



Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em *Softwares* Livres e Gratuitos The Application of the Universal Soil Loss Equation by Using Free and Available Softwares

Amanda Fernandes Barbosa; Everton Falcão de Oliveira;
Camila Leonardo Mioto & Antonio Conceição Paranhos Filho

*Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Laboratório de Geoprocessamento para Aplicação Ambiental,
Unidade 7A, 78720-100. Campo Grande, Mato Grosso do Sul*

E-mails: amandafernandesbarbosa@gmail.com; efalcao.oliveira@gmail.com;

ea.mioto@gmail.com; antonio.paranhos@pq.cnpq.br

Recebido em: 08/10/2014 Aprovado em: 06/04/2015

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_170_179

Resumo

A erosão é uma das formas mais prejudiciais de degradação do solo. Além de reduzir o potencial produtivo das culturas, pode causar sérios danos ambientais, como poluição dos meios híbridos, com a consequente alteração dos ecossistemas aquáticos e assoreamento dos cursos de água. A Equação Universal de Perda do Solo (USLE), que permite estimar a erosão, sob variadas condições de uso e cobertura do solo, declividade, comprimento de rampa, tipos de solo e chuva, por meio da elaboração de mapas temáticos, representa importante instrumento de investigação sobre o processo erosivo e permite a compartimentação da paisagem em níveis de instabilidade. Quando aplicada por meio de *softwares* livres e gratuitos, e com uso de imagens também gratuitas, reduz consideravelmente os gastos durante a execução do estudo. O presente estudo objetiva realizar o mapeamento e análise qualitativa da susceptibilidade erosiva do Município de Paraíso das Águas – MS no ano de 2013, aplicando-se o modelo matemático da USLE, com o auxílio dos *softwares* QGIS, gvSIG e LS-TOOLS. O município obteve perdas médias anuais de solo variando de 0 a 1307,32 ton/ha.ano. Maior parte do território, 91,94%, é classificada com erosão nula a moderada por possuir taxa erosiva menor que 15 ton/ha.ano. Verificou-se que a dinâmica erosiva sofre influência principalmente das características do relevo demonstradas através do fator topográfico (LS).

Palavras-chave: erosão; geotecnologias; gvSIG; QGIS

Abstract

Erosion is one of most serious form of soil degradation. In addition to reducing the productive potential of the soil, it can cause serious environmental damage such as pollution of the water resources, modifying the ecology of aquatic ecosystems and silting of watercourses. The Universal Soil Loss Equation (USLE) which estimates erosion under a variety of conditions like soil usage and soil coverage, slope, slope length, soil and rain types through the elaboration of thematic maps, is an important research tool on the erosion process and allows the partitioning of landscape instability levels. When applied through free software and free images, the costs for the study execution are reduced considerably. This study sought to map and to perform a qualitative analysis of the erosive susceptibility of the Paraíso das Águas city – Mato Grosso do Sul state, Brazil, in 2013. The USLE mathematical model was applying by QGIS, gvSIG and LS-TOOLS softwares. The city obtained an average annual soil loss ranging from 0 to 1,307.32 ton/ha.year. Most part of the land, 91.94%, was classified as a low to moderate erosion since it has an erosive rate lower than 15 ton/ha.year. It was shown that the erosive dynamic was influenced mainly by land characteristics demonstrated through the topographical factor (LS).

Keywords: erosion; geotechnologies; gvSIG; QGIS

1 Introdução

Como uma das principais consequências relacionadas ao uso e ocupação inapropriados do solo tem-se a erosão, processo mecânico que age em superfície e profundidade em certos tipos de solo e sob determinadas condições físicas, naturalmente relevantes, tornando-se críticas pela ação antrópica (Magalhães, 1995).

Tal processo é uma das formas mais prejudiciais de degradação do solo. Além de reduzir o potencial produtivo das culturas, pode causar sérios danos ambientais, como poluição dos meios hídricos, com a consequente alteração dos ecossistemas aquáticos e assoreamento dos cursos de água. Contudo, se o solo for utilizado adequadamente e se forem empregadas boas práticas agrícolas, os problemas de erosão hídrica podem ser mitigados. Planos de conservação dos solos em áreas de alta erosão necessitam de mapas de risco de ocorrência do fenômeno, que geralmente são criados a partir de modelos de erosão (Bertoni & Lombardi Neto, 2012; Paranhos Filho *et al.*, 2003; Serio *et al.*, 2008).

Um dos modelos mais utilizados e difundidos é a Equação Universal de Perdas de Solo, (USLE - *Universal Soil Loss Equation*), desenvolvida no Departamento de Agricultura dos EUA, na década de 1950, a qual representa importante instrumento de investigação sobre o processo erosivo, uma vez que a partir das características e propriedades dos fatores ambientais responsáveis pelas perdas de solos, permite a compartimentação da paisagem em níveis de instabilidade, possibilitando ações mais efetivas de planejamento ambiental e otimização dos recursos naturais (Wischmeier & Smith, 1978).

A aplicação da USLE, em diversas escalas, tem sido facilitada pelo uso de SIGs (sistemas de informações geográficas), os quais têm se mostrado eficientes na integração de diferentes dados temáticos e na geração de novos produtos cartográficos, especialmente em estudos sobre perda de solo (Pinto, 2005). Atualmente, existe uma variedade de SIGs disponíveis de forma gratuita na rede, os quais vem gerando ótimos resultados, tornando-se assim excelentes ferramentas na execução de atividades como essa.

Neste sentido, o objetivo desta pesquisa foi mapear e analisar qualitativamente a susceptibilidade erosiva do solo no Município de Paraíso das Águas, Estado de Mato Grosso do Sul, por meio da aplicação da Equação Universal de Perda do Solo – USLE e das geotecnologias disponíveis de forma gratuita na rede. A necessidade dessa pesquisa deu-se através do desenvolvimento do projeto de extensão “Uso de Geotecnologias na Identificação de Áreas de Preservação Permanente em Paraíso das Águas - MS”, o qual está inserido no convênio entre a Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e a Prefeitura Municipal de Paraíso das Águas, MS.

2 Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

Paraíso das Águas é o mais novo município do Estado de Mato Grosso do Sul, possuindo aproximadamente 5.035 km². Seu território abrange parte dos Municípios de Água Clara, Costa Rica e Chapadão do Sul e possui população estimada em 5.047 habitantes. A economia do município baseia-se na agricultura e na pecuária (IBGE, 2014) (Figura 1).

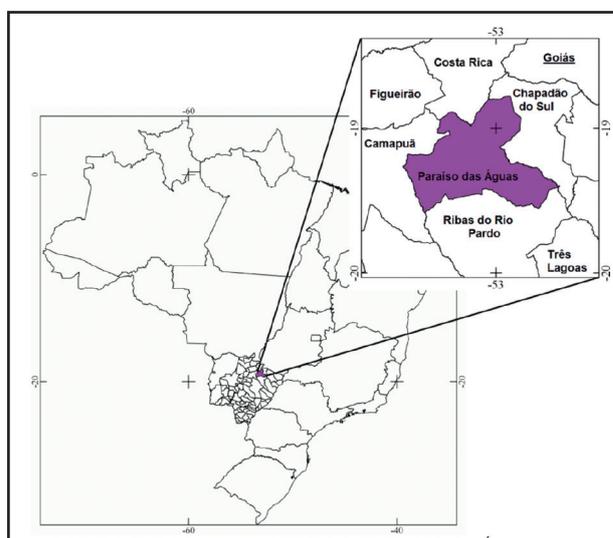


Figura 1 Localização do município de Paraíso das Águas, no Estado de Mato Grosso do Sul.

2.2 Equação Universal de Perda de Solo

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) (Equação 1) ou *Universal Soil Loss*

Equation (USLE) (WISCHMEIER e SMITH, 1978) é um modelo empírico para estimar a perda média anual de solo por erosão laminar e considera fatores naturais e antrópicos, os quais podem ser estimados e especializados a partir das geotecnologias.

A aplicação da USLE em escalas regionais é válida para estudos qualitativos sobre erosão hídrica laminar, fornecendo uma estimativa da espacialização de áreas com maior ou menor susceptibilidade erosiva. Deste modo, a USLE é amplamente empregada na identificação de áreas potencialmente erosivas, em uma abordagem qualitativa, com o intuito de subsidiar o planejamento ambiental (Borges, 2009). Os fatores condicionantes da equação são:

$$A = R.K.(L.S).(C.P) \quad (1)$$

Onde:

A = perda média anual de solo por unidade de área (ton/ha.ano); R = erosividade da chuva (Mj.mm/ha.h.ano); K = erodibilidade do solo; L = comprimento da vertente; S = declividade da vertente; C = uso e manejo do solo; e P = práticas conservacionistas.

2.3 Imagens de Satélite, Modelo Digital de Elevação e Dados Vetoriais

Para elaboração dos planos de informação para a estimativa da erosão hídrica laminar foram utilizados o modelo digital de superfície (MDS) SRTM (*Shuttle Radar Topograph Mission*) (USGS, 2000), que possui 90 m de resolução espacial e a imagem do satélite Landsat 8 datada do dia 03/08/2013, com 30 m de *pixel*, obtida através do *website* Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) (Earth Explorer, 2013).

Também foram utilizados arquivos vetoriais do limite político administrativo e da carta de solos do Município de Paraíso das Águas, os quais foram obtidos através do acervo do Laboratório de Geoprocessamento para Aplicações Ambientais (LABGIS) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (FAENG/UFMS).

Para todas as etapas do trabalho foram utilizados *softwares* livres e gratuitos como o gvSIG 1.12 (Valenciana, 2012), o QGIS 2.0 (Qgis

Development Team, 2012) e o *LS-TOOL* (Zhang *et al.*, 2013).

3 Processamento de Dados

A metodologia utilizada abrange basicamente 5 etapas principais: (a) obtenção do mapa do fator topográfico através do SRTM (USGS, 2000); (b) geração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal através da classificação da imagem do satélite Landsat 8 (Earth Explorer, 2013); (c) aquisição do mapa de solos e do mapa de erosividade da chuva; (d) pesquisa literária dos fatores erodibilidade do solo (K) e uso e manejo e práticas conservacionistas (CP); e (e) álgebra de mapas com as variáveis da USLE.

3.1 Fator Topográfico (LS)

O fator topográfico (LS) foi obtido a partir do *software LS-TOOL* (ZHANG *et al.*, 2013). Neste *software*, o modelo SRTM foi convertido para o formato *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII) e então inserido no programa. O *software* realiza os cálculos baseados nas equações a seguir:

$$LS = L . S \quad (2)$$

$$L = (\lambda/22,13)^m \quad (3)$$

$$m = \beta/(1 + \beta) \quad (4)$$

$$\beta = (\text{sen } \theta)/[3 . (\text{sen } \theta)^{0,8} + 0,56] \quad (5)$$

$$S = 10,8 . \text{sen } \theta + 0,03 \text{ se } \theta < 9\% \quad (6)$$

$$S = 16,8 . \text{sen } \theta - 0,50 \text{ se } \theta \geq 9\%$$

Onde: λ - comprimento da declividade; m - é o expoente da variação comprimento-declividade; β - é o fator que varia com a declividade do terreno e θ - ângulo de inclinação McCool *et al.* (1989).

A partir do produto obtido pelo *software LS-TOOL* (ZHANG *et al.*, 2013) gerou-se o mapa correspondente ao fator topográfico LS, em formato *raster*.

3.2 Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal

O mapa de uso da terra e cobertura vegetal foi gerado a partir da classificação supervisionada da imagem do satélite Landsat 8, do dia 3 de agosto

de 2013 (Earth Explorer, 2013), através do *software* livre e gratuito gvSIG 1.2 (Valenciana, 2012). Foram estabelecidas 9 classes de uso da terra e cobertura vegetal: vegetação densa, solo exposto, mata e cerrado, corpos d'água, área úmida, cerrado, pastagem, agricultura e campo sujo.

3.3 Erosividade da Chuva - Fator (R)

O fator erosividade da chuva para a área de estudo foi obtido através do recorte da carta de erosividade da chuva do Estado de Mato Grosso do Sul (MS), desenvolvido por Oliveira *et al.* (2012). Os autores utilizaram, para isso, dados provenientes de três estações pluviográficas localizadas nos Municípios de Campo Grande, Dourados e Coxim, além de dados de precipitação de 109 estações pluviométricas localizadas no Estado de Mato Grosso do Sul disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (*HidroWeb* - <http://hidroweb.ana.gov.br/>). A análise espacial da variabilidade da erosividade da chuva no estado deu-se a partir do ajuste do semivariograma, do processo de validação cruzada e aplicação da krigagem ordinária.

3.4 Erodibilidade do Solo - Fator (K)

Para o fator erodibilidade do solo utilizou-se como base o Mapa de Solos de Mato Grosso do Sul, na escala 1:250.000, disponibilizado pelo Instituto do Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL), o qual foi vetorializado e recortado de acordo com o limite do município.

A nomenclatura da classificação dos solos foi atualizada de acordo com Prado (2011), sendo os valores atribuídos para cada classe de solo neste trabalho os adotados por Paranhos Filho (2000), tendo como base os valores sugeridos no Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP, 1997) (Tabela 1).

Os valores de K foram inseridos nos respectivos grupos de solo e em seguida transformados em formato *raster*, com 30 x 30 m, com o objetivo de serem inseridos na equação da USLE.

3.5 Uso e Manejo e Práticas Conservacionistas – Fator (CP)

Diretamente relacionados ao uso da terra e cobertura vegetal da área de estudo, os fatores

| Símbolo | Classificação anterior | Prado, 2011 | Fator K* |
|---------|---------------------------------|-------------------------------------|----------|
| AQ | Areias Quartzosas | Neossolo Quartzarênico | 0,045 |
| HAQ | Areias Quartzosas Hidromórficas | Neossolo Quartzarênico Hidromórfico | 0,0047 |
| HGP | Glei Pouco Húmico | Gleissolo Háplico | 0,001 |
| LE | Latossolo Vermelho | Latossolo Vermelho | 0,016 |
| LR | Latossolo Roxo | Latossolo Vermelho | 0,012 |
| TR | Terra Roxa Estruturada | Nitossolo Vermelho | 0,018 |

Fonte: Adaptado de Paranhos Filho (2000). *Valores em (ton ha. h/ha. MJ mm).

Tabela 1 Fator K para cada tipo de solo da área de estudo.

C e P podem variar ao longo dos anos como consequência das mudanças na forma e intensidade deste uso (Borges, 2009). Portanto, é indispensável a utilização de imagens da mesma época na qual deseja-se estimar a perda do solo, uma vez que para determinar os fatores C e P precisa-se saber o uso e a cobertura do solo adotados na época estudada.

Neste estudo, os fatores antrópicos da USLE – fator C e fator P – foram integrados, formando um só mapa. Segundo Stein *et al.* (1987) é somente necessário que os fatores C e P sejam trabalhados separadamente quando o objetivo do trabalho é definir formas mais adequadas de produção agrícola para a redução dos impactos gerados sobre o meio físico.

Todavia, quando o enfoque é a perda de solo por erosão, essas variáveis estão de tal forma inter-relacionadas que devem ser analisadas juntas. Desta maneira, a distribuição espacial dos fatores CP está diretamente relacionada com a cobertura vegetal do Município de Paraíso das Águas (Borges, 2009).

Com base nas classes obtidas na geração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal, os valores de CP adotados no trabalho são os sugeridos por Stein *et al.* (1987) e Oliveira (2012) (Tabela 2).

A partir da determinação dos valores de CP para cada classe de uso e cobertura vegetal, gerou-se o mapa de CP em formato *raster*, com pixel de 30x30 m, para o cruzamento com os demais fatores da USLE.

| Classes | Fator CP |
|-----------------|----------|
| Área Úmida | 0 |
| Corpos d'água | 0 |
| Cerradão | 0,00004 |
| Vegetação Densa | 0,00004 |
| Mata e Cerrado | 0,0007 |
| Pastagem | 0,01 |
| Agricultura | 0,2 |
| Campo Sujo | 0,25 |
| Solo Exposto | 1 |

Tabela 2 Valores do fator CP utilizados no trabalho (Modificado de Stein *et al.*, 1987 e Oliveira, 2012).

4 Integração dos Fatores da USLE em SIG

Após a obtenção de todos os fatores componentes da USLE, realizou-se a álgebra de mapas, utilizando a ferramenta Calculadora Raster do software livre e gratuito QGIS 2.0 (Qgis Development Team, 2012), conforme estabelecido na Equação 1. O produto da integração dos fatores na equação é o mapa da estimativa de perda de solo por erosão hídrica laminar, o fator A.

5 Resultados e Discussões

5.1 Fator R

Analisando-se a erosividade das chuvas do município, tem-se que os valores máximo e mínimo para a área de estudo são 11.425 e 10.429 MJ.mm/ha.h.ano (Figura 2), respectivamente. Segundo a classificação proposta por Carvalho (2008), toda a área possui erosividade muito alta, com $R > 9.810$ MJ.mm/ha.h.ano, sendo os maiores valores

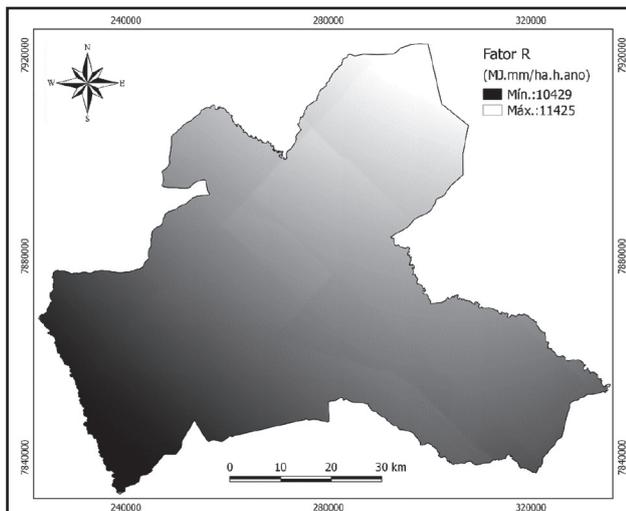


Figura 2 Mapa da erosividade das chuvas do Município de Paraíso das Águas – Fator R. (Oliveira *et al.*, 2012).

encontrados na região nordeste e os menores valores na região sudoeste do município.

5.2 Fator K

A Figura 3 apresenta o mapa de solos do município já com os valores de K atribuídos de acordo com o proposto por Paranhos Filho (2000). Verifica-se que os maiores valores de erodibilidade (Tabela 1) estão associados aos Neossolos Quartzarênicos, os quais recobrem 73,56% da superfície do município e por possuírem texturas arenosas são mais susceptíveis a erosão.

Os menores valores de K correspondem ao Gleissolo Háptico e ao Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, anteriormente denominados Gleissolo Pouco Húmico e Areia Quartzosas Hidromórficas, respectivamente, juntos correspondem a apenas 0,58% da superfície do município. Tais solos estão sujeitos a alagamentos constantes ou periódicos, por isso apresentam boa resistência a erosão (Paranhos Filho, 2000).

A classe dos Latossolos Vermelhos, também é bastante expressiva no município, recobrendo 22,09% do território. Desses 20,64% correspondem ao antigo Latossolo Vermelho Escuro e 1,45% correspondem ao antigo Latossolo Roxo. Estes solos são bastante férteis e por isso é intensa a atividade agropastoril. De acordo com Paranhos Filho (2000), apesar de apresentarem boa resistência à erosão, devido às boas características físicas, os Latossolos Vermelhos requerem tratamentos conservacionistas adequados conforme a inclinação do terreno e o tipo de uso.

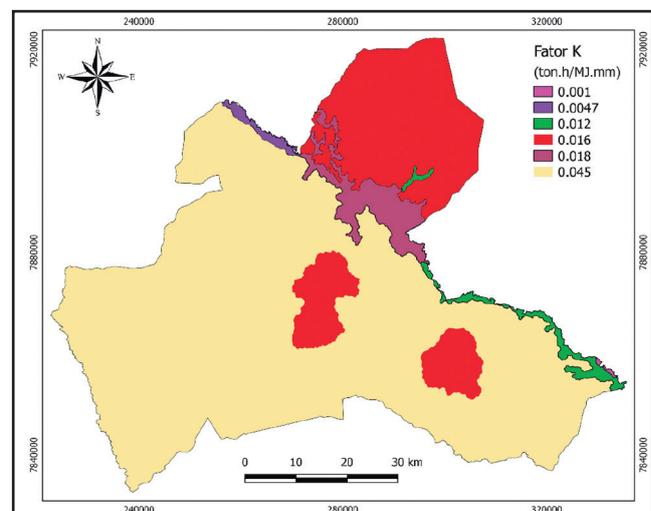


Figura 3 Mapa de erodibilidade dos solos do Município de Paraíso das Águas – Fator K.

5.3 Fator LS

O mapa com valores do fator LS, o qual representa o Potencial Topográfico de Erosão Hídrica Laminar (Paranhos Filho, 2000), possui valores variando de 0 a 49, com predominância de valor zero (Figura 4). Tal característica contribui para menores taxas de escoamento superficial, desfavorecendo a erosão hídrica laminar.

5.4 Mapa de Uso da Terra e Cobertura do Vegetal

A Figura 5 mostra o mapa de uso da terra e cobertura vegetal, no qual foram estabelecidas 9 classes de cobertura para o Município de Paraíso das Águas. Na Tabela 3 são apresentados os valores em área e em porcentagem de cada classe.

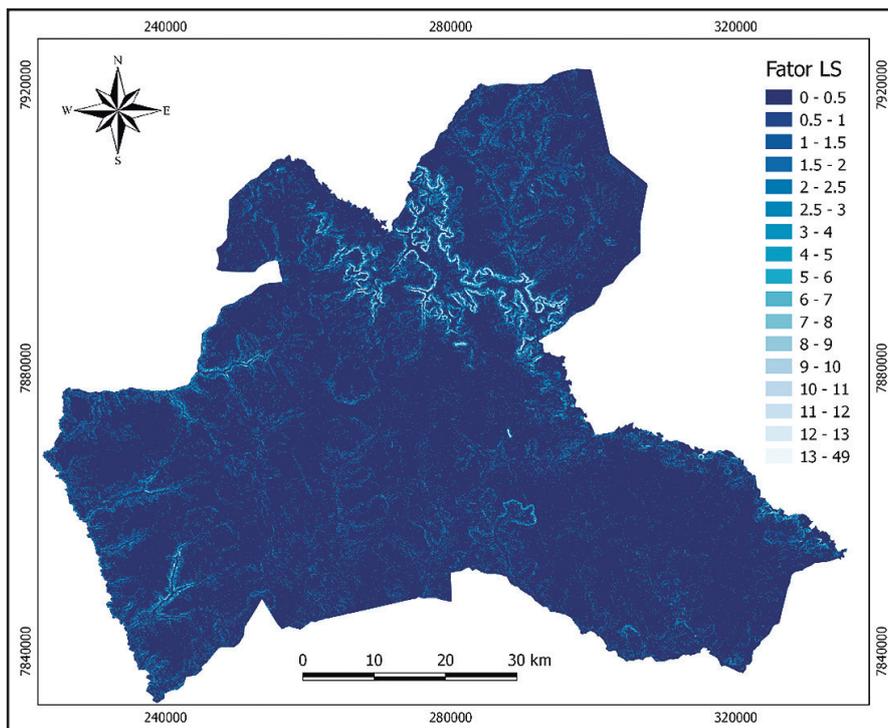


Figura 4 Mapa do fator topográfico do Município de Paraíso das Águas – Fator LS.

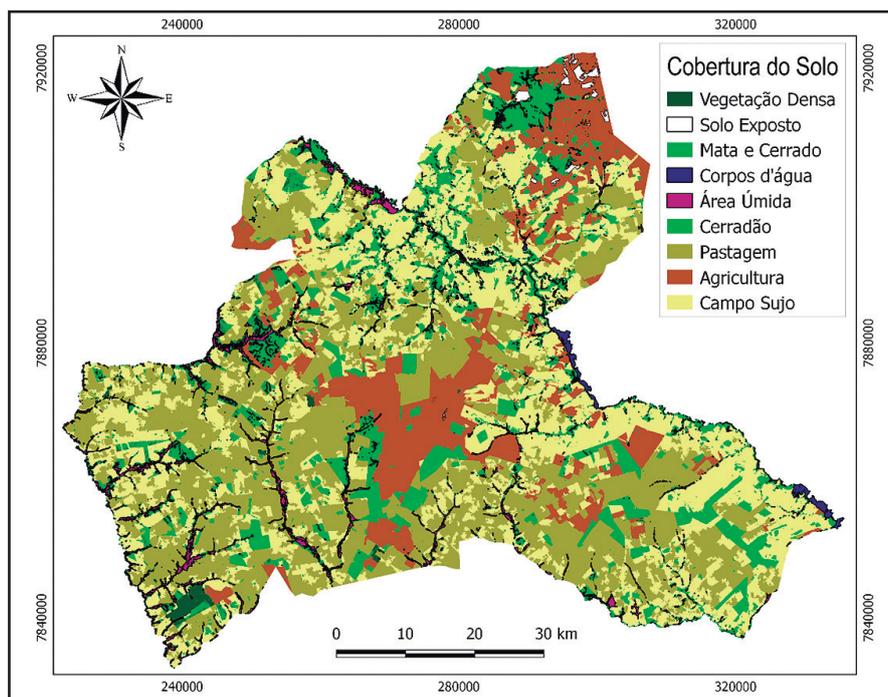


Figura 5 Mapa de uso da terra e cobertura vegetal do Município de Paraíso das Águas.

| | CLASSE | Área (km ²) | Porcentagem de ocupação (%) |
|---|-----------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1 | Vegetação Densa | 60,9534 | 1,21 |
| 2 | Solo Exposto | 18,6858 | 0,37 |
| 3 | Mata e Cerrado | 692,576 | 13,76 |
| 4 | Corpo D'água | 32,3145 | 0,64 |
| 5 | Área Úmida | 139,343 | 2,77 |
| 6 | Cerradão | 123,706 | 2,46 |
| 7 | Pastagem | 1711,52 | 33,99 |
| 8 | Agricultura | 659,291 | 13,09 |
| 9 | Campo Sujo | 1596,51 | 31,71 |
| | Total | 5034,90 | 100 |

Tabela 3 Mapa da distribuição espacial da perda de solos anual no Município de Paraíso das Águas – Fator A, 2013.

Verifica-se que a maior parte do município encontra-se antropizada, com 79,17% do território distribuído entre pastagens, agricultura, campo sujo e solo exposto. Logo, tem-se que a maior parte do território sofreu ou sofre algum tipo interferência humana que contribui para o aumento da estimativa de perda de solo.

Por outro lado, analisando-se somente as Áreas de Preservação Permanente (APP), através da geração de mapas de distância de 30 metros utilizando a ferramenta *buffer*, tem-se que dos 17,42% de cobertura que efetivamente protege o

solo da erosão hídrica, 48,11% estão inseridos nas APP, distribuídas entre Vegetação Densa, Mata e Cerrado e Cerradão.

5.5 Mapa do Fator CP

A Figura 6 mostra o resultado da integração e espacialização dos valores de erodibilidade (Tabela 2) adaptados da proposta de Stein *et al.* (1987) e Oliveira (2012).

Observando-se os valores de CP, desconsiderando o valor zero que representa corpos d'água e áreas úmidas, tem-se que os valores mais baixos estão associados às classes de cobertura vegetal mais densa. Entende-se que, por possuírem mais fitomassa, maior será sua importância na proteção do solo contra a remoção de sedimentos no processo de escoamento superficial (Valentin, 2008), evitando também o levantamento das partículas pelo efeito de salpicamento.

Os maiores valores estão associados às classes que apresentam pouca ou nenhuma cobertura de solo, como por exemplo a classe solo exposto caracterizada pela ausência de vegetação, portanto pela alta susceptibilidade em ser erodido.

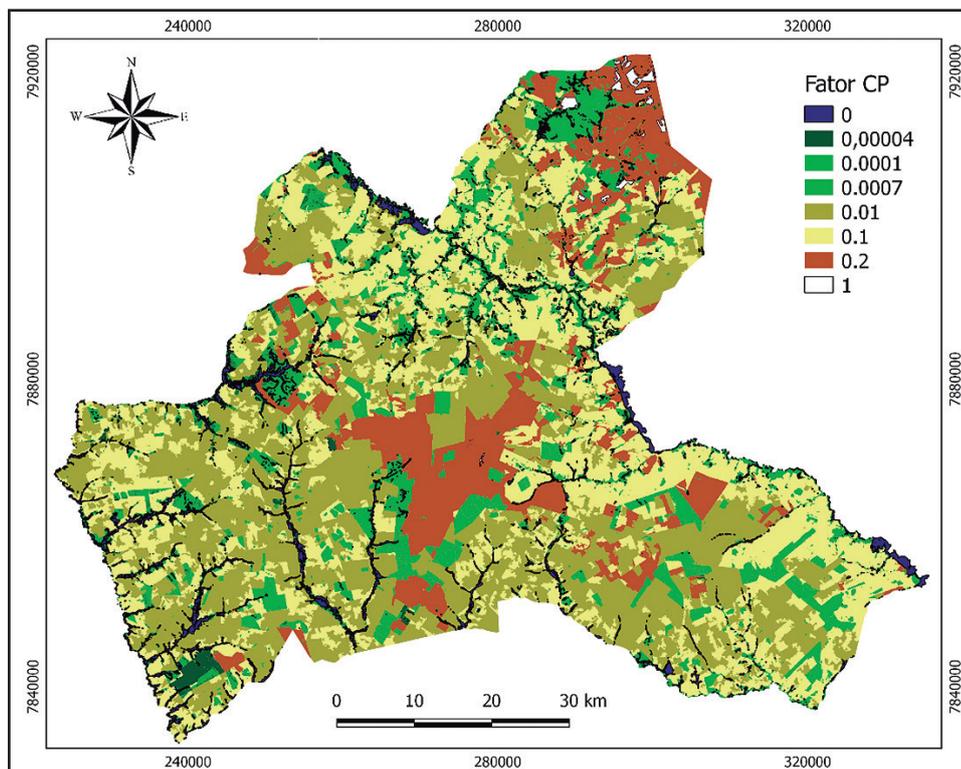


Figura 6 Mapa de uso e cobertura do solo e práticas conservacionistas do Município de Paraíso das Águas – Fator CP.

5.6 Erosão Atual no Município de Paraíso das Águas – Fator A

O resultado final obtido a partir da álgebra de mapas com a aplicação da USLE pode ser visualizado no mapa de perda do solo – fator A, em toneladas por hectare ano (Figura 7).

É importante ressaltar que devido as limitações da USLE, os valores estimados não podem ser tomados quantitativamente, devem apenas ser analisados qualitativamente quanto ao potencial das áreas em perder solo por erosão hídrica laminar (Stein *et al.*, 1987).

Os valores de perda de solos variam de 0 a 1307,32 ton/ha.ano. Esses valores foram divididos em cinco classes conforme a classificação proposta por Carvalho (2008). A Tabela 4 apresenta as classes de erosão e a área que cada uma ocupa no Município de Paraíso das Águas.

| Perda de solo (ton/ha.ano)* | Classe de intensidade* | Área | |
|-----------------------------|------------------------|--------------|------------|
| | | Área (Km²) | % |
| Nula a moderada | < 15 | 4629,45 | 91,94 |
| Média | 15 – 50 | 300,20 | 5,96 |
| Média a forte | 50 – 120 | 72,49 | 1,44 |
| Forte | 120 – 200 | 18,89 | 0,38 |
| Muito Forte | > 200 | 13,96 | 0,28 |
| Total | | 5.035 | 100 |

Tabela 4 Classificação da taxa de erosão no Município de Paraíso das Águas (adaptado de Carvalho, 2008).

Foi possível observar que a classe nula a moderada ocupa maior parte do município, com 91,94% da área. Portanto, há a predominância de erosão com intensidade menor que 15 ton/ha.ano. A segunda classe mais expressiva é a erosão média, recobrendo 5,96% da superfície. A classe de erosão média a forte ocorre em 1,44% da área, enquanto as classes de erosão forte e muito forte ocorrem minoritariamente, ocupando juntas 0,66% da área.

Analisando-se o mapa do fator A juntamente com os mapas dos outros fatores, observa-se que a espacialização dos valores de erosão média anual está associada principalmente à topografia (fator LS) e, com menor relevância, aos demais fatores CP, K e R.

Em relação ao fator CP, tem-se duas classes que levam zero: cursos d'água e áreas úmidas. Em análise ao mapa do fator LS, percebe-se a predominância de baixos valores, mas principalmente do valor zero. Consequentemente, grande parte do Município de Paraíso das Águas não apresentou valores elevados de erosão.

As áreas que apresentam maiores valores de erosão, classificados como forte e muito forte, são as mesmas que apresentam os maiores valores de LS associados aos valores mais altos de erosividade (fator R), localizando-se a nordeste do município.

Os valores classificados como médio e médio a forte encontram-se distribuídos seguindo

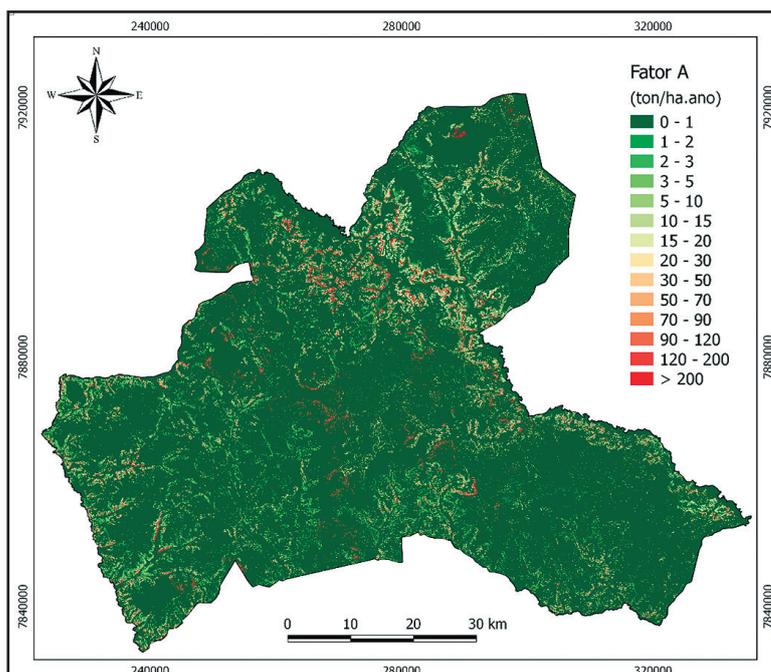


Figura 7 Mapa da distribuição espacial da perda de solos anual no Município de Paraíso das Águas – Fator A, 2013.

a espacialização estabelecida pelo fator topográfico (Figura 8). Porém, a intensidade deve-se aos fatores CP e K, influenciada pelas classes: pastagem (0,01), agricultura (0,2) e campo sujo (0,1), do fator CP e pelo Neossolo Quartzarênico (0,045) do fator K.

6 Conclusões

Os modelos matemáticos de previsão de erosão, quando devidamente aplicados, são considerados ferramentas altamente apropriadas para o estudo dos fatores intervenientes no processo erosivo e direcionamento das decisões de gerenciamento do uso do solo. Apesar das limitações no aspecto quantitativo, quando utilizada para grandes áreas, a aplicação da USLE permite identificar as perdas de solo decorrentes da ocupação atual, além de possibilitar a simulação de cenários futuros.

Desenvolvido a partir da demanda ambiental e social do Município de Paraíso das Águas, este estudo demonstrou que as perdas de solos variam de 0 a 1307,32 ton/ha.ano, sendo que 91,94% da área representada pela classe nula a moderada, com predomínio de erosão com intensidade menor que 15 ton/ha.ano. Enquanto que as classes de erosão forte e muito forte ocorrem minoritariamente ocupando juntas 0,66% da área.

A utilização dos *softwares* livres e gratuitos foi satisfatória e adequada aos propósitos do trabalho, mostrando-se ferramentas completas e com grande potencial, especialmente devido à facilidade de visualização, integração dos dados e rapidez de

execução dos resultados. A vantagem desses *softwares* está também no acesso facilitado e *download* disponível gratuitamente a todos os usuários.

Destaca-se ainda o uso dos *softwares* livres e gratuitos com o intuito de suprir as carências relacionadas ao acesso à informação variada para a compreensão de impactos gerados ao meio ambiente e o conseqüente planejamento de ações compensatórias e mitigadoras. Cenários como o descrito podem ser aplicados a municípios com receita orçamentária limitada, especialmente aqueles criados recentemente como é o caso de Paraíso das Águas.

Portanto, além de auxiliar o planejamento ambiental, a aplicação da USLE por meio de *softwares* livres e gratuitos, e com uso de imagens também gratuitas, reduzir consideravelmente os gastos durante a execução do estudo. A importância disto perante ao município de Paraíso das Águas, ou qualquer outro é o baixo investimento necessário para um serviço de grande importância para o desenvolvimento e qualidade de vida da população local.

Buscando-se compreender os processos erosivos, verificou que a dinâmica erosiva sofre influência principalmente das características do relevo demonstradas através do fator topográfico. A análise do fator LS merece grande atenção, devido à influência direta aos fluxos de matéria e energia, que condiciona a dinâmica erosiva no sistema vertente, seja pelas elevadas declividades ou pela grande extensão da vertente, ou, até mesmo, pela associação de ambas.

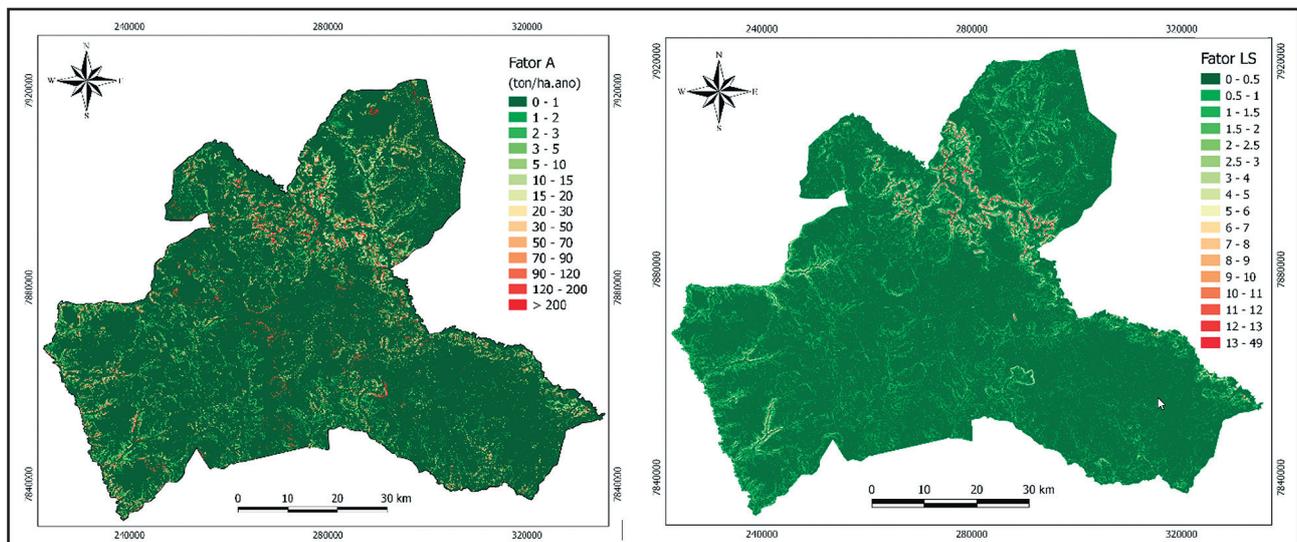


Figura 8 Comparação entre o mapa do Fator A, perda de solo por erosão laminar e o mapa do Fator topográfico (LS).

7 Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela PQ2 de Antonio Conceição Paranhos Filho - Processo 305300/2012-1. À CAPES pela concessão de bolsa à Camila Leonardo Mioto e à UFMS pela concessão de bolsa à Amanda Fernandes Barbosa. À Prefeitura Municipal de Paraíso das Águas, MS.

8 Referências

- Bertoni, J. & Lombardi Neto, F. 2012. *Conservação do solo*. 8 ed. São Paulo, Editora Ícone. 335 p.
- Borges, K.M.R. 2009. *Avaliação de susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhonha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda dos Solos*. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado, 68p.
- Carvalho, N.O. 2008. *Hidrossedimentologia Prática*. Rio de Janeiro: CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais, 600 p.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades. Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: Agosto de 2014.
- Magalhães, R.A. 1995. *Processos Erosivos e Métodos de Contenção CEEB*. Ouro Preto, 67 p.
- McCool, D.K.; Foster, G.R.; Mutchler, C.K. & Meyer, L.D. 1989. Revised slope length factor for the universal soil loss equation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 32(5): 1571-1576.
- Oliveira, P.T.S.; Rodrigues, D.B.B.; Alves Sobrinho, T.; Carvalho, D.F. & Panachuki, E. 2012. Spatial variability of the rainfall erosive potential in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Revista Engenharia Agrícola*, 32(1): 69-79.
- Oliveira, J.S. 2012. *Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solos em ambiente SIG*. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Dissertação de Mestrado, 103p.
- Paranhos Filho, A.C. 2000. *Análise geo-ambiental multitemporal: o estudo de caso da região de Coxim e da Bacia do Taquarizinho (MS – Brasil)*. Universidade Federal do Paraná, Tese de Doutorado, 213p.
- Paranhos Filho, A.C.; Fiori, A.P.; Disperati, L.; Lucchesi, C.; Ciali, A. & Lastoria, G. 2003. Avaliação multitemporal das perdas de solos na Bacia do Rio Taquarizinho-MS. *Boletim Paranaense de Geociências*, 52: 49-59.
- Pinto, S.A.F. & Garcia, G.J. 2005. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise e modelos de Bacias Hidrográficas. *Revista do Departamento de Geografia*, 17: 30-37.
- Prado, H. 2011. *Pedologia Fácil: aplicações*. 3 ed. Piracicaba, 180 p.
- PCBAP – Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 1997. In: *PLANO DE CONSERVAÇÃO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI*. Volumes: I. 73 p. II, Tomos I e II-A. Programa Nacional do Meio Ambiente –PNMA, 334 p. e 386 p.
- QGIS Development Team. *QuantumGIS 2.0, 2012*. Disponível em: <http://www.qgis.org/pt_BR/site/index.html>. Acesso em: Setembro de 2014.
- Serio, J.; Costa, C.A.G. & Teixeira, E.O. 2008. Aplicação da USLE e SIG na caracterização de três micro bacias hidrográficas no Brasil. *Revista Acadêmica Ciências Agrária Ambiental*, 6(2): 213-221.
- Stein, D.P.; Donzelli, P.; Gimenez, A.F.; Ponçano, W.L. & Lombardi Neto, F. 1987. Potencial de erosão laminar natural e antrópica na bacia do Peixe-Parapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4, Marília, 1987. *Anais*, Marília, p. 105-135.
- USGS, *United States Geological Survey. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, órbita 224 e ponto 073, Global Land Cover Facility, University of Maryland, College Park, Maryland, 2000.
- Earth Explorer. *Imagens Landsat 8. Órbita 224, ponto 073. Data de Passagem 03/08/2013*. 2013. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>.
- Valentin, E.F.D. 2008. *Modelagem dinâmica de perdas de solo: o caso do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto-DF/GO*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, 149p.
- Valenciana, G. 2014. *Conselleria d'Infraestructures i Transport. gvSIG versão 1.12, 2012*. Disponível em: <<http://www.gvsig.org/web/>>. Acesso em: Setembro de 2014.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning*. Washington: U.S. Department of Agriculture, (Agriculture Handbook n. 537), 58p.
- Zhang, H.; Yang, Q; Li, R.; Liu, Q.; Moore, D; He, P.; Ritmema, C.J. & Geissen, V. 2013. Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. *Computers & Geosciences*, 52: 177-188.