

AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS ATRAVÉS DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLOS, IMPLEMENTADA COM ALGORITMOS EM LEGAL

Assessment of hazard erosion with USLE and GIS to implement with LEGAL algorithms from SPRING

Anderson Luis Ruhoff¹
Bernardo Sayão Penna e Souza²
Enio Giotto³
Rudiney Soares Pereira⁴

RESUMO

O objetivo principal deste artigo é implementar, através da Programação em LEGAL do Aplicativo SPRING/INPE, a Equação Universal de Perdas de Solos (USLE), para avaliar o risco de processos erosivos na bacia hidrográfica do Arroio Rio Pardo (usando-se o Arroio Marcondes como área experimental). A USLE avalia quatro parâmetros básicos, como a topografia do terreno, a erosividade das chuvas, a erodibilidade dos solos e os fatores de uso e manejo da terra. Com este artigo, pretende-se implementar estudos de gerenciamento de recursos hídricos em bacias na região sul do Brasil, como previsto pelo Fundo Setorial de Recursos Hídricos. Uma das áreas prioritárias é de Uso e Conservação dos Solos e Sistemas Hídricos, em que os principais problemas referem-se a erosão e compactação do solo, perda de cobertura natural e reflorestamentos inadequados. Com isso, objetiva-se subsidiar o desenvolvimento de práticas conservacionistas e preservação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas.

Palavras-chave: USLE, Processos erosivos, Impactos Ambientais, SPRING.

ABSTRACT

The principal objective of this article is to implement, with LEGAL algorithm from the Software SPRING/INPE, the Universal Soil Loss Equation (USLE), to predict and determine the assessment of erosion hazard in Arroio Grande watershed. The USLE are available from four parameters, as the topography, the rain erosivity, the soil erodibility and the land use and cover management. With this article, it intends to implement managing studies of water resources in watershed at South Brazil, as the Fundo Setorial de Recursos Hídricos. One of priority area is Land Use and Soil Conservation, and any problems refer the soil erosion and sedimentation, loss of natural covering and inadequate reforestations. With that, it's aimed at to develop conservationist and preservation practices from the water resources at watersheds. With that, the program tries to provide the development of conservationist practices and the prevention of the water sources at watersheds.

Keywords: USLE, hazard erosion, SPRING.

¹ Mestre em Geomática (UFSM), Professor do Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria. Endereço: Rua Henrique Dias, 172/105. Santa Maria, RS. CEP 97010-220. Fone: +55 (55) 222-0351 ou +55 (55) 9905-1461, ruhoff@mail.ufsm.br

² Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Professor Adjunto, Doutor em Geografia (USP), bernardosp@yahoo.com.br

³ Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Rural, Professor Titular, Doutor em Ciências Florestais (UFPR), giotto@ccr.ufsm.br

⁴ Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Rural, Professor Titular, Doutor em Ciências Florestais (UFPR), rudiney@smail.ufsm.br

INTRODUÇÃO

Este artigo foi elaborado a partir da dissertação de mestrado de Ruhoff (2004), do Programa de Pós-Graduação em Geomática, da UFSM, e financiada pelo Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CT Hidro), e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Ancorado no Ministério da Ciência e Tecnologia (C & T) e no Ministério do Meio Ambiente (MMA) do Governo Federal, o Fundo Setorial de Recursos Hídricos apresenta como objetivos, estimular programas e pesquisas científicas capazes de promover a defesa e preservação da água em nosso país.

Nesse sentido, o artigo apresenta um estudo de caso no Rio Grande do Sul, em que foram contempladas uma das áreas prioritárias estipuladas pelo *CT Hidro – Uso e Conservação do Solo e de Sistemas Hídricos*. Os problemas mais comuns salientados são a erosão e sedimentação do solo, perda de cobertura natural e reflorestamentos inadequados. Os objetivos estabelecidos pelo programa visam desenvolver práticas de ocupação e aproveitamento do espaço, com conservação do solo e dos sistemas hídricos.

A Equação Universal da Perda de Solos (USLE) começou a ser implantada no final da década de 1950 pelo Serviço de Conservação dos Solos dos Estados Unidos. É um modelo empírico, baseado em grandes bases de dados de campos, que estimam a erosão distribuída e concentrada com base em valores a quatro grandes fatores intervenientes no processo erosivo: I) erosividade climática, II) erodibilidade dos solos, III) topografia, e IV) uso e manejo da terra (Ward e Elliot, 1995).

Para implementar a Equação Universal da Perda de Solos em um Sistema de Informações Geográficas (SPRING) utilizou-se a *Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico* (LEGAL), em escala 1:50000. Para tanto, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento visando identificar dentro da Bacia do Arroio Grande, as regiões com maior susceptibilidade de perda de solos por erosão hídrica (USLE). Um dos objetivos propostos é implementar e realizar uma simulação computacional numérica dos processos erosivos, transformando um Sistema de Informações Geográficas em uma representação realista dos processos espaço-temporais, tendo como base formulações teóricas propostas por autores como Ward e Elliot (*op. cit.*), Bertoni e Lombardi Neto (1985), Medeiros *et al* (2001), Righetto (1998). Estes autores descrevem, de uma maneira geral a ocorrência dos processos erosivos conforme a variável ambiental, ou seja, conforme os tipos de solos (erodibilidade), a ocorrência de chuvas (erosividade), a topografia do terreno (declividades e comprimento de encostas), e fatores de uso da terra (cobertura e uso da terra). Nesse sentido, Medeiros *et al* (*op. cit.*), descreve a aplicação da Equação Universal de Perda de Solos em ambientes computacionais georreferenciados.

PERFIL DA BACIA DO ARROIO GRANDE

Na bacia, encontram-se a Formação Aluvionar, Formação Botucatu, Formação Rosário do Sul e Formação Serra Geral (Basaltos e Riólitos). Segundo o IBGE (1986), a Formação Aluvionar é formada por areias e cascalheiras em planícies de inundação e terraços da rede hidrográfica atual e sub-atual. Maciel Filho (1990.) salienta que a Formação Botucatu apresenta solos residuais e arenosos, com permeabilidade alta e processos erosivos intensos em solos residuais e baixos em solos litificados. A Formação Rosário do Sul apresenta, segundo o IBGE (*op. cit.*), características de deposição em ambiente fluvial, consistindo em arenitos bastante finos, de baixa permeabilidade, o que acaba proporcionando uma maior proteção dos solos. A Formação Serra Geral (Basaltos), conforme Maciel Filho (*op. cit.*) apresenta solos litólicos constituídos por fragmentos basálticos, de baixa estabilidade nos taludes, e com intensos movimentos de massa (rastejos e corridas de terra durante chuvas intensas); apresentando permeabilidade fissural. Maciel Filho (*op. cit.*) ainda salienta que a Formação Serra Geral (Riólitos) possui comportamento semelhante ao Basalto Serra Geral.

Segundo a classificação de solos do Rio Grande do Sul, proposto por Streck et al (2002), em conformidade com as normas estabelecidas pela EMBRAPA (**Figura 1**), podem ser encontrados na Bacia do Arroio Grande, os seguintes solos: 1) *Planossolo Hidromórfico* (SGe1); 2) *Argissolo Vermelho Distrófico Arênico* (PVd2); 3) *Alissolo Hipocrômico Argilúvico* (APt2); 4) *Associação Chernossolo Argilúvico Férrico – Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico* (MTf – RLe1); 5) *Argissolo Vermelho Amarelo Alumínico* (PVAa3); e 6) *Argissolo Vermelho Amarelo* (PVAa1).

O enquadramento fitogeográfico da Bacia do Arroio Grande, segundo estudos de Brena e Longhi (2002), corresponde principalmente às florestas estacionais decíduais. As florestas são tipicamente ombrófilas, que avançaram sobre os campos, resquícios de um clima árido e frio, e sobre as matas de araucárias. Revestindo toda a encosta sul do Planalto Rio-grandense, encontra-se uma floresta densa, de caráter estacional, tipicamente conhecida por Mata Atlântica. A floresta é caracterizada por uma grande densidade de indivíduos, com estratos que variam desde espécies herbáceas até espécies com mais de 30 metros. Brena e Longhi (*op. cit.*) ainda salientam que ocorrem na área espécies comuns das formações secundárias, todas especializadas nas colonização de clareiras. Dentro da área, as espécies florestais encontram-se distribuídas conforme a aptidão dos ambientes naturais. Três tipos de formações podem ser encontrados: I) Formações Aluviais; II) Formações Submontanas, compreendendo terrenos ondulados e dissecados; e III) Formações Montanas, abrangendo áreas com altitudes superiores a 400 metros.

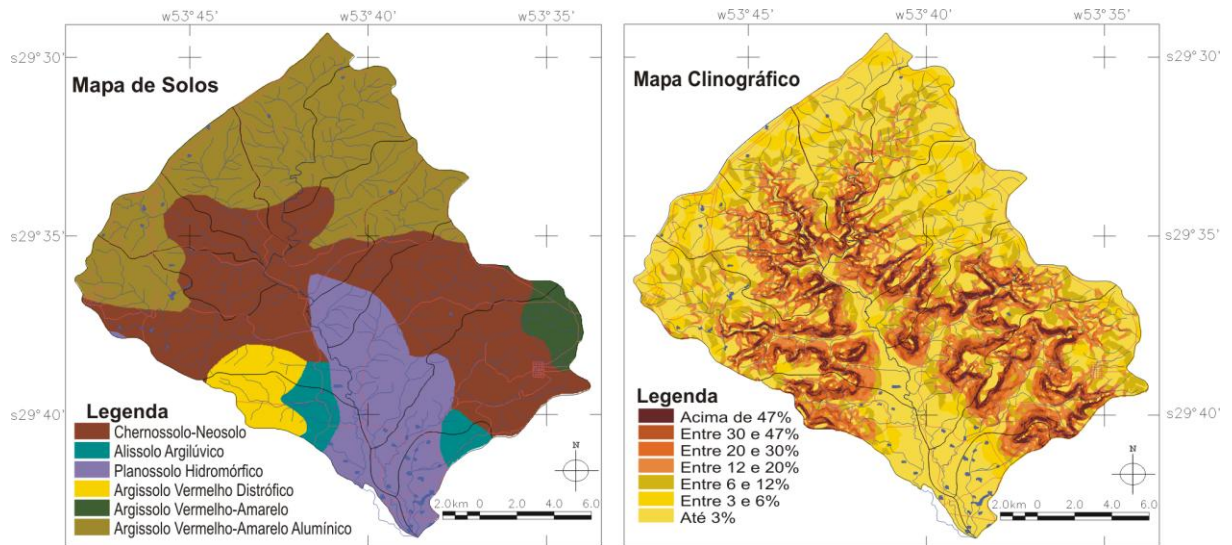


Figura 01 – Mapa de solos e declividades da Bacia do Arroio Grande.

Figure 01 – Soil map and slope from Arroio Grande watershed.

Fonte: Ruhoff (2004).

Dados de uso e cobertura da terra, para 15/03/2002, obtidos a partir de imagens segmentadas do Satélite LANDSAT 7 ETM, indicam que a Bacia do Arroio Grande apresenta 44,44% de sua área coberta por florestas, 34,23% de sua área ocupada com campos e 20,82% de sua área ocupada com cultivos agrícolas (considerando-se aí lavouras agrícolas, lavouras irrigadas e solos preparados par cultivo/pousio). A **Tabela 1** e a **Figura 2** apresentam os dados de uso e cobertura da terra da Bacia do Arroio Grande para o ano de 2002.

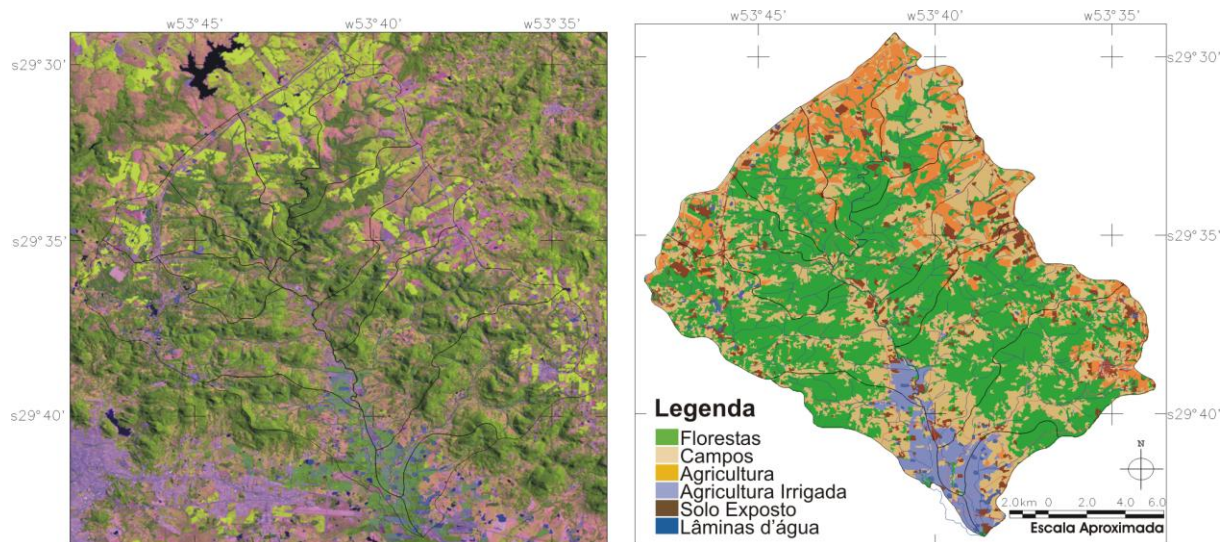


Figura 02 – Imagem LANDSAT 7 ETM e mapa de uso da terra da Bacia do Arroio Grande.

Figure 02 – LANDSAT 7 ETM image and land use and cover map from Arroio Grande watershed.

Fonte: Ruhoff (2004).

Tabela 01 – Dados de uso e cobertura da terra da Bacia do Arroio Grande.**Table 01** – Land use and cover data from Arroio Grande watershed.

Uso da Terra	Área (Hectares)	Área (%)_
Florestas	15.715,05	44,44
Campos	12.105,05	34,23
Agricultura	3.697,48	10,45
Agricultura Irrigada	1.749,34	4,95
Solos Expostos	1.919,21	5,42
Lâmina d'água	173,39	0,51
TOTAL	35.359,52	100,00

A ocupação da Bacia do Arroio Grande iniciou-se a partir da metade do Século XIX, com a entrada de imigrantes italianos. A ocupação foi intensificada a partir de 1890, com o aumento das atividades agrícolas e comerciais, estando ligadas à extração de madeira e cultivo agrícola. A partir da ocupação por esses grupos, a região adotou alguns aspectos particulares, como a policultura e o predomínio de pequenas propriedades rurais. Segundo dados do IBGE (2004), os município de Silveira Martins localizam-se na bacia e apresenta densidade populacional média de 24,5 hab/km, e leve predomínio de população rural. Os principais produtos cultivados são feijão, milho e soja, destacando-se também a extração de madeira. Nas áreas de várzea foi desenvolvida a cultura do arroz irrigado. Mas o forte da produção agrícola, segundo Itaqui (2002), permaneceu nas encostas das serras até meados de 1950 – 1960. Essa realidade somente mudou com o acesso a mecanização agrícola e às novas tecnologias difundidas pela *Revolução Verde*.

Em 1994, os remanescentes da Mata Atlântica e ecossistemas associados foram reconhecidos pela Organização das Nações Unidas para a Educação e Cultura (UNESCO) como integrantes da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica Brasileira.

EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS

A Equação Universal de Perdas de Solos (USLE), atualmente é muito aplicada em bacias hidrográficas e também utilizada em projetos de planejamento ambiental e gestão de recursos naturais, como a água. A fórmula ganhou grandes facilidades de aplicações em Sistemas de Informações Geográficas, por estes apresentarem possibilidades de operações matemáticas de maneira automatizada. A equação de aplicação da USLE é descrita por Ward e Elliot (*op. cit.*), e Righetto (*op. cit.*), sendo dada pela [Equação 1].

$$A = R * K * LS * CP \quad \text{[Equação 1]}$$

em que A = Perdas anuais de solos, em ton/hectare; R = Índice de erosividade da chuva; K = Fator de erodibilidade dos solos; LS = Fator topográfico; CP = Fatores de uso, cobertura e manejo da terra.

O fator chuva é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva de causar erosão em uma área sem proteção adequada. O Índice de erosividade da chuva (R), definido por Bertoni e Lombardi Neto (*op. cit.*), pode ser estimado pela [Equação 2].

$$R = 6,886 (r^2/P)^{0,85} \quad \text{[Equação 2]}$$

em que R = Índice de erosividade da chuva; r = Precipitação média mensal (mm); P = Precipitação média anual (mm). A precipitação na Bacia do Arroio Grande, para o ano de 2002, corresponde a 2.691,4 mm (a média mensal é de 224,3 mm, aproximadamente). Aplicando a [Equação 2], determinou-se a erosividade da chuva. O resultado corresponde a 82,96 (MJ/ha)*(mm/h). Importante é destacar que os parâmetros para a definição da erosividade da chuva, dependem basicamente do volume total de chuva, porém também interferem a intensidade, as variações no tempo e espaço e a energia cinética dos eventos chuvosos.

O fator de erodibilidade dos solos refere-se principalmente às propriedades físico-químicas dos solos, tais como: I) Velocidade de infiltração; II) Permeabilidade e capacidade de armazenamento; III) Resistência as forças de dispersão, abrasão e transporte pelas águas da chuva e escoamento superficial. Na inexistência de dados, recorre-se a algumas adaptações feitas por Bertoni e Lombardi Neto (1985), que definem o Valor de K para os principais tipos de solos encontrados no Estado de São Paulo. Foram utilizados esses valores para definir o fator de erodibilidade dos solos na Bacia do Arroio Grande. A Tabela 2 apresenta o Valor de K para os tipos de solos encontrados na bacia.

Tabela 2 – Fator de erodibilidade dos tipos de solos da Bacia do Arroio Grande.
Table 02 – Soil erodibility factors from Arroio Grande watershed.

Tipos de Solos	Fator de Erodibilidade [(ton/ha)*(MJ/ha)*(mm/h)]
MTf – RLe1	1,256
PVAa1	1,074
PVAa3	1,074
PVd2	0,964
SGe1	1,284
APt2	1,332

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1985) – Adaptado.

O Fator LS expressa as relações do relevo no processo de perdas de solos. O fator topográfico combina a declividade média do terreno com o comprimento de encostas (Bertoni e Lombardi Netto, *op. cit.*), segundo a [Equação 3].

$$LS = 0,00984 * C^{0,63} * D^{1,18} \quad \text{[Equação 3]}$$

em que LS = Fator Topográfico; C = Comprimento de encosta (m); D = Declividade média de encosta (%).

O fator de uso e cobertura da terra expressa a relação esperada entre perdas de solos em áreas com culturas agrícolas e vegetação, com áreas continuamente descobertas. Para solos sem vegetação e sem proteção tem-se referencial equivalente a 1. As práticas de conservação dos solos podem reduzir enormemente o processo erosivo. Righetto (*op. cit.*) estabelece, com base em diversos estudos, uma tabela que contem os valores de C e P a serem aplicados na equação da USLE. Tais valores são estipulados conforme o tipo de uso e cobertura da terra e as práticas conservacionistas aplicadas. A **Tabela 3** apresenta os principais valores do Fator C. Os valores de P variam conforme o tipo de cultura agrícola e as práticas conservacionistas adotadas na área de estudo. Righetto (*op. cit.*) e Bertoni e Lombardi Netto (*op. cit.*) definem alguns valores constantemente aplicados.

Tabela 03 – Valores de uso e cobertura da terra – Fator C.

Table 03 – Land use and cover data – Factor C. **Fonte:** Righetto (1998).

Plantas	Cobertura	Cobertura com gramíneas					
		0%	20%	40%	60%	80%	95%
Arbustos	25%	0,36	0,17	0,09	0,038	0,012	0,003
	50%	0,26	0,16	0,11	0,075	0,039	0,003
	75%	0,17	0,10	0,06	0,031	0,011	0,003
Arvores	25%	0,42	0,19	0,10	0,041	0,013	0,003
	50%	0,39	0,18	0,09	0,040	0,013	0,003
	75%	0,36	0,17	0,09	0,039	0,012	0,003

A cobertura vegetal reduz a quantidade de energia cinética que chega ao solo durante uma chuva. Outro fator importante é a redução dos processos erosivos nas formas de escoamento superficial e transporte de sedimentos. Guerra (1998) salienta que, em áreas com menos de 70% de cobertura vegetal, o runoff aumenta substancialmente, fazendo com que a perda de solos e água também aumente proporcionalmente. As práticas de conservação dos solos (Fator P) também atuam nos processos erosivos e nas perdas de solos. Os valores de P variam conforme o tipo de cultura agrícola e as práticas conservacionistas adotadas na área de estudo. Righetto (*op. cit.*) e Bertoni e Lombardi Netto (*op. cit.*) definem alguns valores constantemente aplicados. A **Tabela 4** apresenta o Valor de P conforme as técnicas de manejo contra os processos erosivos.

Tabela 04 – Valores de P para alguns tipos de manejo do solos.

Table 04 – Factor P to land use and cover management. **Fonte:** Righetto (1998).

Tipo de Manejo	Inclinação do Terreno (%)			
	2 a 7	8 a 12	13 a 18	19 a 24
Plantios morro abaixo	1,00	1,00	1,00	1,00
Faixas niveladas	0,50	0,60	0,80	0,90
Cordões de vegetação permanente	0,25	0,30	0,40	0,45
Terraceamento	0,10	0,12	0,16	0,18

Na Bacia do Arroio Grande foram utilizados valores de *C* e *P*, conforme as definições de Bertoni e Lombardi Neto (*op. cit.*) e Righetto (*op. cit.*). A **Tabela 5** apresenta os valores utilizados em áreas de florestas, campos e agricultura.

Tabela 05 – Valores de *C* e *P* para a Bacia do Arroio Grande.

Table 05 – Factor *C* and *P* to Arroio Grande watershed.

Classe de Uso da Terra	Valor de C	Valor de P
Florestas	0,010	0,1
Campos	0,260	0,4
Agricultura	0,290	0,7
Agricultura Irrigada	0,360	1,0
Solos Expostos	0,404	1,0
Lâmina d'água	--	--

AVALIAÇÕES DA PERDA DE SOLOS NA BACIA DO ARROIO GRANDE

Morgan (1986) salienta que a erosão dos solos é a taxa de perda deste acima das condições de que ocorre em condições naturais. Tal conceito, sinônimo de erosão acelerada do solo, diferencia este processo dos naturais, que fazem parte, principalmente, da geodinâmica de modelação do relevo.

A erosividade da chuva, outro fator avaliado pela equação da USLE, apresenta-se como um fator bastante importante, pois todas as estações climáticas são praticamente chuvosas, com médias que variam entre 1600 e mais de 2000 mm por ano. Com chuvas bastante intensas, a erosão laminar ou distribuída é acelerada, principalmente pela grande quantidade de energia cinética produzida pelas águas da chuva, aumentando assim, seu poder de erosividade.

Aplicando a Equação Universal de Perdas de Solos, pode-se determinar, em níveis médios anuais, o volume de solos perdidos por erosão hídrica distribuída e concentrada. É importante salientar que, na equação da USLE, não são considerados os processos de deposição e os processos associados a sulcos efêmeros e destacamento e transporte de solos resultantes de eventos erosivos isolados. Para obter resultados quantificados acerca da perda de solos na Bacia do Arroio Grande, multiplicou-se as matrizes numéricas, através de Programação em LEGAL, correspondente aos índices de erosividade das chuvas e erodibilidade dos solos, aos fatores topográficos e de uso e cobertura da terra. A **Tabela 6** e a **Figura 3** apresentam as perdas de solos na Bacia do Arroio Grande. Ao estipular o volume total de solos perdidos, obtém-se 437.129,57 toneladas por ano, o que representa o volume médio de 12,36 toneladas/hectare/ano de solos perdidos.

Grande parte da Bacia do Arroio Grande (25.275,61 hectares, ou aproximadamente 72% do total da área) apresenta perdas de solos, que variam de 2,5 a 10 toneladas por hectare. Mesmo apresentando uma grande área percentual, o volume de perdas de solos é muito pequeno – cerca de 67.300 toneladas por ano, ou seja, em 72% do total da área ocorrem perdas de aproximadamente 15,40% do total do volume de solos perdidos no Arroio Grande. A perda média de solos nessa área é de 2,66 ton/ha/ano. Nos outros 28% da área da Bacia do Arroio Grande, as perdas de solos são muito mais intensas, pois são perdidos aproximadamente 370.000 toneladas de solos por ano (equivale a 84,60% total de solos perdidos por ano). Essa perda de solos corresponde a uma média de 36,69 ton/ha/ano.

Tabela 06 – Volume total de perdas de solos na Bacia do Arroio Grande.
Table 06 – Annual soil loss at Arroio Grande watershed.

Classes de Perda de Solos	Área (Hectares)	Área (%)	Volume Total (Ton/Ano)
Até 2,5 ton/Ha	16.845,75	47,65	21.057,18
Entre 2,5 e 5 ton/ha	4.552,03	12,87	17.070,11
Entre 5 e 10 ton/ha	3.877,83	10,96	29.083,72
Entre 10 e 15 ton/ha	1.923,39	5,43	24.042,37
Entre 15 e 20 ton/ha	1.319,85	3,73	23.097,37
Entre 20 e 25 ton/ha	1.132,29	3,20	25.476,52
Entre 25 e 30ton/ha	998,64	2,83	27.462,60
Entre 30 e 40 ton/ha	1.316,79	3,72	46.087,65
Entre 40 e 50 ton/ha	683,84	1,95	30.772,80
Entre 50 e 75 ton/ha	816,32	2,31	51.020,00
Acima de 75 ton/ha	1.892,79	5,35	141.959,25
TOTAL	35.359,52	100%	437.129,57

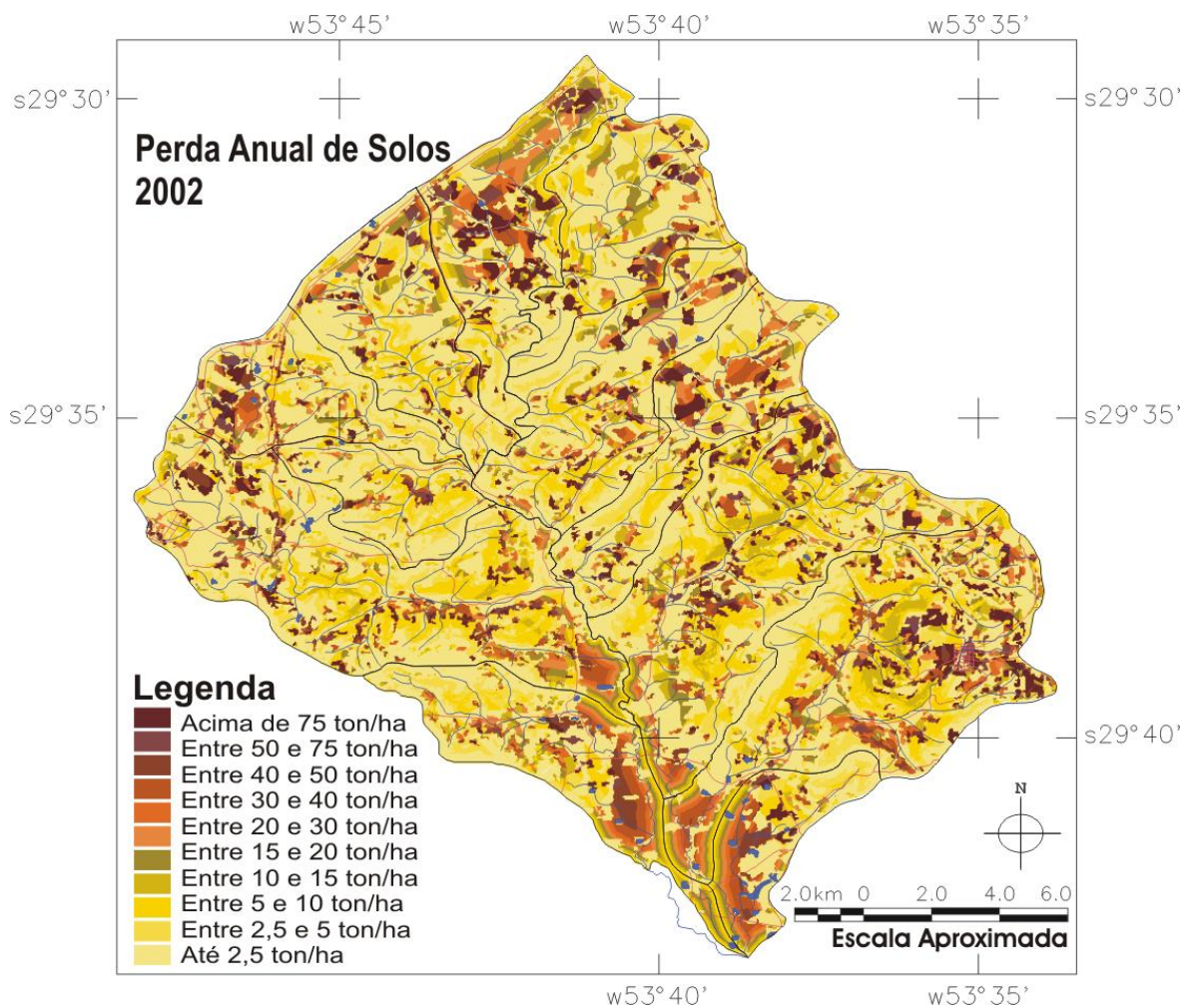


Figura 03 – Perdas de solos na Bacia do Arroio Grande.

Figure 03 – Soil loss at Arroio Grande watershed.

Fonte: Ruhoff (2004).

Autores como Morgan (*op. cit.*), apresentam dados de limites de perdas de solos, em uma determinada área, para que a elevada produtividade agrícola seja mantida. Na prática, é muito difícil estabelecer limites de tolerância de perdas de solos, pois é imprescindível, além de determinar o volume de solos perdidos, também se determinar as taxas de formação dos solos. Estabelecidas essas duas variáveis, posso definir os limites de tolerância, pois este se baseia no balanço existente entre esses dois processos.

Morgan (*op. cit.*) estabelece alguns limites de tolerância de perdas solos, em que os valores médios variam de 2 a 5 tonelada/ha/ano, principalmente para solos pouco espessos ou muito suscetíveis aos processos erosivos. Morgan (*op. cit.*) ainda estabelece limites de tolerância de 11 a 25 toneladas/ha/ano para áreas montanhosas e com totais pluviométricos elevados. Comparando esses limites de tolerância aos encontrados na Bacia do Arroio Grande, estabelece que grande parte da área da bacia (72%) apresenta perdas normais, pois estas encontram-se entre os limites estabelecidos por Morgan (*op. cit.*). Do ponto de vista agrícola, a espessura do solos reduz-se muito lentamente, permitindo a manutenção da fertilidade dos solos. Porém, o restante da área (28%) apresenta perdas bastante elevadas, em médias que correspondem a 36,69 ton/ha/ano. Essa erosão acelerada acarreta grande redução de fertilidade dos solos, reduzindo a sua profundidade e espessura dos horizontes superficiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. **Conservação dos Solos**. Piracicaba: Livro Ceres, 1985. 392 p.
- BRENA, D. A. e LONGHI, S. J. Inventário Florestal da Quarta Colônia. In: Itaqui, J. **Quarta Colônia – Inventário Técnico de Flora e Fauna**. Santa Maria: Condesus Quarta Colônia, 2002.
- CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: Unicamp, 1999.
- FONSECA, L. M. G. **Processamento Digital de Imagens**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas Encostas. In: Guerra, A. J. T. & Cunha, S. B. **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.
- IBGE. **IBGE@CIDADES**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: Março/2004.
- IBGE. **Levantamentos de recursos naturais**: Folha SH.22 Porto Alegre e partes das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro: FIBGE, 1986.
- ITAQUI, J. **Colônia – Inventário Técnico de Flora e Fauna**. Santa Maria: Condesus Quarta Colônia, 2002.
- MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria: UFSM, 1990. 28p.
- MATHER, P. M. **Computer Processing of Remote Sensing Images**. New York: John Wiley e Sons, 1999.
- MEDEIROS, J. S. *et al.* Geoprocessamento para projetos Ambientais. In: Monteiro, A. M. V. *et al.* **Introdução a Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Diretrizes estratégicas para o fundo de recursos hídricos**. Brasília: C e T, 2001. 38p.
- MORGAN, R. C. P. **Soil erosion e conservation**. New York: Longmann, 1986.
- RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Paulo: EESC/USP, 1998. p. 731 - 813.
- RUHOFF, A. L. **Gerenciamento de recursos hídricos – Modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas**. Dissertação (Mestrado em Geomática). Santa Maria: UFSM, 2004.
- STRECK, E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2002.
- WARD, A. D. e ELLIOT, W. J. **Environmental Hidrology**. New York: Lewis Publishers, 1995.