

Aplicação da RUSLE combinada ao SIG para estimativa de perdas de solo em uma vertente na Depressão Central do RS

**LEONIR TEREZINHA UHDE⁽¹⁾, NADIA BERNARDI BONUMÁ⁽²⁾, LEANDRO DALBIANCO⁽²⁾,
JEAN PAOLO MINELLA⁽³⁾, JOSÉ MIGUEL REICHERT⁽³⁾, EDUARDO SALDANHA
VOGELMANN⁽⁴⁾, CLAUDIA A. P. DE BARROS⁽⁴⁾ & RAFAEL RODRIGUES⁽⁵⁾**

RESUMO - Os métodos tradicionais para o cálculo das perdas de solo por meio da RUSLE – equação universal de perdas de solo revisada - fornece como resultado a média de longo período para uma unidade de área homogênea. A determinação das perdas de solo em áreas de grande complexidade é um procedimento de difícil execução segundo os métodos tradicionais. Uma alternativa viável e eficiente é o acoplamento do modelo em ambiente SIG, permitindo a discretização da variabilidade da perda de solo em áreas de grande complexidade. Assim, o objetivo deste trabalho foi apresentar uma aplicação desta metodologia para identificar a variabilidade da perda de solo em uma topossequência de solos da Depressão Central do RS. A área possui 0,65 ha e relevo suave ondulado. Os fatores que compõem o modelo foram espacializados segundo os parâmetros que os definem (dados climáticos - fator R, descrição e classificação dos solos e análises granulométricas - fator K, levantamento topográfico - fator LS, e avaliação a campo do uso e manejo do solo e das práticas conservacionistas - fator CP). O mapa de perda de solo pelo modelo RUSLE foi calculado utilizando álgebra de matrizes. A utilização conjunta da RUSLE com um sistema de informações geográficas permitiu determinar a discretização espacial dos fatores e das perdas de solo na área de estudo.

Palavras-Chave: topossequência de solos; RUSLE; erodibilidade do solo; Argissolo; Gleissolo.

Introdução

A planificação de uso do solo deve incorporar o tratamento da questão da erosão, incluindo principalmente a identificação dos fatores relacionados à atuação dos processos erosivos e a detecção de áreas mais suscetíveis à erosão (atual e potencial). O objetivo é de regular as ações sobre essas áreas, buscando uma incidência mínima de uso, para evitar os prejuízos sobre as atividades humanas e no ambiente [1].

A Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE) é amplamente utilizada para a predição de perda de solo por erosão hídrica [2]. Os fatores que interferem nas perdas de solo são: o potencial erosivo da chuva; a

suscetibilidade do solo à ação da chuva; a topografia; uso do solo; e as práticas conservacionistas.

O método tradicional para o cálculo da perda de solo por meio da RUSLE fornece como resultado a média de longo período para uma área considerada homogênea, não sendo possível discretizar minuciosamente a variabilidade espacial da perda de solo e das áreas fontes de sedimentos, principalmente em áreas de relevo complexo, como as bacias hidrográficas e vertentes. A utilização conjunta da RUSLE com um Sistema de Informações Geográficas permite discretizar espacialmente os fatores que determinam a perda de solo e, conseqüentemente, realizar o cálculo da RUSLE, independente da complexidade espacial dos fatores.

Esse estudo procura salientar, também, o cálculo do fator topográfico, pois este é o fator de maior limitação para a extrapolação da RUSLE para áreas maiores e de relevo complexo. Como alternativa ao fator topográfico tradicional foi usado o algoritmo proposto por Wilson & Gallant [3], que incorpora os efeitos da forma das vertentes, bem como a declividade e o comprimento de rampa. Esse trabalho teve como objetivo demonstrar a aplicação da RUSLE combinada ao SIG e o ganho de informação na estimativa da perda de solo em áreas de relevo complexo.

Material e Métodos

A. Local de estudo

O estudo foi desenvolvido em uma topossequência de solos da Depressão Central do Rio Grande do Sul, no município de Santa Maria, RS (Figura 1). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfa [4], com temperatura média anual de 19,3°C, precipitação média anual de 1561 mm e altitude de 100 m.

A Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul corresponde à borda da bacia sedimentar do Paraná, constituída por sedimentos depositados pelos diferentes agentes ao longo de várias épocas geológicas. Ocorre predomínio de material sedimentar das formações Rosário do Sul e Santa Maria, e sua extensão é de 54.000 km² de superfície [5]. O relevo é caracterizado por grandes planícies aluviais e coxilhas sedimentares com declínios médios [6].

⁽¹⁾ Professora Adjunta do Departamento de Estudos Agrários, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, doutoranda do programa de pós-graduação em Ciência do Solo (PPGCS), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, CEP 97105-900. E-mail: ltuhde@gmail.com.

⁽²⁾ Doutorando do PPGCS, UFSM, Santa Maria, RS.

⁽³⁾ Professor do PPGCS, UFSM, Santa Maria, RS.

⁽⁴⁾ Graduando do Curso de Agronomia, UFSM, Santa Maria, RS.

⁽⁵⁾ Graduando do Curso de Engenharia Florestal, UFSM, Santa Maria, RS.

B. Escolha da topossequência e obtenção dos dados

A área escolhida foi uma topossequência, com comprimento de, aproximadamente, 215 m desde o divisor de água até o talvegue, e aproximadamente, 30 m de largura. Esta área representa uma unidade típica de escoamento superficial e produção de sedimentos pela erosão hídrica. A área é representativa de pastagem degradada pelo sobrepastejo. A vegetação da área é composta por campo nativo e pastagem anual, com aveia no inverno e milho no verão.

Nesta topossequência foram descritos treze perfis para caracterização dos solos. Os critérios utilizados para escolha dos treze perfis foram as variações do teor de argila, a espessura do horizonte A e a profundidade do início do horizonte Bt, associado com a posição ocupada na topossequência.

Os dados necessários para o cálculo da perda de solo pela equação universal de perdas de solo foram obtidos por meio de avaliações no campo do uso e manejo do solo, levantamento topográfico detalhado, obtenção de dados climáticos da região e análises químicas e físicas de solo. Todos os dados foram georreferenciados e organizados em um sistema de informações geográficas (ArcView®), permitindo assim a espacialização das informações necessárias e aplicação da RUSLE, por meio de álgebra de matrizes. O procedimento de cálculo é feito pela equação abaixo [7]:

$$A = R K L S C P$$

A = perda do solo ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

R = fator erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ hora}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

K = fator erodibilidade do solo ($t \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$);

L = fator comprimento da rampa (adimensional);

S = fator grau do declive (adimensional);

C = fator uso do solo (adimensional);

P = fator práticas conservacionistas (adimensional).

Os dados de campo incluem uma alta discretização do fator erodibilidade na topossequência, já que mesmo dentro de uma mesma vertente os solos podem apresentar diferentes vulnerabilidades à erosão, a qual depende diretamente de características como a textura, a estrutura, a consistência, conteúdo de matéria orgânica, desenvolvimento do perfil de solo [1].

Para cada fator foi gerado um mapa baseado na informação básica disponível (clima, solos, relevo e uso) e calculado utilizando as equações específicas para cada fator e que são descritas a seguir. Os mapas têm discretização de $0,25 \text{ m}^2$ e células de $0,7$ por $0,7 \text{ m}$.

C. Fator R - Erosividade

A erosividade da chuva é definida como a capacidade da chuva em causar a erosão devido ao impacto da gota de chuva sobre o solo e formação da enxurrada. O fator R é calculado por meio de um estudo detalhado das características das precipitações ao longo do ano da intensidade e energia cinética (índice EI_{30}). Para a área de estudo foi utilizado os

resultados obtidos por Cogo et al. [8]. No referido estudo foram analisadas 1324 chuvas de 1963 a 2000, obtendo-se erosividade média anual de $8551 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

D. Fator K - erodibilidade

O fator K foi obtido após descrição e classificação dos solos da topossequência. Foi realizada a descrição dos perfis segundo Lemos & Santos [9] e a classificação dos solos de acordo com EMBRAPA [10].

O fator K foi determinado indiretamente, por meio das equações de Roloff **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Para os Argissolos utilizou-se a equação adaptada para “solos com B textural”, e para os Gleissolos a equação para “outros solos profundos ($> 1\text{m}$)”, sendo elas:

$$K_t = 0,0917g^{0,5} - 0,0526f + 0,0176h \text{ (solos com B textural)}$$
$$K_p = 0,1038g^{0,5} - 0,0454d \text{ (outros solos profundos } > 1 \text{ m)}$$

Onde:

d = teor de Al_2O_3 extraído por ácido sulfúrico (g g^{-1});

f = teor de Fe_2O_3 extraído por ácido sulfúrico (g g^{-1});

g = silte (silte + h) (silte em g g^{-1}); e

h = teor de areia fina $0,2-0,05\text{mm}$ (g g^{-1})

Os teores de Fe_2O_3 e Al_2O_3 foram obtidos dos valores apresentados em Brasil [5].

E. Fator LS - topografia

O fator topográfico LS foi calculado a partir do modelo numérico do terreno construído a partir do levantamento topográfico detalhado da área. O método utilizado foi o proposto por Wilson & Gallant [3], que incorpora os efeitos da declividade e do comprimento de rampa, bem como a forma das vertentes. Para isso usou-se um aplicativo (algoritmo) presente no programa ArcView.

F. Fator CP - uso do solo e práticas conservacionistas

O levantamento de uso e manejo do solo foi realizado diretamente no campo. Utilizou-se uma armação de 1 m^2 para avaliação da cobertura do solo. A área possui pastagem em toda sua extensão. Essa é mais degradada no terço superior da topossequência - composta por pastagem anual em sistema convencional de cultivo - e de melhor qualidade na parte inferior - sob cultivo perene. Na parte intermediária, a pastagem possui qualidade mediana.

Para avaliação do fator P comparou-se as práticas de conservação da área com a parcela padrão de estudos de perda de solo, onde o plantio é realizado morro abaixo e as práticas conservacionistas são representadas somente por dois pequenos terraços.

Resultados e discussão

A classificação dos solos, posição ocupada no relevo pelo perfil do solo, análise granulométrica, teor de matéria orgânica e o fator K do horizonte Ap dos 13 solos da topossequência é apresentada na Tabela 1. Os perfis de solo posicionados na parte superior da topossequência (P97 ao P15) são bem drenados e foram classificados como Argissolo Vermelho Distrófico arênico. Na parte inferior - mal drenada - ocorre Gleissolo Háplico. Para o completo

entendimento dos processos erosivos torna necessário o envolvimento de análises laboratoriais mais complexas, porém estas são mais eficazes e eficientes nas suas respostas quando é coletada nos locais mais representativos, isto é facilmente conseguido com estudos em topossequência do solo.

Certos solos são mais suscetíveis à erosão do que outros, de acordo com as suas características físicas, notadamente textura, permeabilidade e profundidade. Solos de textura arenosa, como é o caso dos Argissolos, são os mais facilmente erodidos (Tabela 1) e também são menos permeáveis nos horizontes subsuperficiais devido à presença de horizonte B mais adensado, com acumulação de argila. Essas características associadas ao baixo teor de matéria orgânica (MOS) presente nos diferentes perfis de solo, já seriam suficientes para afirmar que se trata de solos erodíveis, exceto o perfil 23 que apresenta um teor MOS médio (Tabela 1).

O fator C escolhido para a pastagem degradada foi de 0,05 e 0,03 (porção mediana do relevo), enquanto que a pastagem nativa foi 0,01. Como a área é cultivada com pastagem - sem plantio morro abaixo - e apresentam dois terraços que diminuem o comprimento de rampa, o fator P foi considerado de 0,65.

As curvas de nível da área da vertente são apresentadas na Figura 2. Foram gerados quatro mapas: mapa do fator LS - topográfico (Figura 3); mapa do fator K - erodibilidade (Figura 4); mapa do fator C - cobertura do solo (Figura 5) e o mapa de perdas de solo (Figura 6). Na figura 6, pode-se identificar as áreas de maior erosão, localizadas na encosta superior, ombro e no interflúvio. As cores vermelhas indicam as áreas com maior erosão e os verdes com uma menor erosão. Nota-se, na figura 6, duas faixas de mudança abrupta nos valores de perda de solo, as quais são geradas pelas também abruptas mudança no manejo do solo.

A maneira como a terra é manejada tem influência direta nas perdas de solo. As áreas com maior perda de solo são, exatamente, aquelas com intensa e inadequada atividade agrícola. A calagem e a adubação insuficiente associado com pastejo intensivo de animais refletem-se na baixa cobertura, degradação das propriedades físicas e químicas e, conseqüentemente, erosão hídrica e degradação da área.

A perda média de solo foi de 5,44 t ha⁻¹ ano⁻¹. O conhecimento da variabilidade espacial da erosão e das áreas que estão potencialmente contribuindo com sedimentos, obtido através da aplicação da RUSLE combinada ao SIG, permite pensar estratégias de manejo e conservação do solo e da água. Portanto, as áreas do interflúvio, ombro e encosta devem ser

mantidas com cobertura permanente do solo, através da implantação de uma pastagem perene, havendo necessidade de recuperação da fertilidade do solo. A melhor maneira de se manter os resíduos na superfície será através do sistema de semeadura direta, para evitar a mobilização do solo, além de manter e aumentar a MOS a médio e longo prazo.

Conclusões

A aplicação de metodologia que acopla a RUSLE em ambiente SIG, permitiu a discretização da variabilidade espacial dos fatores que determinam as perdas, bem como as perdas de solo numa topossequência da Depressão Central do RS.

O solo, por influenciar e sofrer a ação dos processos erosivos apresenta grande variabilidade dentro de uma mesma topossequência conferindo maior ou menor resistência, constituindo-se no principal fator natural relacionado à erosão, juntamente com o relevo complexo e o uso e manejo ao quais as áreas são submetidas.

As estratégias de manejo e conservação do solo e da água devem ser ajustadas de acordo com a necessidade de cada área a partir das informações da variabilidade espacial das áreas que apresentam maior potencial de erosão.

Referências

- [1] MAFRA, N.M.C. 1999. Erosão e planificação de uso do solo. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. & BOTELHO, R.G.M. (orgs.). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p.301-320.
- [2] WISCHMEIR, W.H. & SMITH, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*. USDA. Washington. 58 p.
- [3] WILSON, J.P. & GALLANT, J.C. 1996. EROS: A grid-based program for estimating spatially-distributed erosion indices. *Computers and Geosciences* 22:707-712.
- [4] NIMER, E. 1989. *Climatologia do Brasil*. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE. 442p.
- [5] BRASIL. Ministério da Agricultura. 1973. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Recife: DNPEA. 431 p.
- [6] CASSOL, Jr.I.; SCHNEIDER F.; BRONDANI, G.; MADRUGA, S.R. & ZANELA, J. 2007 [On-line]. *Diagnóstico socioeconômico do entorno de Santa Maria-RS*. Homepage: http://.../sri/CooperacaoInternacional/Docs_Coop Italiana.
- [7] RENARD, K.G.; FOSTER, G.R; WEESIES, G.A. & PORTER, J.P. 1991. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal Soil Water Conservation*, 46:30-33.
- [8] COGO, C.M.; ELTZ, F.L.F. & CASSOL, E.A. 2006. Erosividade das chuvas em Santa Maria, RS, determinada pelo índice EI30. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 14:309-317.
- [9] LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. 1996. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. Campinas: SBCS. 83p.
- [10] EMBRAPA. 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro. 306p.



Figura 1. Localização da área de estudo.

Tabela 1. Análise granulométrica, teor de matéria orgânica e fator K do horizonte Ap dos solos estudados.

Perfil	Classificação do Solo	Posição no relevo	Areia Grossa	Areia fina	-----(g kg ⁻¹)-----			K [t h (MJ mm) ⁻¹]
					Silte	Argila	MOS	
P97	Argissolo Vermelho	Interflúvio	303	274	238	185	15	0,064721
P81	Argissolo Vermelho	Interflúvio	363	283	186	168	13	0,051222
P75	Argissolo Vermelho	Ombro	469	337	99	95	5	0,053588
P74	Argissolo Vermelho	Ombro	391	266	182	162	10	0,060483
P73	Argissolo Vermelho	Ombro	335	253	200	212	13	0,060825
P68	Argissolo Vermelho	Encosta	369	289	171	176	12	0,061300
P50	Argissolo Vermelho	Encosta	446	246	180	128	7	0,058957
P38	Argissolo Vermelho	Encosta	416	292	159	133	17	0,060688
P23	Argissolo Vermelho	Encosta	646	62	162	130	31	0,042506
P15	Argissolo Vermelho	Encosta	611	60	182	147	24	0,044216
P11	Gleissolo Háptico	Pedimento	686	43	152	119	20	0,039599
P06	Gleissolo Háptico	Pedimento	390	248	233	129	12	0,062704
P01	Gleissolo Háptico	Pedimento	375	296	144	185	19	0,059933

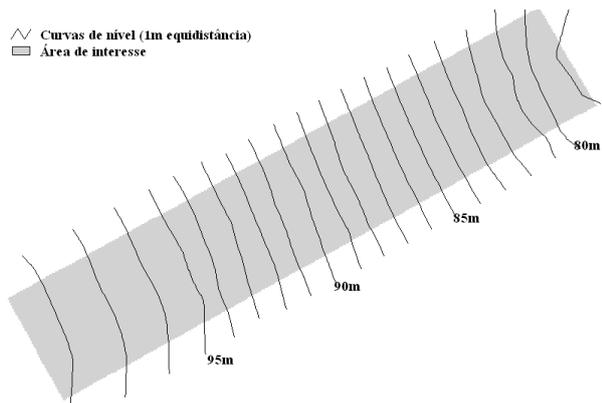


Figura 2. Curvas de nível.

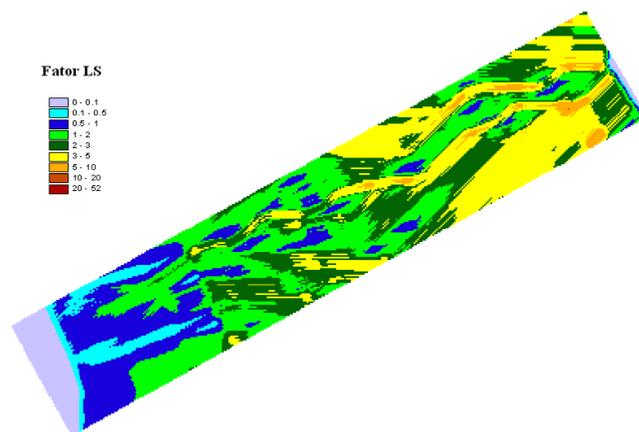


Figura 3. Mapa do fator topográfico LS.

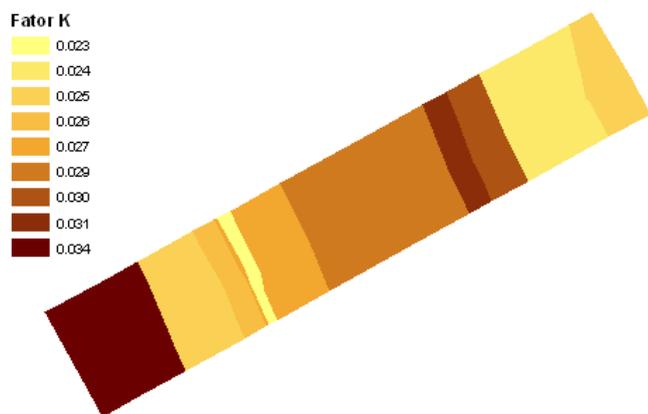


Figura 4. Mapa do fator K - erodibilidade.

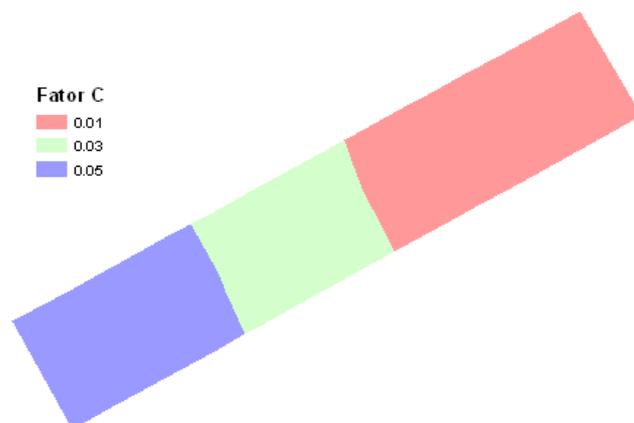


Figura 5. Mapa do fator C - cobertura do solo.

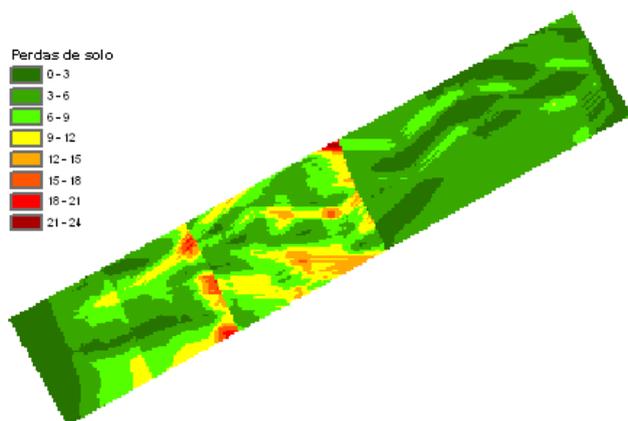


Figura 6. Mapa de perdas de solo.