

ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLOS POR MEIO DA EQUAÇÃO UNICVERSAL DE PERDAS DE SOLOS (USLE) COM USO DO INVEST PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUAPI-MACACU – RJ.

Dayse Thompson^{1}; Elaine Cristina Cardoso Fidalgo²*

Resumo – Este trabalho apresenta metodologia para estimativa de perda de solos na bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu – RJ, a partir do módulo de estimativa de retenção de sedimentos da ferramenta InVest (Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs). Para identificar a perda potencial de solo, o módulo emprega a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE), integrando informações sobre relevo, precipitação, padrões de uso da terra e propriedades do solo. Os resultados obtidos permitiram concluir que embora haja limitações no uso da Equação Universal de Perda de Solo, o modelo possibilitou a espacialização de classes de perdas de solos com indicações de áreas consideradas mais ou menos vulneráveis aos processos erosivos, considerando os dados disponíveis e suas escalas. O uso do InVest para calcular a USLE apresentou como principal vantagem a possibilidade de integração dos dados necessários em um único ambiente, reduzindo a possibilidade de erros na conversão de dados. Contudo, a maior limitação encontrada a sua aplicação esta na dificuldade de obtenção de dados de entrada necessários ao modelo.

Palavras-Chave – erosão dos Solos; vulnerabilidade das terras, Sistema de Informação Geográfica (SIG).

ESTIMATE OF SOIL LOSS THROUGH THE EQUATION UNIVERSAL LOSS OF SOIL (USLE) USING THE INVEST FOR WATERSHED BASIN RIVER GUAPI-MACACU - RJ.

Abstract – This paper presents methodologies to estimate soil loss in the watershed of Guapi-Macacu river – RJ, using the sediment retention module of the InVEST (Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs) tool. To identify the potential soil loss, the module employs the Universal Soil Loss Equation (USLE), integrating information about topography, rainfall, land use and soil properties. The results of this study indicated that although there are limitations in the use of USLE, the model allowed the spatialization of soil loss classes with indications of areas considered more or less vulnerable to erosion, considering the available data and their scales. The use of the InVEST to calculate the USLE showed as main advantage the possibility of integrating data in a single environment, reducing the possibility of errors of data conversion. However, the major limitation found was the difficulty of obtaining necessary input data for the model.

Keywords – soil erosion, land vulnerability, GIS.

¹ Mestranda: Instituto Militar de Engenharia (IME), daysethompson20@gmail.com.

² Pesquisadora: Embrapa Solos, elaine.fidalgo@embrapa.br.

* Autor Correspondente: Dayse Thompson.

1. INTRODUÇÃO

Em todo o mundo verificam-se inúmeros cenários de degradação das paisagens, decorrentes de fenômenos naturais e, também, decorrentes de usos e ocupações desordenadas, trazendo prejuízos não só ao meio físico natural, como ao próprio homem.

Dentre as formas de degradação, tem-se a perda de solo por erosão, a qual pode causar grandes alterações na paisagem, além de prejuízos econômicos e, em casos extremos, causar desastres e perdas de vidas. Nesse contexto, busca-se garantir por meio da legislação ambiental, que áreas potenciais de risco, se transformem em áreas de risco efetivo (MAFFRA e MAZZOLA, 2007).

No Brasil, um dos fatores de desgastes e perdas de solos que mais seriamente tem contribuído para a improdutividade dos mesmos é a erosão hídrica, facilitada e acelerada pelo homem com suas práticas inadequadas de uso das terras (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Dentre os principais fatores que influenciam os processos erosivos estão: a erosividade da precipitação, medida principalmente pela sua intensidade; a erodibilidade, definida pelas características físicas e químicas do solo; a cobertura vegetal, pela sua maior ou menor proteção do solo, a declividade e comprimentos das encostas; e as práticas de conservação e manejo dos solos existentes (ALVARES e PIMENTA, 1998).

O modelo empírico mais conhecido e utilizado para estimativa de taxas de perda de solo por erosão é a Equação Universal de Perda de Solo (Universal Soil Loss Equation- USLE), desenvolvida em 1954 no National Runoff and Soil Loss Data Center (Purdue University, USA), e posteriormente revisada por Wischmeier e Smith (1978).

A USLE pode ser aplicada utilizando ferramentas de sistemas de informação geográfica como é o caso da ferramenta InVEST (Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs) (TALLIS *et al.*, 2012). Desenvolvido pelo Projeto Capital Natural (<http://www.naturalcapitalproject.org>) como subsídio ao processo de tomada de decisão ambiental, o InVEST é livremente disponível, de código aberto e funciona em ambiente ArcGIS (toolbox). Seus módulos apresentam modelos que permitem a quantificação, espacialização e valoração dos benefícios providos pelos sistemas terrestre, marinho e de água doce. Dentre os módulos disponíveis, tem-se o de retenção de sedimentos, que estima perda de solos a partir da aplicação da USLE.

Considerando a importância da estimativa de perda de solos no contexto das bacias hidrográficas, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de analisar os fatores que influem na vulnerabilidade a erosão dos solos e suas variações ao longo da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu (BHRGM), no estado do Rio de Janeiro, aplicando a Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) disponível no InVEST.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu (BHRGM) é uma bacia que abrange grande parte da área de drenagem da baía de Guanabara com aproximadamente 1256 km² compreendida entre as latitudes médias de 22° 24' e 22° 57'S e longitudes médias 42° 33' e 43° 19'W, abrangendo os municípios de Cachoeira de Macacu e parte dos municípios de Itaboraí e Guapimirim, situados na porção leste da baía, no Estado do Rio de Janeiro (Figura 1). Ela é caracterizada por um relevo

muito diversificado indo de áreas planas, no nível do mar, até regiões serranas, com declividades acentuadas e altitudes que ultrapassam os 2 000 metros. (FIDALGO *et al.*, 2009).

O clima regional é classificado como tropical úmido, com estação seca pouco pronunciada, com temperatura máxima de 35°C e mínima de 13°C, sendo a média superior a 18°C em todos os meses. As maiores temperaturas, acima de 25°C ocorrem nas áreas abaixo de 200 metros de altitude, englobando a Baixada Fluminense. Nas áreas mais elevadas as temperaturas atingem índices entre 20°C e 18°C (PEDREIRA *et. al.*, 2009).



Figura 1 – Localização da área de estudo.

2.2. Estimativa da perda de solos

Para a estimativa de perdas de solos anual, foi utilizado o módulo que desenvolve o modelo de retenção de sedimentos. Esse módulo permite calcular a perda de solo média anual de cada parcela de terra, além de determinar o quanto de solo pode chegar a um determinado ponto de interesse, conhecendo a capacidade de cada parcela para reter sedimentos, e, adicionalmente, avaliar o custo de remoção do sedimento acumulado.

Face aos objetivos deste trabalho e aos dados disponíveis, o INVEST foi aplicado somente para o cálculo das perdas de solo anuais. Para identificar a perda potencial de solo, o modelo emprega a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) (WISCHMEIER e SMITH, 1978) na escala de pixel, que integra informações sobre padrões de uso da terra e propriedades do solo, bem como informações sobre relevo e precipitação. Embora possam ser acessados os resultados da aplicação da USLE em cada pixel, o programa apresenta como produto final, os resultados totalizados por sub-bacias, o que pode ser mais adequado a processos de tomada de decisão.

A metodologia empregada, incluindo os dados necessários e utilizados no modelo de estimativa da perda de solos por erosão, é apresentada de forma esquemática na Figura 2.

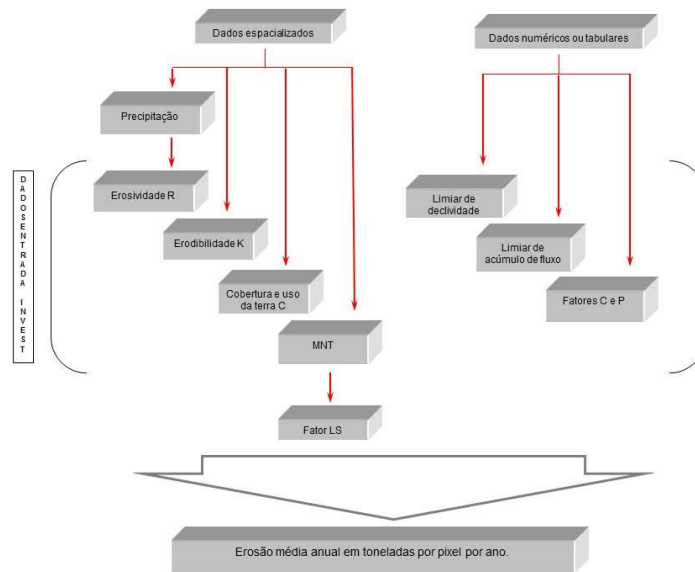


Figura 2 – Representação esquemática dos dados empregados para a estimativa de perda de solo por erosão utilizando o programa InVEST.

O programa exige que os dados estejam no formato raster, com mesma resolução e mesmo sistema de projeção. No caso, os dados especializados, em formato raster, apresentavam resolução de 30 metros e sistema de projeção UTM, Datum Córrego Alegre, Fuso 23 Sul. O sistema de projeção utilizado é o mesmo das cartas do IBGE disponíveis para a área de estudo, em escala 1:50.000, que foi a referência para o georreferenciamento dos dados disponíveis (FIDALGO *et al.*, 2009, PEDREIRA *et al.*, 2009).

Os dados de erosividade foram estimados a partir dos dados diários disponíveis das estações meteorológicas da área de estudo (FIDALGO *et al.*, 2012)

O mapa de erodibilidade, ainda não publicado, foi gentilmente cedido pelo Dr. César da Silva Chagas. Ele é derivado do levantamento de solos realizado na área de estudo e do mapa resultante, elaborado na escala 1:50.000. Os valores de erodibilidade da região foram atribuídos a cada unidade de mapeamento de solo e variam entre 0 e 0,031 Mg.h.MJ⁻¹.mm⁻¹.

O fator topográfico (LS) foi obtido a partir do modelo digital de elevação com resolução de 30 metros disponível para a área (FIDALGO *et al.*, 2009) e calculado diretamente no InVEST. As estimativas do fator topográfico no InVEST são baseadas em um modelo chamado N-SPECT, no qual mudanças bruscas da declividade resultam em corte no comprimento de rampa. No modelo, diferentes equações LS são automaticamente usadas para as condições de declividade “encostas baixas” e “encostas altas”.

Para baixas declividades:

$$LS = \left(\frac{flowacc \cdot cellsize}{22.13} \right)^{nm} \left(\left(\frac{\sin(slope \cdot 0.01745)}{0.09} \right)^{1.4} \right) + 1.6$$

(1)

$$nm = \begin{cases} 0.5, slope \geq 5\% \\ 0.4, 3.5 < slope < 5\% \\ 0.3, 1 < slope \leq 3.5\% \\ 0.2, slope \leq 1\% \end{cases}$$

onde flowacc é o fluxo acumuladiono em cada pixel e cellsize é o pamanho do pixel.

Para altas declividades:

$$L.S = 0.08\lambda^{0.35}prct_slope^{0.6} \quad (2)$$

$$\lambda = \begin{cases} cellsize, flowdir = 1, 4, 16, \text{ or } 64 \\ 1.4 \cdot cellsize, other\ flowdir \end{cases}$$

onde *prct_slope* é a declividade em porcentagem do pixel e *flowdir* é a direção do fluxo no pixel.

O limiar de declividade para alternar entre as duas equações deve ser definido pelo usuário e depende da geomorfologia local e as características das bacias hidrográficas. No caso da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu optou-se por utilizar o limiar sugerido pelo programa, igual a 75%.

O acúmulo de fluxo corresponde ao valor acumulado de fluxo das células à montante. Seu limiar é escolhido de forma que, ao ser ultrapassado, as células que apresentarem valor acima deste são consideradas como parte de um curso d'água. Para a escolha desse limiar, foram realizados testes em que foram comparados resultados de diferentes valores de fluxo acumulado e a rede de cursos d'água representada nas cartas em escala 1:50.000 - utilizadas para a representação planialtimétrica da área. Com base nesses testes, selecionou-se o valor de fluxo acumulado igual a 300.

O uso da terra utilizado baseou-se no mapa de uso e cobertura da terra elaborado com imagens do sensor TM-Landsat 5 de 02/08/2007 (PEDREIRA *et al.*, 2009) e os valores para o fator C (Tabela 1) foram derivados do levantamento realizado por Costa *et al.* (2005).

Tabela 1. Valores do fator C atribuídos às classes de uso e cobertura da terra. Dados derivados de levantamento realizado por Costa *et al* (2005).

Classes	Fator C
Afloramento rochoso	0,01
Água	0
Área Agrícola	0,2558821
Área Urbanizada	0,0075
Área Urbanizada de Baixa Densidade	0,01
Campo de Altitude	0,0194
Mangue	0,005
Pastagem	0,0288
Solo Exposto	1
Vegetação em estágio inicial de regeneração	0,0007
Vegetação em estágio médio de regeneração	0,0001
Vegetação em estágio avançado de regeneração	0,0001

3. RESULTADOS

Os resultados da estimativa da perda de solos (Figura 3) obtidos pela aplicação do módulo de retenção de sedimentos da ferramenta InVEST referem-se à perda de solo média anual de cada parcela de terra, neste caso, a perda de solo por área do pixel (30 x 30 metros). Na Figura, os valores foram transformados para perda de solos em toneladas por hectare, sendo apresentados em cinco classes, cujos intervalos foram propostos por Costa *et al.* (2005).

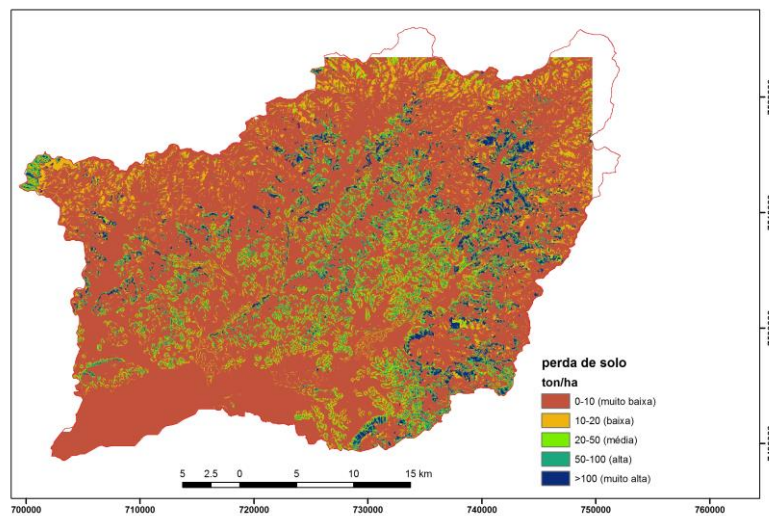


Figura 3. Estimativa de perda de solos em ton.ha⁻¹ na bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu.

Observa-se que as classes as classes média, alta e muito alta de perda de solo se encontram mais concentradas em algumas posições.

As estimativas de perda de solo por erosão resultantes da aplicação da equação universal de perda de solo (USLE) devem ser utilizadas com bastante precaução, ao se considerar as críticas existentes ao modelo (TALLIS *et al.*, 2012). A primeira delas é que esse modelo simula apenas a erosão laminar e, em algumas áreas, outros processos podem ser mais importantes e determinantes para a perda de solos. Além disso, as estimativas do modelo são anuais, não permitindo a análise da variação sazonal e de eventos extremos. Soma-se a isso a dificuldade em encontrar uma boa base de dados e resultados de pesquisa para a atribuição de valores para os fatores uso e cobertura da terra (C) e práticas de manejo (P).

De acordo com Araújo (2006), Wischmeier e Smith previnem o usuário (da USLE) que a grande fonte potencial de erros está na seleção de valores inadequados dos fatores e que as condições a serem avaliadas devem ser claramente definidas, mas muitos pesquisadores investigaram o uso da USLE em áreas de vegetação natural. A maioria destes estudos mostrou que a USLE não tem desempenho tão bom como quando testado em condições de cultivo agrícola. Apesar destes estudos não apresentarem os mesmos resultados, eles realmente indicam que versões não modificadas da USLE não estimam adequadamente a erosão em solos não-agrícolas. Entretanto, segundo Ranieri *et al.* (1998, citados por ARAÚJO, 2006), apesar dos limites e restrições atribuídos à USLE, esta continua sendo o principal modelo aplicado em estudos de erosão de microbacias por geoprocessamento.

Neste estudo, a grande vantagem da aplicação da USLE está na indicação dos locais mais vulneráveis à perda de solos. Para uma melhor compreensão dos fatores da USLE e como eles influenciaram a composição de cada classe de perda de solo definida, foi analisada a distribuição de cada fator que compõe o modelo (K, R, LS, C e P) em cada classe de perda de solo.

Com base nessas análises, verificamos que os fatores erosividade (R) e erodibilidade (K) não apresentaram diferenças em seus valores mínimo, máximo e médio entre as classes de perda de solo. Considerando ainda que o fator P foi considerado constante para toda a área e que os fatores LS e C apresentaram diferenças principalmente entre as classes de muito baixa/baixa, quando comparadas às classes média, alta e muito alta perda de solos, podemos concluir que esses dois

últimos fatores foram os que mais contribuíram para a definição dessas classes no contexto deste estudo.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES, M. T. P.; PIMENTA, M. T. **Erosão hídrica e transporte sólido em pequenas bacias hidrográficas**. 1998.

ARAÚJO, E. P. de. **Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento**. 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos - SP.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392 p.

COSTA, T. C. C.; LUMBRERAS, J. F.; ZARONI, M. J.; NAIME, U. J.; GUIMARÃES, S. P.; UZÊDA, M. C. **Estimativas de perdas de solo para microbacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 78).

FIDALGO, E.C.C.; JÚNIOR, W.C.; GODOY, M.D.P.; Análise da qualidade do modelo digital de elevação para representação da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu, RJ, Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 3785-3791.

FIDALGO, E.C.C.; THOMPSON, D.; LIMA, E.P.; GONÇALVES, A.O.; SCHULER, A.E.; LAUREANO, I.C.M. **Estimativa da erosividade e sua espacialização para as bacias hidrográficas dos rios Guapi-Macacu e Caceribu**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. (Boletim de Pesquisa, no prelo).

MAFFRA, C. Q. T.; MAZZOLA, M. As razões dos desastres em território brasileiro. In: SANTOS, R.F. dos. (org.). **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007.

PEDREIRA, B. C. C. G.; FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; FADUL, M. J.; BASTOS, E. C.; SILVA, S. A.; ZAINER, N. G.; PELUZO, J. **Dinâmica de uso e cobertura da terra nas bacias hidrográficas do Guapi-Macacu e Caceribu – RJ**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009a. 66 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 136).

TALLIS, H.; RICKETTS, T., GUERRY, A.; WOOD, S.; SHARP, R.. InVEST 2.3.0 user's guide: interated valuation of environmental services and tradeoffs. 2012. Disponível em: <http://www.naturalcapitalproject.org/InVEST.html>. Acesso em: 27 nov. 2012.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. USDA-ARS Agriculture Handbook, Washington DC, 1978.