

SIMULAÇÃO DE PERDA DE SOLO POR EROSIÃO EM BACIA HIDROGRÁFICA POR MEIO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO REVISADA (RUSLE) EM DOIS CENÁRIOS DE USO E MANEJO DO SOLO

JULIO CESAR DEMARCHI¹, CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK², EDSON LUÍS PIROLI³

¹ Geógrafo, mestre em Agronomia (Energia na Agricultura), doutorando em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente – SP, Fone: (0XX14) 3302-5732, julio.demarchi@gmail.com.

² Engenheira Agrônoma, Professora Adjunta, Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA/UNESP, Botucatu – SP.

³ Engenheiro Florestal, Professor Adjunto, Curso de Geografia, UNESP, Ourinhos – SP.

Apresentado no
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015 - São Pedro - SP, Brasil

RESUMO: A erosão do solo é controlada pelos seis fatores da RUSLE: erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento de rampa e declividade do terreno, que compõem o Potencial Natural de Erosão (PNE), além do uso e manejo do solo e práticas conservacionistas, que podem ser modificados no planejamento do uso da terra. O objetivo deste trabalho foi simular as perdas de solo anuais por erosão hídrica na bacia hidrográfica do Ribeirão das Perobas, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, em dois cenários de uso, manejo e práticas conservacionistas: a) adequação à capacidade de uso da terra; b) ocupação com cana-de-açúcar sem manejo e plantio em nível, e mapear o risco de erosão simulado (razão entre a perda de solo e as perdas toleráveis) em ambos os cenários. No cenário de adequação à capacidade de uso da terra, 69,73 % da área da bacia apresentou taxas de erosão inferiores à tolerância, mas a adequação não reduziu as perdas de solo nas áreas de PNE elevado. No cenário de ocupação com cana-de-açúcar, 62,17 % da bacia teve taxas de erosão acima da tolerância devido à menor proteção do cultivo ao solo e ao plantio em nível, cuja eficácia reduz com o aumento da declividade.

PALAVRAS-CHAVE: conservação do solo; geotecnologias; planejamento de uso da terra.

SIMULATION OF SOIL LOSS BY EROSION IN A WATERSHED BY MEANS OF REVISED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (RUSLE) IN TWO SCENARIOS OF SOIL COVER AND MANAGEMENT

ABSTRACT: Soil erosion is controlled by six factors of RUSLE: rainfall erosivity, soil erodibility, slope length and steepness, that compose the Natural Potential of Erosion (NPE), in addition to soil cover and management and support practices, that may be modified in the land use planning. The objective of this paper was to simulate the annual soil loss by hydric erosion in Ribeirão das Perobas watershed, Santa Cruz do Rio Pardo city, SP, in two scenarios of cover, management and support practices: a) adequacy to the land use capacity; b) farming areas occupied by sugarcane without management and contour cultivation, and to map the simulated erosion risk (ratio between soil loss and tolerable soil loss) of both scenarios. In the scenario of adequacy to the land use capacity, 69.73% of the watershed area had erosion rate below the tolerance, but the adequacy did not make soil loss to reduce in areas of high NPE. In the scenario of sugarcane crop, 62.17% of the watershed had erosion rates above the tolerance due to the lower soil protection of this crop and the contour cultivation, whose efficacy reduces as steepness increases.

KEYWORDS: soil conservation; geotechnology; land use planning.

INTRODUÇÃO

O processo erosivo acelerado tem consequências negativas de ordem agrícola e ambiental, como a redução da fertilidade do solo, criação de ravinas e voçorocas, deterioração das terras cultivadas, assoreamento e contaminação de rios e lagos pelo material erodido e pelos defensivos agrícolas, desaparecimento de mananciais, intensificação dos efeitos das inundações e uma ampla gama de impactos ambientais (GUERRA, 2005).

O cenário atual de erosão e degradação do solo no planeta demanda o desenvolvimento de modelos de previsão e quantificação das perdas de solo por erosão que possibilitem a adoção de sistemas de cultivo e manejo do solo, bem como de práticas conservacionistas adequadas que reduzam este processo em intensidade e aumentem a produtividade agrícola. O modelo mais conhecido e utilizado na estimativa de erosão é a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), desenvolvida na Purdue University, Estados Unidos, em 1954, cujas variáveis são: a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo, o comprimento de rampa e declividade do terreno, o uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas empregadas. Este modelo foi revisado por RENARD et al. (1997), que aperfeiçoaram os métodos de determinação de seus fatores, constituindo a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE).

Uma das vantagens do modelo RUSLE, além da facilidade de aplicação, é sua utilização pelos planejadores do uso da terra, extensionistas rurais e agricultores na simulação de cenários hipotéticos de uso e manejo agrícola do solo e práticas conservacionistas buscando controlar os fatores antrópicos da erosão de forma a protegê-lo da degradação.

ABE et al. (2004) quantificaram as perdas de solo da bacia da Água da Cachoeira, Paraguaçu Paulista – SP, para as áreas agrícolas, de pastagem e florestais, e observaram a perda de 120 mil toneladas de solo no ano 1993, das quais cerca de 110 mil toneladas em terras agrícolas. Os cenários projetados mostraram que, se todas as áreas agrícolas fossem convertidas em florestas, as perdas de solo seriam reduzidas para 17 mil toneladas e, se toda a bacia hidrográfica fosse ocupada por florestas, seriam perdidas 13 mil toneladas anuais.

As perdas de solo quantificadas por SHI et al. (2004) por meio da RUSLE na bacia do Rio Wangjiaqiao, China, apontaram que apenas 44 % da área apresentou perdas de solo inferiores ao limite de tolerância para o uso agrícola economicamente viável. As simulações realizadas comprovaram que, se fossem adotados o plantio em nível, ou o plantio direto conjugado ao plantio em nível, ou ainda as práticas anteriores somadas ao terraceamento e à rotação de culturas, aproximadamente 31 %, 70 % e 91 % das terras teriam as perdas de solo reduzidas a valores inferiores a este limiar, respectivamente.

A sub-bacia do Ribeirão das Perobas, localizada em Santa Cruz do Rio Pardo – SP, é ocupada por diferentes usos agrícolas e possui apenas 7,41 % de sua área coberta por mata nativa, o que faz sua predisposição à erosão aumentar. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi simular as perdas de solo anuais por erosão hídrica por meio da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) na referida bacia hidrográfica em dois cenários de uso, manejo e práticas conservacionistas: a) adequação à capacidade de uso da terra; b) ocupação com cana-de-açúcar sem manejo e plantio em nível, e mapear o risco de erosão simulado (razão entre a perda de solo e as perdas toleráveis) em ambos os cenários.

MATERIAL E MÉTODOS

A sub-bacia do Ribeirão das Perobas está localizada no município de Santa Cruz do Rio Pardo, centro-oeste do Estado de São Paulo, Brasil. É limitada pelas coordenadas geográficas: latitude 22°47'15.04''S a 22°50'44.29''S e longitude 49°38'55.13''W a 49°43'46.42''W, e sua área é de aproximadamente 30,611 km² (Figura 1).



FIGURA 1. Localização da sub-bacia do Ribeirão das Perobas

Este trabalho foi desenvolvido a partir dos seguintes materiais cartográficos e programas:

- Programas netErosividade SP (MOREIRA et al., 2006) e Usle2D (VAN OOST; GOVERS, 2000), utilizados na estimativa da erosividade da chuva e fator topográfico;
- SIGs Idrisi Selva 17.0 (EASTMAN, 2012), utilizado na geração do mapa de declividade, mapas temáticos e operações de Geoprocessamento, e ArcGIS / ArcMap 9.3.1 (ESRI, 2009), empregado na geração do modelo digital de elevação (MDE) do terreno;
- Mapa detalhado de solos, mapa de erodibilidade do solo e mapa de capacidade de uso da terra da sub-bacia do Ribeirão das Perobas, elaborados por DEMARCHI (2012);
- Carta topográfica do IBGE (1973), folha Santa Cruz do Rio Pardo (SF-22-Z-A-VI-4), na escala 1:50.000, com equidistância das curvas de nível de 20 metros, utilizada na elaboração da base cartográfica e do modelo digital de elevação do terreno da área de estudo.

Para a obtenção dos mapas de cenários de perda de solo por erosão, todas as variáveis da RUSLE foram mapeadas ou calculadas individualmente.

O fator R (erosividade da chuva) foi estimado pelo programa netErosividade SP, utilizando-se as coordenadas geográficas centrais e a altitude média da área de estudo. O valor de erosividade obtido foi 7.405 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹.

O fator K (erodibilidade do solo) foi estimado para todas as classes de solo obtidas no levantamento detalhado de solos conduzido por DEMARCHI (2012) a partir da equação de MANNIGEL et al. (2002), cujas variáveis são as porcentagens de areia, silte e argila dos

horizontes do solo. A erodibilidade foi obtida nos horizontes superficiais de todos os pontos de tradagem. Como os valores de erodibilidade das classes de solo PVAd, PVd e LVAe foram muito elevados em razão do teor de silte + areia ser superior a 840 g.kg^{-1} , adotou-se o valor de erodibilidade do horizonte subsuperficial (Bw ou Bt). As classes do mapa de solos assumiram valores médios de erodibilidade, sendo obtido, portanto, o mapa do fator K.

O fator topográfico (LS), composto pelas variáveis comprimento de rampa (L) e declividade (S), foi gerado pelo programa Usle2d 4.1 a partir do modelo digital de elevação (MDE) e do limite da área de estudo. O MDE foi obtido pela ferramenta “Topo to raster” do SIG ArcMap 9.3.1, que gera modelos hidrologicamente corretos. O algoritmo de modelagem de rota de fluxo adotado no programa Usle2d foi o *Flux decomposition*, um algoritmo de fluxo múltiplo. Para a determinação do fator LS, utilizou-se o algoritmo de McCool et al. (1987, 1989), recomendado por RENARD et al. (1997) para obtenção do fator topográfico da RUSLE. Optou-se pelo uso da opção “Rill < Interrill – fator C < 0,15”, pois a erosão entressulcos tem maior expressividade que a erosão em sulcos na área de estudo e a maioria dos usos e manejos presentes apresentou fator C inferior a 0,15.

O produto dos três parâmetros da RUSLE acima mencionados constituiu o Potencial Natural de Erosão (PNE), que considera apenas as variáveis que representam os parâmetros do meio físico (DONZELLI et al., 1992). O mapa de PNE foi fatiado em quatro classes qualitativas, propostas por SILVA (2008): fraco (0 – 400), moderado (400 – 800), forte (800 – 1.600) e muito forte ($> 1.600 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$).

Cenário 1 - Adequação dos fatores C e P à capacidade de uso da terra:

O mapa de capacidade de uso da terra, base para a elaboração dos fatores C e P desse cenário, foi elaborado por DEMARCHI (2012) seguindo a proposta de Lepsch et al. (1991), a partir dos critérios de julgamento relacionados ao solo e ao meio físico: fertilidade aparente, profundidade efetiva, permeabilidade e drenagem, contribuição para o deflúvio, pedregosidade, risco de inundação, declividade e presença de erosão.

Os mapas dos fatores C e P da RUSLE foram elaborados no SIG Idrisi Selva utilizando os valores apresentados na Tabela 1.

As Áreas de Preservação Permanente foram ocupadas com mata nativa, cujos fatores C e P foram os adotados para a classe de capacidade de uso VIIe.

O subfator P dos plantios em nível foi determinado por meio da equação 1 (LAGROTTI, 2000), em função da declividade do terreno em porcentagem (S):

$$P = 0,69947 - 0,08991.S + 0,01184.S^2 - 0,000335.S^3 \quad (1)$$

Para declividades inferiores a 0,5 % e superiores a 20 %, assumiram-se os valores do subfator P em 0,6 e 1,0, respectivamente (SILVA et al., 2010). Nas áreas cultivadas em nível e terraceadas, o fator P foi obtido pela multiplicação dos subfatores terraceamento e plantio em nível.

Cenário 2 – Ocupação com cana-de-açúcar sem manejo e plantio em nível:

Este cenário foi simulado porque a cana-de-açúcar ocupa área significativa na sub-bacia do Ribeirão das Perobas e tem grande probabilidade de expansão nela e no município devido à existência de usinas de açúcar e álcool na região. A simulação objetivou analisar os impactos da sua possível expansão na conservação das terras agrícolas.

Adotou-se o valor C de 0,1 (cana-de-açúcar sem manejo) (DONZELLI et al., 1992) e o plantio em nível, com fator P calculado pela equação 1 em função da declividade do terreno. As Áreas de Preservação Permanente foram mantidas com vegetação nativa, sendo utilizados os valores dos fatores C e P da Tabela 1, da classe de capacidade de uso da terra VIIe.

TABELA 1. Usos, manejos (fator C) e práticas conservacionistas (fator P) adequados à capacidade de uso da terra.

Land use and management (factor C) and support practices (factor P) suitable to land use capacity.

Classe	Uso/Manejo	Fator C	Práticas conservacionistas	Fator P
Ile,s	Milho (verão) em rotação com trigo (inverno) - semeadura direta ^{1,2}	0,061 + 0,0588 = 0,1198	Plantio em nível e terraceamento	
IIIe	Soja (verão) em rotação com trigo (inverno) - semeadura direta ²	0,0455 + 0,0588 = 0,1043	Plantio em nível e terraceamento	Variável com a declividade ^{5,6}
IIIe,s	Soja (verão) em rotação com aveia (inverno) - semeadura direta ^{2,1}	0,0455 + 0,0372 = 0,0827	Plantio em nível e terraceamento	
IIIs	Soja (verão) em rotação com aveia (inverno) - semeadura direta ^{2,1}	0,0455 + 0,0372 = 0,0827	Plantio em nível	
IVe	Citros com entrelinha vegetada ³	0,05	Alternância de capinas e plantio em nível	0,4 ⁷
IVe,s, IVs, VIe e VIe,s	Pastagem com manejo ⁴	0,001	Plantio em nível e terraceamento	Variável com a declividade ^{5,6}
VIIs	Reflorestamento com eucalipto ⁴	0,047	Plantio em nível e terraceamento	
Va	Pastagem com manejo ⁴	0,001	Plantio em nível	Variável com a declividade ⁶
VIIe	Reflorestamento com espécies nativas ⁴	0,0004	Fator P para floresta	0,001 ⁸

¹ BERTOL et al. (2002); ² BERTOL et al. (2001); ³ DONZELLI et al. (1992); ⁴ SILVA et al. (2010); ⁵ Subfator P para plantio em nível: determinado pela equação de LAGROTTI (2000); ⁶ Subfator P para áreas terraceadas: 0,5 (declividade > 40 %); 0,6 (declividade: 20 - 40 %); 0,7 (declividade: 12 - 20 %); 0,8 (declividade: 6 - 12 %); 0,9 (declividade: 3 - 6 %); 1,0 (declividade (0 - 3 %)); ⁷ BERTONI E LOMBARDI NETO (2005); ⁸ GONÇALVES (2002).

Os mapas de perda de solo dos dois cenários foram calculados pela multiplicação entre o mapa de Potencial Natural de Erosão e os mapas dos fatores C e P correspondentes. Os resultados, dados em t.ha⁻¹.ano⁻¹, foram agrupados em classes qualitativas propostas pela FAO (1967): baixa (0 – 10), média (10 – 50), alta (50 – 200) e muito alta (>200 t.ha⁻¹.ano⁻¹).

Determinou-se também o risco de erosão simulado, proposto por CAVALIERI (1998), que consiste na relação entre a perda de solo atual ou simulada e a perda tolerável de solo. A tolerância de perda de solo foi obtida por DEMARCHI (2012) por classe de solo, seguindo a metodologia proposta por MANNIGEL et al. (2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Potencial Natural de Erosão da sub-bacia do Ribeirão das Perobas, produto da erosividade da chuva, erodibilidade do solo e fator topográfico, é apresentado na Figura 2.

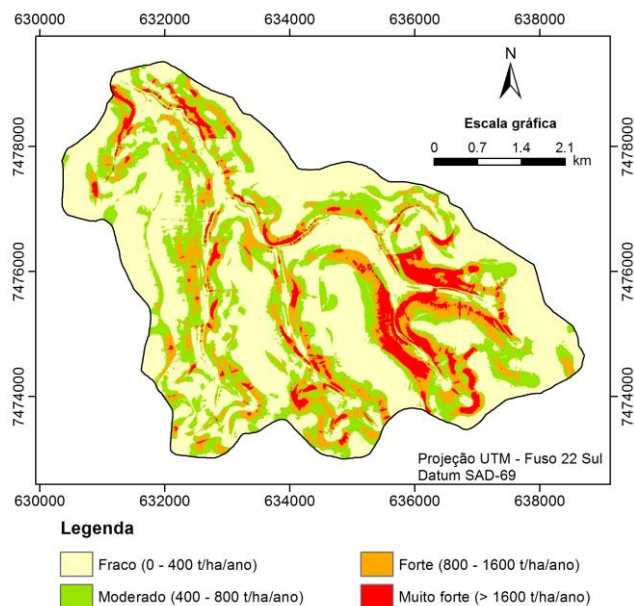


FIGURA 2. Potencial Natural de Erosão (PNE) da sub-bacia do Ribeirão das Perobas

A área de estudo apresenta PNE fraco em mais da metade de sua área total (55,09 %) em locais de menor fator topográfico nas proximidades dos divisores de água e áreas de topo, ou de fator topográfico médio, mas de baixa erodibilidade do solo. As áreas que apresentam PNE classificado como muito forte nas porções leste e sul da sub-bacia, localizam-se sobre solos de erodibilidade superior a $0,03 \text{ t.ha.h.a}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ sobre relevo acidentado, de declividade entre 6 e 40 %. Já as áreas de PNE muito forte situadas próximas aos cursos d'água nas porções central, norte e noroeste da sub-bacia possuem declividade em geral entre 12 % e 40 %, sendo este o principal fator de aumento da predisposição à erosão. Mesmo apresentando PNE fraco em mais da metade de sua área, a sub-bacia possui áreas não desprezíveis de PNE forte e muito forte que ocupam 20,83 % de sua área.

A Figura 3 apresenta os mapas de perda de solo anuais por erosão nos cenários 1 e 2.

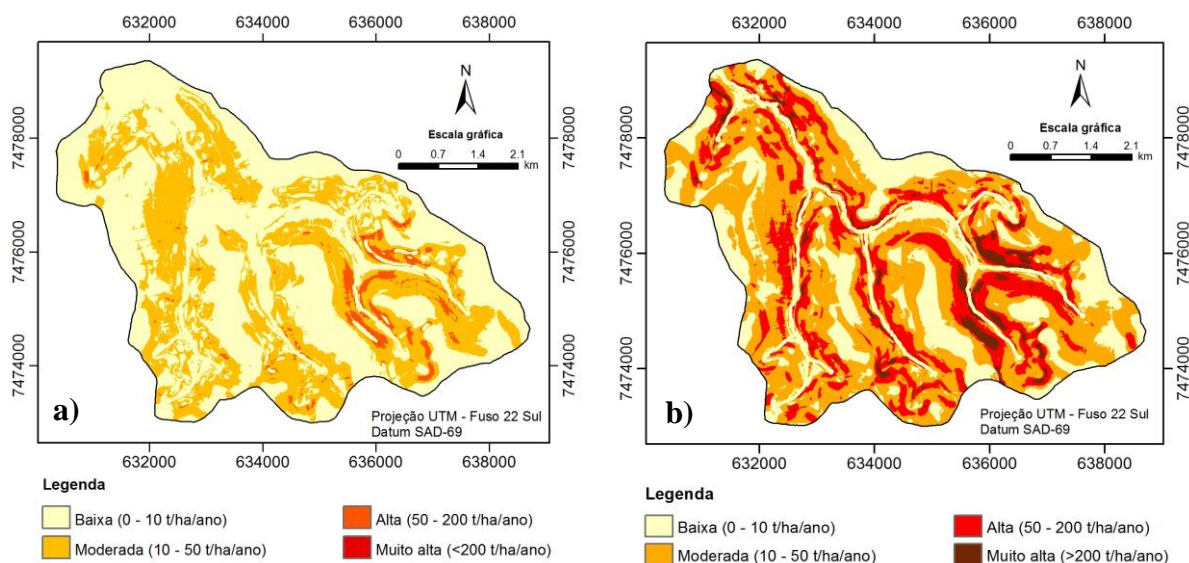


FIGURA 3. Perda de solo por erosão simulada pela RUSLE: a) Cenário 1 - Adequação dos fatores C e P à capacidade de uso da terra; b) Cenário 2 - Ocupação com cana-de-açúcar sem manejo e plantio em nível.

No cenário 1, o valor do fator C das classes de uso/manejo do solo propostas decresceu com o aumento do número da classe de capacidade de uso da terra, ou seja, quanto maior a restrição ao uso agrícola, mais intensa deve ser a proteção do solo.

A simulação de erosão nesse cenário apontou que 59,4 % de sua área apresenta perda de solo inferior a $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, representadas principalmente pelas áreas de topo e divisores de água ocupadas por eucalipto, culturas anuais em plantio direto e cultivo em nível, pastagem com manejo e Áreas de Preservação Permanente de diferentes classes de capacidade de uso. As perdas de solo “moderadas” ($10 \text{ a } 50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) ocorrem em terras cultivadas com culturas anuais em plantio direto, cultivo em nível e/ou terraceamento e citros com alternância de capinas, nas classes de capacidade de uso III e IV. As perdas de solo “alta” e “muito alta” ocupam 3,22 % e 0,01 % da área da sub-bacia, respectivamente, em terras da classe VI ocupadas por reflorestamento com eucalipto, plantio em nível e terraceamento, mas de PNE muito alto em decorrência do relevo forte ondulado e dos solos de erodibilidade alta.

Parte dos divisores de água da sub-bacia e áreas de topo sobre Latossolos Vermelhos Distróficos, enquadradas na classe VI de capacidade de uso da terra em virtude da fertilidade aparente ser muito baixa, apresentam PNE fraco influenciado pelo baixo fator topográfico. Mesmo havendo tal restrição, essas áreas podem suportar cultivos menos protetores do solo que o eucalipto, assim como práticas conservacionistas mais simples que o terraceamento considerando apenas o risco de erosão. Por outro lado, em áreas com PNE moderado, forte e muito forte, os usos, manejos e práticas conservacionistas adotados como adequados à capacidade de uso da terra se mostraram ineficientes na redução do processo erosivo.

A ocupação de toda a sub-bacia com cana-de-açúcar sem manejo e plantio em nível (cenário 2) provocou aumento nas perdas de solo por erosão em relação ao cenário 1. No cenário 2, a classe de perda de solo de maior área na sub-bacia foi a “moderada”, com 45,73 % da área total, enquanto as classes de perda de solo “alta” e “muito alta” perfazem, juntas, 23,96 % da sua área total e a classe “baixa” representa apenas 30,31 % da área da sub-bacia. No cenário 1, entretanto, a classe “baixa” representa 59,4 % da área da sub-bacia e as classes de perda de solo “alta” e “muito alta” representam juntas apenas 3,23 % da sub-bacia.

O aumento da taxa de erosão da sub-bacia neste cenário pode ser atribuído ao fato do fator C do cultivo da cana-de-açúcar sem manejo ser superior à maioria dos usos e manejos do cenário 1, ou seja, sua eficácia na proteção do solo contra a erosão é menor. O plantio em nível, utilizado como única prática conservacionista, é menos eficiente no controle da erosão que quando associado às outras práticas adotadas no cenário de adequação à capacidade de uso da terra. Em declividades superiores a 20 %, presentes em 4,29 % da sub-bacia, sua eficiência no controle da erosão é nula e o fator P tende ao valor 1. Esses dados alertam para a necessidade de conservação do solo em função da crescente ampliação das áreas agrícolas ocupadas por canaviais no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP e região. O manejo adequado da cultura com incorporação da palha ao solo (fator C = 0,05), por exemplo, pode reduzir as taxas de erosão do solo pela metade.

Em relação à distribuição espacial, as perdas de solo do cenário 2 são diretamente proporcionais ao Potencial Natural de Erosão e dependentes da variação do fator topográfico. A análise de correlação linear simples apontou o coeficiente de correlação de 0,91 entre o PNE e as perdas de solo e de 0,69 entre o fator topográfico e as perdas de solo.

Os mapas de risco de erosão simulado são apresentados na Figura 4, enquanto suas áreas são apresentadas na Tabela 2.

O risco de erosão simulado da área de estudo no cenário 1 apresenta relação direta com o seu Potencial Natural de Erosão. As áreas de PNE fraco coincidem com as de perda de solo tolerável. As áreas de PNE moderado se sobrepõem às de perda de solo 1 a 2 vezes acima da tolerância e, em parte, às perdas de solo toleráveis. Parte das áreas de PNE forte coincidem

com as perdas de solo 5 a 10 vezes acima do limite, e as áreas de PNE muito forte equivalem às classes de risco de erosão simulado maiores que 5 vezes acima da tolerância. Este fato demonstra que mesmo a adequação dos fatores C e P à capacidade de uso da terra não foi suficiente para reduzir as perdas de solo a níveis abaixo do tolerável nas áreas de maior suscetibilidade natural à erosão, representadas pelos PNEs moderado, forte e muito forte.

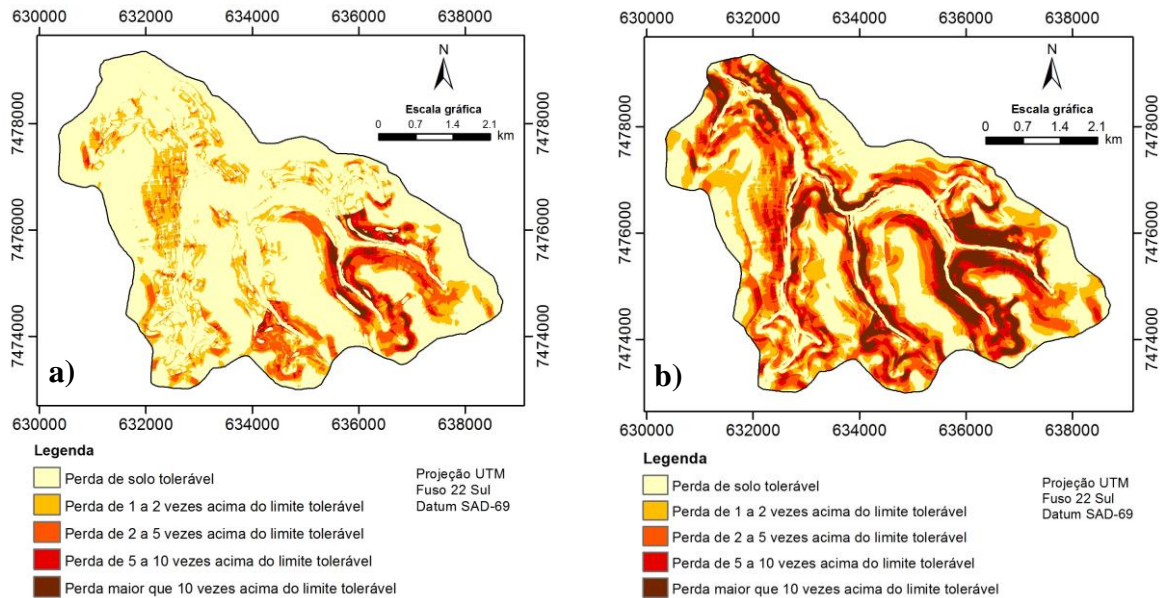


FIGURA 4. Risco de erosão simulado: a) Cenário 1 - Adequação dos fatores C e P à capacidade de uso da terra; b) Cenário 2 – Ocupação com cana-de-açúcar sem manejo e plantio em nível.

TABELA 2. Área das classes de risco de erosão simulado dos cenários 1 e 2.

Area of simulated erosion risk classes in scenarios 1 and 2.

Classe de risco de erosão simulado	Cenário 1 – Área:		Cenário 2 – Área:	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Perda de solo tolerável	2.134,37	69,73	1.158,05	37,83
Perda de 1 a 2 vezes acima do limite tolerável	507,42	16,58	606,69	19,82
Perda de 2 a 5 vezes acima do limite tolerável	291,76	9,53	646,54	21,12
Perda de 5 a 10 vezes acima do limite tolerável	86,21	2,82	319,31	10,43
Perda maior que 10 vezes acima do limite tolerável	41,32	1,35	330,50	10,80

A análise do risco de erosão simulado do cenário 2 mostra que as áreas agrícolas que apresentam perda de solo superior em 10 vezes o limite tolerável estão situadas sobre as classes de solo de menor tolerância de perda, como os solos PVAd, RLe e PVdf (tolerâncias de 3,08, 5,28 e 6,71 t.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente). Estas áreas apresentaram perda de solo moderada a muito forte, sobretudo em função do fator topográfico e da erodibilidade do solo elevados, à exceção do Neossolo Litólico Eutrófico, cuja erodibilidade é menor.

As áreas que apresentaram perda de solo tolerável ou de 1 a 2 vezes acima da tolerância estão situadas sobre solos de maior tolerância à perda, superiores a 12,5 t.ha⁻¹.ano⁻¹, em relevo plano ou suave ondulado, como os solos LVd, LVef, LVdf e NVef.

Como as taxas de erosão no cenário de ocupação com cana-de-açúcar sem manejo e cultivo em nível são maiores em comparação ao cenário de adequação à capacidade de uso da terra, o risco de erosão simulado é também mais elevado. As três classes de maior risco de erosão simulado, iguais ou superiores a 2 vezes acima do limite tolerável, representam juntas

42,35 % da superfície da área de estudo no cenário 2, enquanto no cenário 1 essas classes representam 13,7 % da área da sub-bacia.

Em relação à classe de risco de erosão simulado abaixo dos limites toleráveis, a área representativa do cenário 2 equivale a aproximadamente metade da área ocupada pelo cenário 1 (37,83 % e 69,73 % da área total, respectivamente). Portanto, a expansão da monocultura da cana-de-açúcar sem manejo e com práticas conservacionistas ineficientes promove o aumento da taxa de erosão a níveis superiores à tolerância em locais de maior PNE, o que pode comprometer a produtividade do solo e a viabilidade econômica do empreendimento agrícola, além de evoluir para formas mais avançadas de erosão, comprometendo os cursos d'água.

CONCLUSÕES

No cenário analisado de adequação do uso, manejo e práticas conservacionistas à capacidade de uso da terra, os usos e práticas propostos não promoveram a redução do processo erosivo nas áreas de PNE forte e muito forte, implicando a necessidade de maior restrição ao uso, como a adoção de sistemas de cultivo e culturas de maior proteção do solo, o dimensionamento adequado do espaçamento entre terraços, entre outras práticas que promovam a redução dos fatores C e P.

Já no cenário de ocupação com cana-de-açúcar sem manejo e plantio em nível, as taxas de erosão foram mais elevadas e diretamente proporcionais ao Potencial Natural de Erosão, sobretudo em relação à declividade e ao comprimento de rampa, cujo aumento promove a redução do efeito das práticas conservacionistas.

O risco de erosão simulado apontou perdas de solo acima da tolerância em 30,27 % da área da sub-bacia no cenário 1 e em 62,17 % de sua área no cenário 2, mas em graus diferentes de intensidade. O modelo RUSLE e os Sistemas de Informações Geográficas são ferramentas eficientes e fundamentais no planejamento conservacionista do uso da terra por meio de cenários de erosão.

REFERÊNCIAS

ABE, K. et al. Desenvolvimento de método de avaliação da erosão do solo para a bacia-piloto da Água da Cachoeira. In: VILAS BÔAS, O.; DURIGAN, G. (Org.). **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental do Oeste Paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão**. São Paulo: Páginas & Letras, 2004. cap. 10, p.155-168.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para as culturas de soja e trigo em três sistemas de preparo em um Cambissolo Húmico Alumínico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 451-461, abr./jun. 2001.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três tipos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 545-552, abr./jun. 2002.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355 p.

CAVALIERI, A. **Estimativa da adequação de uso das terras na quadrícula de Moji Mirim (SP) utilizando diferentes métodos**. 1998. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

- DEMARCHI, J. C. **Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na sub-bacia do Ribeirão das Perobas, município de Santa Cruz do Rio Pardo - SP**. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.
- DONZELLI, P. L. et al. Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de Microbacias Hidrográficas. **Documentos IAC**, Campinas, n. 29, p. 91-119, 1992.
- EASTMAN, J. R. **Idrisi Selva** – GIS and Image Processing Software – version 17. Worcester: Clark Labs, 2002.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC. **ArcGIS / ArcMap**. Professional GIS for the desktop, release 9.3.1. Redlands, 2009.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. **Cuadernos de Fomento Agropecuario de la Organización de las Naciones Unidas**. Roma: FAO, 1967. n. 81, 207 p.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. cap. 4, p. 149-209.
- GONÇALVES, J. L. M. Conservação do solo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 2, p. 47-129.
- IBGE. **Carta topográfica**: folha Santa Cruz do Rio Pardo – SF-22-Z-A-VI-4. Rio de Janeiro: Serviço Gráfico do IBGE, 1973. Escala 1:50.000.
- LAGROTTI, C. A. A. **Planejamento Agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim – SP**: estudo de caso na Microbacia Hidrográfica do Córrego do Jardim. 2000. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: SBCS, 1991. 175 p.
- MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.
- MOREIRA, M. C. et al. Programa computacional para estimativa da erosividade da chuva no estado de São Paulo utilizando redes neurais artificiais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 14, n. 2, p. 88-92, abr./jun. 2006.
- RENARD, K.G. et al. **Predicting soil erosion by water**: guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington: US Gov. Print Office, 1997. 404 p. (Agriculture Handbook, 703).
- SILVA, F. G. B. et al. Predição da perda de solo na Fazenda Canchim – SP (EMBRAPA) utilizando Geoprocessamento e o USLE 2D. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.141-148, abr./jun. 2010.
- SHI, Z. H. et al. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the Three Gorge Area of China. **Catena**, Amsterdam, v. 55, n. 1, p. 33-48, January. 2004.
- VAN OOST, K.; GOVERS, G. **Usle2D**. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven, 2000.