas de solo por erosão seja um ponto relevante nos estudos ambientais, a valoração econômica dessas perdas deve ser considerada igualmente importante, principalmente quando se verifica que há escassez de estudos com este fim. Portanto, a valoração econômica de serviços ecossistêmicos se constitui numa importante ferramenta, não só na organização de informações como também no fornecimento de métricas referentes às perdas ambientais e econômicas, que são fundamentais para ações de planejamento e gestão sustentáveis dos recursos naturais, assim como as tomadas de decisão.

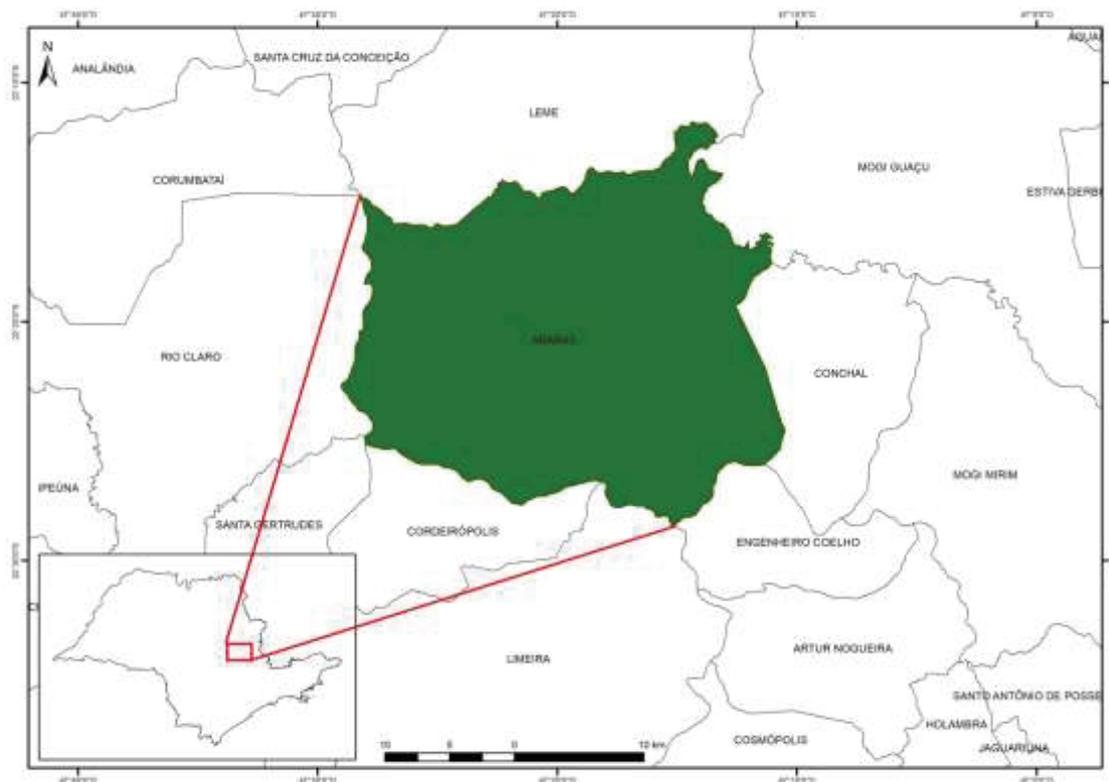
Como objetivo, este trabalho visa estimar as perdas de solo por erosão em diferentes tipos de uso das terras, do município, e valorar economicamente essas perdas ambientais.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### *Caracterização da área*

O Município de Araras, SP, está localizado entre as longitudes de 47°15'W e 47°30'W e as latitudes de 22°10'S e 22°30'S (Figura 1). Encontra-se distante cerca de 170 km da capital do estado e ocupa uma área de aproximadamente 64.341 hectares.

Figura 1 - Localização do Município de Araras, SP.



Fonte: Tôsto, 2010.

O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa. Em termos geológicos, a área está situada na Bacia do Rio Paraná, e engloba rochas sedimentares que variam entre arenitos, argilitos, siltitos e calcários (MAGINI et al., 2003).

#### *Obtenção do mapa de solos*

O mapa de solos do Município de Araras foi derivado do mapa pedológico do Estado de São Paulo. As principais classes de solos que ocorrem no município são: Gleissolos; Latossolos Vermelhos; Latossolos Vermelho-Amarelos; Neossolos Litólicos; Argissolos Vermelho-Amarelos e Nitossolo Vermelho (OLIVEIRA et al., 1982).

*Uso e cobertura das terras*

O mapeamento do uso e da cobertura das terras foi elaborado a partir de interpretação analógica da imagem orbital do satélite CBERS 2, com resolução espacial de 20 m. Na caracterização, obteve-se as seguintes categorias de uso: café, cana-de-açúcar (mecanizada e queimada), citros, culturas anuais (soja e milho), floresta secundária, mata ciliar e pastagem, além de áreas urbanas e corpos d'água.

*Taxas de erosão do solo*

As taxas de erosão foram estimadas, a partir da Equação Universal de Perdas de Solos (BERTONI et al., 1975), que consiste de um modelo multiplicativo, cuja perda média anual de solo é obtida pelo produto de seis fatores, conforme é mostrado a seguir:

$$A = R * K * L * S * C * P, \text{ onde:}$$

- A = Perda média anual de solo, em Mg.ha<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup>.
- R = Fator erosividade da precipitação e da enxurrada, em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup>.
- K = Fator erodibilidade do solo, em Mg. ha. h. ha<sup>-1</sup>. MJ<sup>-1</sup>. mm<sup>-1</sup>.
- L = Fator comprimento da encosta, adimensional.
- S = Fator grau de declividade, adimensional.
- LS = Fator topográfico, adimensional.
- C = Fator de cobertura e manejo da cultura, adimensional. Este fator, para as diferentes coberturas e manejos de culturas, foi adotado com base em Bertoni e Lombardi Neto (1990), Tabela 1.
- P = Fator prática de controle de erosão, adimensional.

Tabela 1: Valores do Fator C

Uso e cobertura das terras	Fator C
Cana-de-açúcar mecanizada	0,03770
Cana-de-açúcar queimada	0,07540
Citros	0,02470
Culturas anuais (soja + milho)	0,10231
Floresta secundária + Matas ciliares	0,00077
Pastagem	0,01000
Café	0,02010

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1990)

*Custo de reposição de nutrientes do solo*

O Método de Custos de Reposição (MCR) utilizado neste trabalho, tem origem no arcabouço teórico da Economia Ambiental que se baseia na microeconomia neoclássica, em que a degradação dos recursos naturais representa uma externalidade negativa, uma vez que não existe direito de propriedade definido. Os bens ambientais são públicos e tampouco existe um sistema de

preços. A solução proposta é a internalização dos impactos ambientais no preço de mercado dos produtos econômicos. A aplicação deste método, cuja ideia básica é a quantificação das perdas de nutrientes usando como parâmetro a equivalência de preços de fertilizantes encontrados no mercado, envolve três procedimentos:

- (i) Quantificação das taxas de erosão por cultura;
- (ii) Identificação da quantidade de nutrientes carregada pelo processo erosivo (nitrogênio – N, fósforo – P, potássio – K, cálcio e magnésio – Ca+Mg), utilizando a equação e o índice de equivalência fornecido por Bellinazzi Jr. et al. (1981):

$$QF_i = \sum_{j=1}^n NS_j * TF_i$$

Em que:

$QF_i$  = quantidade correspondente de fertilizante (T)

$NS_j$  = teor médio do j-ésimo nutriente perdido nos solos (t)

$TF_i$  = Índice de equivalência entre nutrientes e fertilizantes

- (iii) Conversão da quantidade de nutrientes em equivalentes de fertilizantes necessários para repor a fertilidade do solo. Além disso, foi considerado a mensuração dos custos de transporte e aplicação dos fertilizantes (MARQUES, 1995).

O Valor econômico de perda de solo é dado pela seguinte equação:

$$\sum_{i=1}^n (Q_n * P_n)^n + C_{ta}, \text{ onde:}$$

$Q_n$  = Quantidade de nutrientes necessários para reposição da fertilidade do solo;

$P_n$  = Preço de mercado de cada fertilizante industrializado;

$C_{ta}$  = Custo de transporte e aplicação dos fertilizantes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Uso e ocupação das terras*

A partir da análise dos dados, verificou-se que a cultura da cana-de-açúcar é a mais representativa, em termos de área ocupada, correspondendo a 53,35 do total da área municipal, sendo 39,2% no sistema de colheita mecanizado e 14,1% no sistema queimado. A citricultura é a segunda atividade mais representativa, ocupando 18,2% da área total do município.

Em relação à floresta secundária e mata ciliar, juntas totalizam apenas 16,4%, o que demonstra uma forte ação em relação ao desmatamento e os consequentes passivos ambientais.

Ocupando menores áreas aparecem as atividades: culturas anuais (soja e milho), pastagem e café, que juntas representam apenas 5,2% da área total. O restante refere-se à área urbana e corpos d'água, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Uso e ocupação do município e respectivas áreas.

Uso da Terra	Área (ha)	%
Cana-de-açúcar mecanizada	25.498,18	39,2
Cana-de-açúcar queimada	9.098,97	14,1
Citros	11.938,67	18,2
Culturais anuais (soja e milho)	1.687,64	2,6
Floresta secundária + Mata ciliar	10.581,68	16,4
Pastagem	1.338,00	2,1
Café	328,00	0,5
Área urbana + corpos d'água	3.870,46	6,9
<b>Total</b>	<b>64.341,60</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Tôsto, 2010.

#### *Taxa de erosão do solo*

Na análise individual da taxa de erosão por tipo de uso, verificou-se que a cultura da cana-de-açúcar queimada e as culturas anuais apresentaram taxas de perdas mais elevadas, com  $14,9 \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  e  $14,5 \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , respectivamente. Em contrapartida, as áreas de florestas secundárias refletiram menor taxa de erosão, na ordem de  $0,99 \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . As demais atividades figuraram em posições intermediárias de perdas por erosão, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Taxa de erosão do solo para os diferentes tipos de uso das terras.

Uso do solo	Taxa de erosão ( $\text{t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ )
Café	2,9
Cana-de-açúcar mecanizada	3,9
Cana-de-açúcar queimada	14,9
Citros	2,9
Culturas anuais (soja + milho)	14,5
Floresta secundária + Mata ciliar	0,99
Pastagem	1,8

Fonte: Tôsto, 2010.

#### *Perda total de solos no município*

A partir da interação da taxa de erosão calculada e a área de cada tipo de uso, obteve-se a perda total de solos ocasionada pela erosão.

Na análise dos dados, verificou-se que a perda total de solos dos diferentes tipos de usos considerados no estudo foi de  $307.947,50 \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . Desse total, os valores mais expressivos de

perdas referem-se à cana-de-açúcar, com 76,33%, somando-se os sistemas queimado e mecanizado. Este sistema, apesar de representar 32,30% das perdas de solo, foi cerca de 36% inferior ao verificado no sistema queimado, cujo valor foi 44,03%. Isto se deve, sobretudo, ao sistema mecanizado oferecer maior proteção ao solo, culminando com menor taxa de erosão e maior proteção ambiental (Tabela 4).

Vários trabalhos, como os de Lopes & Levien (1987); Amado et al. (1989) e Bertol & Almeida (2000), tem demonstrado esse efeito, evidenciado pelo fato de que um solo com aproximadamente 20% de sua superfície coberta pode reduzir em até 60% as perdas por erosão, em comparação às perdas totais de um solo descoberto. A manutenção da palhada da cana-de-açúcar na superfície do solo contribui efetivamente para o controle da erosão hídrica, conforme mencionam Thompson et al. (2001) e Bezerra & Cantalice (2006).

Tabela 4: Perda total de solo por tipo de uso

Uso das terras	Área (ha)	Taxa de erosão (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Perda solo (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Perda solo (%)
Cana-de-açúcar mecanizada	25.498,18	3,9	99.442,90	32,30
Cana-de-açúcar queimada	9.098,97	14,9	135.574,65	44,03
Citros	11.938,67	2,9	34.622,14	11,24
Culturas anuais (soja + milho)	1.687,64	14,5	24.470,78	7,94
Floresta secundária + Mata ciliar	10.581,68	0,99	10.475,86	3,4
Pastagem	1.338,00	1,8	2.408,40	0,78
Café	328,55	2,9	952,8	0,31
Total	60.471,69	-	307.947,50	100

Fonte: Tôsto, 2010.

Quanto aos demais tipos de uso, chamou a atenção as culturas anuais (soja e milho), dada a sua elevada taxa de erosão (14,5 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>). Este fato, provavelmente, se deve ao tipo de manejo adotado, caracterizado por práticas inadequadas, sobretudo quanto ao manejo e conservação dos solos. Em apenas 2,80% de área destinada a esse tipo de uso, as perdas de solo representaram 7,94% em relação ao total.

Com relação às culturas do café e do citrus, verifica-se que ambas possuem uma relativa baixa taxa de erosão, explicada pela própria natureza destas culturas que, por serem perenes, contribuem para a minimização de impacto da chuva, acarretando baixo escoamento de água e conseqüentemente baixa erosão. Além disso, o uso de terraceamento combinado ao manejo dessas culturas, que preconiza o plantio de capim entre as linhas de cultivos, seguido de corte, se constituem em práticas importantes para a maior infiltração de água no solo e redução das taxas de erosão.

Ambas as culturas possuem a mesma taxa de erosão ( $2,90 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), entretanto o citrus representou 11,24% do total das perdas de solo, enquanto no café a perda foi de apenas 0,31%, diferença essa devida exclusivamente à extensão de área ocupada por cada cultura.

As florestas secundárias e as matas ciliares foram os usos que apresentaram menores taxas de erosão ( $0,99 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), culminando com apenas 3,40% do total das perdas de solo, embora possuam a terceira maior extensão de área usada.

Com relação à pastagem, tanto pela relativa baixa taxa de erosão ( $1,8 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) quanto pela reduzida extensão territorial, as perdas de solo representaram somente 0,78% do total de solo perdido.

### *Valoração econômica das taxas de erosão*

O cálculo do custo econômico da erosão abrange cinco etapas básicas: a) Perdas de nutrientes; b) Preço de fertilizantes no mercado; c) Custo de fertilizantes perdidos; d) Custo de aplicação; e) Custo total.

### *Perdas de nutrientes*

Em geral, as perdas de nutrientes (nitrogênio: N, fósforo: P, potássio: K e magnésio: Mg) ocorrem pela remoção por colheitas, lixiviação, erosão e volatilização e, por isso, dependem de ações individuais ou combinadas de fatores, como: taxa de erosão, extensão da área de cultivo, tipo de uso do solo e práticas de manejo adotadas.

Assim sendo, a partir da análise dos dados, foi possível estabelecer dois (02) cenários bem distintos quanto às perdas de nutrientes na área estudada. No primeiro cenário, que representa cerca de 80% da área total ocupada, encontram-se os tipos de uso que apresentaram os valores mais expressivos de perdas para todos os nutrientes, que foram: cana-de-açúcar (queimada e mecanizada), citrus e culturas anuais. Contudo, deve ser destacado que a cana-de-açúcar queimada, mesmo representando apenas cerca de 15% da área total, foi a que apresentou os maiores valores de perdas, fato que pode ser atribuído à sua elevada taxa de erosão do solo. A seguir, em ordem decrescente de perdas de nutrientes, teve-se: cana-de-açúcar mecanizada, citrus e culturas anuais (Tabela 5).

O segundo cenário, correspondendo a apenas cerca de 20% da área, é caracterizado por perdas menos expressivas de nutrientes, estando composto pelos usos: floresta secundária + mata ciliar, pastagem e café. A baixa perda de nutrientes ocorrida na cultura do café pode ser atribuída muito mais à sua reduzida área ocupada (apenas cerca de 0,5% da área total) do que propriamente à taxa de erosão do solo nessa atividade.

Por outro lado, fazendo-se uma análise individualizada dos nutrientes e suas respectivas perdas por erosão do solo, verificou-se que o nitrogênio (N), assim como o cálcio e magnésio (Ca + Mg) apresentaram valores de perdas muito semelhantes, em patamares bastante elevados e que suas somas “N + (Ca + Mg)” foram pelo menos 15 vezes superiores à soma dos valores de perdas de fósforo e potássio, praticamente em todos os tipos de uso considerados (Tabela 5). Estes resultados indicaram não só os danos e prejuízos econômicos causados pela erosão do solo, com perdas acentuadas de nutrientes, mas sobretudo a real necessidade de reposição dos mesmos, a fim de evitar a indesejável redução da produção e produtividade das culturas, diminuição da renda do produtor e possíveis problemas de êxodo rural e suas consequências.

Tabela 5: Perda de nutrientes por tipo de uso do solo

Uso das terras	Perda N (t.ano <sup>-1</sup> )	Perda P (t.ano <sup>-1</sup> )	Perda K (t.ano <sup>-1</sup> )	Perda Ca+Mg (t.ano <sup>-1</sup> )
Cana-de-açúcar mecanizada	97,497838	2,661413858	10,13574426	95,60532203
Cana-de-açúcar queimada	131,00826	3,576153057	13,61944242	128,4652756
Citros	33,962415	0,927077398	3,530687038	33,30317564
Culturas anuais (soja + milho)	23,519711	0,642021267	2,445077586	23,06317367
Floresta secundária + Mata ciliar	2,9018611	0,07921256	0,301673581	2,845533505
Pastagem	2,3490263	0,06412174	0,244201613	2,303429653
Café	0,9142956	0,024957671	0,095048941	0,896548336

Fonte: Bellinazzi Júnior et al., 1981.

#### *Quantidade de fertilizantes para reposição dos nutrientes*

Para a estimativa da quantidade de fertilizante necessária para repor os nutrientes perdidos pela erosão do solo, considerou-se a percentagem de cada nutriente presente em seus respectivos fertilizantes. Assim, como o sulfato de amônio possui 20% de N, seriam necessários 5 kg de sulfato de amônia para repor 1 kg de nitrogênio. A mesma lógica foi adotada para os demais fertilizantes, isto é: 56 kg de superfosfato simples para 1 kg de fósforo; 1,72 kg de cloreto de potássio para 1 kg de potássio e 2,63 kg de calcário dolomítico para repor 1 kg de cálcio + magnésio.

A partir dessas condições básicas, efetuou-se os cálculos para obtenção das quantidades de fertilizantes, encontrando-se valores muito elevados, principalmente para a cana-de-açúcar (sistemas queimado e mecanizado), seguido pela citricultura e culturas anuais (soja + milho), fato já esperado em função de terem sido os usos que também apresentaram maiores perdas de nutrientes. A seguir, necessitando de menores quantidades de fertilizantes para reposição dos nutrientes perdidos, encontram-se: floresta secundária + mata ciliar, pastagem e café (Tabela 6).

Tabela 6: Quantidades de fertilizantes para repor os nutrientes perdidos pela erosão (t.ano<sup>-1</sup>).

Uso das terras	Sulfato de amônia	Superfosfato simples	Cloreto de potássio	Calcário dolomítico
Cana-de-açúcar mecanizada	487,5	14,8	17,4	251,4
Cana-de-açúcar queimada	655,0	19,9	23,4	337,9
Citros	169,8	5,1	6,1	87,6
Culturas anuais (soja + milho)	117,6	3,6	4,2	60,6
Floresta secundária + Mata ciliar	14,5	0,44	0,5	7,49
Pastagem	11,75	0,35	0,4	6,1
Café	4,6	0,14	0,2	2,4

Fonte: Tôsto, 2010.

*Custo dos fertilizantes*

Para o cálculo dessa despesa foi feito, inicialmente, o levantamento do preço de mercado dos fertilizantes, obtendo-se os seguintes custos médios (R\$/tonelada): Sulfato de amônia = 1.154,43; Superfosfato simples = 1.060,18; Cloreto de potássio = 1.894,58; e Calcário dolomítico = 85,34, conforme Instituto de Economia Agrícola (IEA/CATI – SAAESP, 2012). Estes valores multiplicados pelas respectivas quantidades de nutrientes perdidas, resultou em um custo total de aproximadamente 2,26 milhões de reais, onde cerca de 78% desse valor corresponde ao custo de reposição dos nutrientes para a cana-de-açúcar (45% e 33% para os sistemas queimado e mecanizado, respectivamente), ficando o restante dos custos para os demais usos, conforme demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7: Custo para reposição dos nutrientes perdidos (R\$.ano<sup>-1</sup>).

Uso das terras	Sulfato de Amônia	Superfosfato Simples	Cloreto de Potássio	Calcário Dolomítico	Total
Cana-de-açúcar mecanizada	682.500,00	19.240,00	33.060,00	20.112,00	754.912,00
Cana-de-açúcar queimada	917.000,00	25.870,00	44.460	27.032,00	1.014.362,00
Citros	237.720,00	6.630,00	11.590,00	7.008,00	262.948,00
Culturas anuais (soja + milho)	164.640,00	4.680,00	7.980,00	4.848,00	182.148,00
Floresta secundária + Mata ciliar	20.300,00	572,00	950,00	599,20	22.421,20
Pastagem	16.450,00	455,00	760,00	488,00	18.153,00
Café	6.440,00	182,00	380,00	192,00	7.194,00
Total	2.045.050,00	57.629,00	99.180,00	60.279,20	2.262.138,20

Fonte: autoria própria, 2018.

*Custo para aplicação dos fertilizantes*

O custo de aplicação dos fertilizantes engloba as despesas de mão-de-obra para aplicação, bem como o transporte dos fertilizantes. Este cálculo nem sempre é levado em consideração na maioria dos trabalhos desta natureza, apesar do mesmo contribuir para uma avaliação mais precisa dos custos de reposição.

A partir dos resultados, verificou-se que a taxa de erosão e a extensão da área ocupada, em geral, tem ação direta na elevação do custo de aplicação de fertilizantes, tanto devido à maior necessidade de reposição de nutrientes quanto à maior ocupação de mão-de-obra, respectivamente.

À guisa de exemplo pode ser citado a cana-de-açúcar (Tabela 8), que teve no sistema queimado o maior custo de aplicação de fertilizantes (R\$ 51.810,00). Este sistema representa a quarta maior área ocupada e possui a maior taxa de erosão do solo, dentre todos os tipos de uso considerados no estudo. Por sua vez, o sistema mecanizado, que também apresenta custo muito elevado de aplicação (R\$ 38.550,00), possui taxa de erosão intermediária, porém, a maior extensão de área ocupada.

Tabela 8: Custo para aplicação dos fertilizantes (R\$.ano<sup>-1</sup>)

Uso das terras	Sulfato de amônia	Superfosfato simples	Cloreto de Potássio	Calcário Dolomítico	Total
Cana-de-açúcar mecanizada	24.375,00	740,00	870,00	12.570,00	38.555,00
Cana-de-açúcar queimada	32.750,00	995,00	1.170,00	16.895,00	51.810,00
Citros	8.490,00	255,00	488,00	438,00	9.671,00
Culturas anuais (soja + milho)	5.880,00	180,00	210,00	3.030,00	9.300,00
Floresta secundária + Mata ciliar	725,00	22,00	25,00	374,50	1.146,50
Pastagem	587,50	28,00	20,00	305,00	940,50
Cafê	230,00	11,20	10,00	120,00	371,20
Total	73.037,50	2.231,20	2.793,00	33.732,50	111.794,20

Fonte: adaptado de Marques (1995).

*Custo total para reposição de nutrientes do solo*

O custo monetário total foi obtido a partir dos custos de fertilizantes e de suas aplicações. Isso indicou um custo total anual para reposição dos nutrientes perdidos por erosão do solo, no município, na ordem de R\$ 2,37 milhões. Deste valor, cerca de 78% correspondeu a cana-de-açúcar, sendo aproximadamente 33% para o sistema mecanizado e cerca de 45% no sistema queimado (Tabela 9).

Portanto, considerando a grande representatividade da cana-de-açúcar, sobretudo em termos de área ocupada, verificou-se que os indicadores “taxa de erosão” e “quantidade de nutrientes perdidos”, principalmente no sistema queimado, assumiram valores bastante elevados, culminando

em maiores custos para o possível reparo do dano ambiental e melhoria da oferta de serviços ecossistêmicos pelo solo.

Além disso, trata-se de vultosa quantia de recurso financeiro, que poderia ser utilizada em outros setores, como de serviços e da economia municipal.

A seguir, apresentando menores custos para corrigir os danos nutricionais, causados pela erosão do solo, encontram-se os citrus e culturas anuais (soja + milho), que juntas correspondem à cerca de 20% do custo total. As florestas secundárias + mata ciliar, assim como a pastagem, representaram custo de reposição muito baixos, inferior à 2% do valor total, o que pode ser explicado pelas condições naturais de maior proteção ao solo. O café, apesar da exposição à erosão, ficou com a análise prejudicada, dada a sua reduzida área ocupada, conforme mostra a Tabela 9.

Tabela 9: Estimativa do custo monetário total (fertilizantes + aplicação), em R\$.ano<sup>-1</sup>

Uso das terras	Sulfato de Amônia	Superfosfato Simples	Cloreto Potássio	Calcário Dolomítico	Total	%
Cana-de-açúcar mecanizada	706.875,00	19.980,00	33.930,00	32.682,00	793.467,00	33,4
Cana-de-açúcar queimada	949.750,00	26.865,00	45.630,00	43.927,00	1.066.172,00	44,9
Citros	246.210,00	6.885,00	12.078,00	7.446,00	272.619,00	11,5
Culturas anuais (soja + milho)	170.520,00	4.860,00	8.190,00	7.878,00	191.448,00	8,1
Floresta secundária + Mata ciliar	21.025,00	594,00	975,00	973,70	23.567,70	1,0
Pastagem	17.037,50	483,00	780,00	793,00	19.093,50	0,8
Café	6.670,00	193,20	390,00	312,00	7.565,20	0,3
Total geral	2.118.087,50	59.860,20	101.973,00	94.011,70	2.373.932,40	100

Fonte: autoria própria, 2018.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados e discussões apresentadas, podem ser feitas as seguintes conclusões:

a) A perda de solos, nos diferentes tipos de uso, é bastante elevada, totalizando aproximadamente 308 mil toneladas/ano, porém, as maiores preocupações devem residir nas áreas de cana-de-açúcar, no sistema queimado, e de culturas anuais (soja e milho), cujos valores da taxa de erosão do solo são extremos, com 14,9 e 14,5 (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), respectivamente.

b) As perdas de nutrientes foram expressivas e, como esperado, acompanharam proporcionalmente as magnitudes de perdas de solo. As maiores quantidades de perdas foram: cana-de-açúcar, sistemas queimado e mecanizado, citrus e culturas anuais (soja + milho).

c) A valoração econômica das perdas de nutrientes, no município, indicou um custo total/anual na ordem de R\$ 2,37 milhões. Além de tratar-se de uma vultosa quantia de recurso

financeiro para o necessário reparo do dano ambiental e melhoria da oferta de serviços ecossistêmicos do solo, esse valor monetário poderia estar sendo reinvestido em novas práticas conservacionistas, ou mesmo em outros setores da economia municipal.

d) O trabalho pautou-se nos princípios da Economia Ambiental, cujos métodos tem caráter essencialmente reducionista. Isto significa que a valoração de nutrientes perdidos não reflete a totalidade de serviços ecossistêmicos ofertados pelo solo, pois outros benefícios, como: estruturação, agregação, indicadores biológicos e ecológicos, entre outros, não são captados pelo método de reposição.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural de soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 13, n. 2. p. 251-257, 1989.

ANGELOCCI, L. R.; PEREIRA, A. R.; SENPELHAS, P. L. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 2002.

BARRETTO, A. G. de O. P.; LINO, J. S.; SPAROVEK G. Bibliometria da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo: instituições, temas, espaço e cronologia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 33 n. 6, nov./dez. 2009.

BASTOS FILHO, G. S. *Contabilizando a erosão do solo: um ajuste ambiental para o produto agropecuário paulista*. 1995. 127 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

BELLINAZZI JUNIOR, R.; BERTONI, D.; LOMBARDI NETO, F. A ocorrência de erosão rural no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DA EROSÃO, 2., 1981, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABGE, 1981. p. 117-137.

BERTOL, L.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perdas de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, p. 657-668, 2000.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *A conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JÚNIOR, R. *Equação de perdas de solo*. Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 1975. 25 p. (Boletim Técnico, 21).

- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura vegetal de solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 565-573, 2006.
- 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. 1097-1103.
- COSTANZA, R. Economia ecológica: uma agenda de pesquisa. In: MAY, P. H.; MOTTA, R. S. (Org.). *Valorando a natureza: a análise econômica para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro, RJ: Campus, 1994.
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R. S.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M.; The value of the world's ecosystem. *Nature*, v. 387, p. 253-260, 1997.
- CROSSON, P. Will erosion threaten agricultural productivity? *Environmental*, v. 39, n. 8, p. 4-31, 1997.
- DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description, and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, v. 41, p. 393-408, 2002.
- IEA/CATI – SAAESP, 2012. *Instituto de Economia Agrícola*. Disponível em: [http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/Precos\\_Medios.aspx?cod\\_sis=5](http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/Precos_Medios.aspx?cod_sis=5). Acesso em: 20 jul. 2018.
- KIM, S. H.; DIXON, J. A. *Economic valuation techniques for the environment: a case study workbook*. Baltimore: The John Hopkins University, 2003. 1987 p.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. *Bragantia*, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.
- LOPES, P. R. C.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 11, p. 71-75, 1987.
- MAGINI, C.; CHAGAS, R. L. Microzoneamento e diagnóstico físico-químico do Ribeirão das Araras, Araras – SP. *Geociências*, v. 22, n. 2, 2008. Disponível em: [http://drifte.rc.unesp.br/revistageociencias/22\\_2/8.pdf](http://drifte.rc.unesp.br/revistageociencias/22_2/8.pdf). Acesso em: 18 fev. 2008.

- MARQUES J. F. Custos da erosão do solo devido aos seus efeitos internos e externos à área de produção agrícola. *Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural*, v. 36, n. 1, jan. /fev. /mar. 2002.
- MARQUES, J. F. *Efeitos da degradação do solo na geração de energia elétrica: uma abordagem da economia ambiental*. 1995. 257 f. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MICHELLON, E. *Políticas públicas, mercados de terras e o meio ambiente: uma análise a partir do Paraná*. 2002. 191 f. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas.
- OLIVEIRA, J. B.; MENK, J. R. F.; BARBIERI, J. L.; ROTTA, C. L.; TREMONCOLDI, W. *Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Araras*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1982. 180 p.
- PEREIRA, L. C. *Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: proposta metodológica*. Tese de Doutorado/UNICAMP. São Paulo, Campinas. 2002. 122p.
- SENTELHAS, P. C.; NUNES, L. H.; PEREZ A. *Cepagri*. Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_038.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_038.html)>. Acesso em: 10 out. 2009.
- SEROA DA MOTTA, R. *Manual de valoração econômica de recursos ambientais*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1998. 218 p.
- SORRENSON, W. J.; MONTOYA, L. J. *Implicações econômicas da erosão do solo e do uso de algumas práticas conservacionistas no Paraná*. Londrina: IAPAR, 1989. 110 p. (Boletim Técnico, 21).
- THOMPSON, A. L.; GHIDEY, F.; REDMI, T. P. Raindrop energy effects on chemical and sediment transport. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 44, n. 4, p. 835-841, 2001.
- TÔSTO, S. G. *Sustentabilidade e valoração de serviços ecossistêmicos no espaço rural do Município de Araras, SP*. 2010. 217 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas.