

Estimação de perda de solo anual utilizando técnicas de geoprocessamento

Hugo Tameirão Seixas¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil

hugo.seixas@inpe.br

RESUMO: O Cerrado tem sofrido inumera mudanças devido a ações antrópica ao longo dos anos, um dos impactos causados por essas mudanças é a erosão causada por chuvas. Uma das maneiras de se calcular a perda de solo anual é a RUSLE, que leva em consideração o regime de chuvas, topografia, pedologia e uso ecobertura do solo. A integração dessa metodologia com técnicas de sensoriamento remoto permite a estimação da perda de solo de maneira continua no espaço. O objetivo deste estudo foi estimar a perda de solo anual em uma sub bacia hidrográfica através da RUSLE. Foram estimados valores de 0.44 a 14.5 ton ha⁻¹ ano⁻¹ de perda de solo.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, estando presente em diversas regiões do Brasil, do Sul ao Norte. Este bioma tem sofrido drásticas modificações por ações antrópicas ao longo dos anos, sendo que metade de sua área já foi ocupada por pastagens plantadas e culturas anuais (MACHADO et al. 2004). Um dos impactos ambientais que transformações no uso do solo causam neste bioma é a erosão (RODRIGUES, 2002), sendo que esta pode gerar perda de produtividade de culturas agrícolas, e contaminação de corpos d'água dela deposição de sedimentos (LAL, 1998).

A compreensão e a medição de perdas de solo por erosão podem contribuir no planejamento de conservação do solo e de recursos hídricos, porém, quantificar esse fenômeno é um desafio, devido a complexidade dos fatores envolvidos. Uma das metodologias mais utilizadas para estimação de perda de solo anual é conhecida como RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) (RENARD et al. 1997), sendo

tradicionalmente aplicada em escala local através de medições de campo. Porém, existem diversas limitações para se conduzir estimações de perda de solo por análises em campo, além do alto custo, há dificuldade de representar esse fenômeno em uma escala temporal e espacial de forma contínua (BOIX-FAYOS et al. 2006).

O uso de técnicas de sensoriamento remoto em conunto com a metodologia RUSLE torna possível a estimação de perda de solo de forma contínua ao longo do terreno, através de calculo de píxel por píxel (MILLWARD e MERSEY, 1999), assim como a elaboração de séries temporais, avaliando como a erosão muda ao longo de anos em uma mesma área. Com o uso de poucos dados de campo, é possível se obter estimativas de perda de solo, através do auxilio de dados orbitais, como modelos digitais de elevação (MDE), cenas com composição coloridas e índices de vegetação, e dados disponíveis na internet por diversas instituições, como mapas temáticos de uso da terra, mapas pedológicos, e séries de precipitação.

O objetivo deste trabalho foi estimar a perda de solo anual na sub bacia Rio Velho através da RUSLE, utilizando dados de MDE, mapas temáticos e medições de precipitação mensal como atributos de entrada na equação.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A sub bacia Rio Velho (20,3°S; 48,64°O) está localizada dentro da bacia hidrográfica do Baixo Pardo/Grande, e faz parte dos municípios de Barretos e Colômbia, no norte do estado de São Paulo (Figura 1). O clima é classificado como tropical com invernos secos, e a sub bacia está inserida em região de Cerrado.

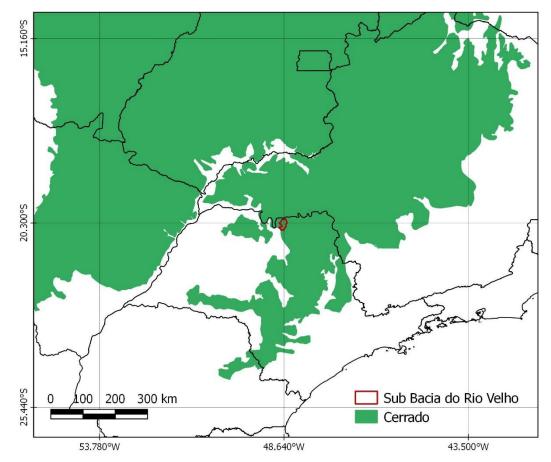


Figura 1. Mapa da localização da área de estudo.

Esta região é marcada por diversos problemas ambientais, como desmatamento, perda de água superficial, perda de solos férteis, assoreamento de cursos d'água, lançamento de esgoto não tratado exploração sem controle de águas subterrâneas e crescente demanda por água. Os principais usos do solo são destinados a atividades agrícola, pastoril, avícola, industrial e urbana. As principais culturas agrícolas são, canade-açúcar, laranja e soja (Situação dos Recursos Hídricos no Estado de São Paulo, 2012).

2.2. RUSLE

A metodologia RUSLE possibilita estimar a perda de solo média anual, levando em consideração o regime de chuvas, topografia, pedologia e uso ecobertura do solo (FARHAN e NAWAISEH, 2015). A perda de solo é dada pela Equação 1:

$$A = R * K * LS * C * P$$
 Eq. 1

Sendo que A é igual a perda de solo média anual devido a erosão (ton ha⁻¹ ano⁻¹), R a erosividade da chuva (mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹), K o fator de erodibilidade do solo (ton ha h ha⁻¹ mm⁻¹), LS o fator de declividade (adimensional), C o fator de uso e cobertura do solo (adimensional) e P o fator de manejo do solo. Neste trabalho o fator P não será considerado, devido a impossibilidade de se obter dados sobre o manejo do solo, como práticas conservacionistas, portanto o valor desse fator será considerado como 1.

Como dados de entrada para a formula, todos os fatores foram representados espacialmente dentro da sub bacia, realizando-se uma álgebra de mapas para se chegar no resultado final.

2.3. Fator R

O fator R descreve a erosividade da chuva, e pode ser determinada por meio de diferentes métodos, levando em consideração o volume, a intensidade e a duração de chuvas (FARHAN e NAWAISEH, 2015), normalmente são utilizados dados de precipitação ao longo de 20 anos, afim de representar variações cíclicas (ANGIMA et al. 2003).

Para o cálculo do fator R neste trabalho, foram utilizados dados de precipitação média anual de 7 estações meteorológicas próximas da sub bacia Rio Velho, utilizando uma série de 20 anos. Para se obter a precipitação média anual, foram feitas a média aritmética das precipitações mensais ao longo de cada ano, para então se obter a média de precipitação dos 20 anos. A equação utilizada para o cálculo do fator R (Equação 2) foi proposta por ELTAIF et al. (2010):

$$R = 23.61 * e^{(0.0048*\rho)}$$
 Eq. 2

EM que R é a erosividade da chuva (mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹), e ρ a precipitação média anual (mm). Cada estação meteorológica foi representada como um ponto no SIG, contendo valores de latitude, longitude, precipitação média anual e fator R (Figura 2).

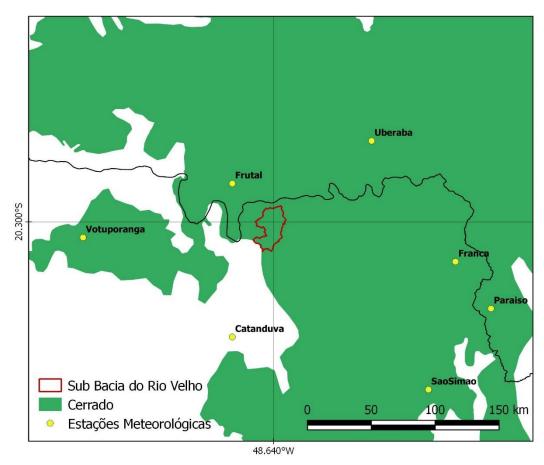


Figura 2. Mapa da localização das estações meteorológicas.

Devido a ausência de dados de precipitação mais próximos da sub bacia Rio Velho com disponibilidade de 20 anos, foram utilizadas as estações mais próximas possiveis, realizando-se uma interpolação dos valores de fator R já calculados para cada ponto. O método utilizado na interpolação foi o inverso do quadrado da distância. Os valores de precipitação média anual e fator R são listados na Tabela 1.

Tabela 1. Precipitação, localização e fator R de cada estação meteorológica.

Estação	Precipitação (mm)	Lat	Long	Fator R
Votuporanga	112	20.41 S	49.98 O	40.4
Frutal	121	20.03 S	48.93 O	42.2
Uberaba	137	19.73 S	47.95 O	45.7
Franca	137	20.58 S	47.36 O	45.5
Paraiso	142	20.91 S	47.11 O	46.6
SaoSimao	112	21.48 S	47.55 O	40.4
Catanduva	96	21.11 S	48.93 O	37.5

2.4. Fator LS

O fator LS é determinado pela influência da topografia da região à susceptibilidade a erosão, combinando os efeitos do comprimento do declive (L) e sua inclinação (S). Como alternativa para calcular o fator LS sem a necessidade de medições em campo, foi adotada uma metodologia baseada no uso de algorítmos em ambiente SIG, proposta por Desmet e Govers (1996), baseado em uma abordagem de multiplas direções, píxel por píxel, em que o único dado necessário foi um MDE (Figura 3).

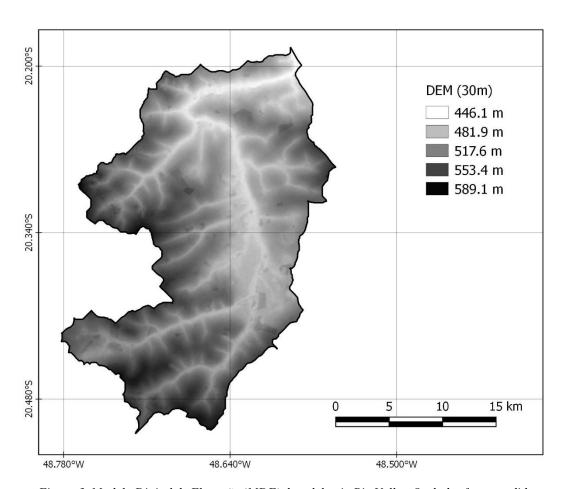


Figura 3. Modelo Digital de Elevação (MDE) da sub bacia Rio Velho. Os dados foram cedidos pelo pela iniciativa TOPODATA (INPE).

Os dados de altitude foram obtidos da iniciativa TOPODATA, um banco de dados geomorfométricos do Brasil, realizado pelo INPE. A imagem de altimetria apresentava uma resolução espacial de 30 metros, obtida através de um refinamento realizado sobre dados SRTM (90 metros).

2.5. Fator K

A sub bacia Rio Velho apresenta apenas três ordens de solos, Argissolo, Gleissolo e Latossolo, sendo que o último apresentava diferentes classificações de subordem, porém, neste estudo foram analisados somente ao nível de ordem. Latossolos representam a maior parte da sub bacia, seguido por Geissolos, presentes predominantemente em regiões de drenagem, e Argissolos estão presentes em pequenas áreas na extremidade da região (Figura 4).

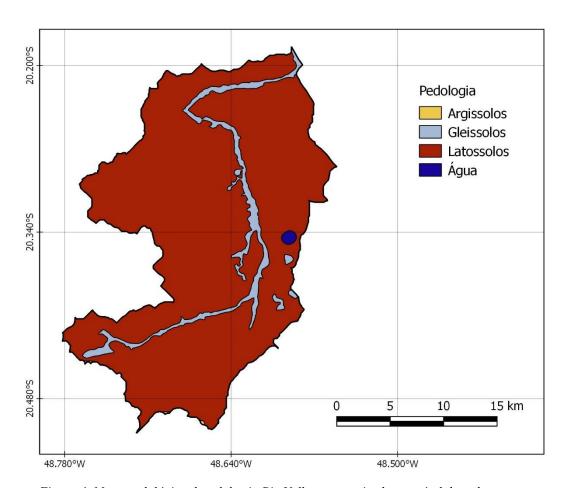


Figura 4. Mapa pedológico da sub bacia Rio Velho, categorizada por nível de ordem.

O fator K é regido pela vulnerabilidade de cada tipo de solo à processos erosivos, o que depende de sua textura, em que a proporção entre particulas de argila, areia e silte é analisada, a porcentagem de matéria orgânica, a estrutura física, que dita como as particulas estão agregadas uma a outra, e de sua drenagem. Como esses fatores devem ser medidos em campo, não foi possível determinar o fator K dos solos presentes na sub bacia Rio Velho, porém, foram utilizados dados de outros estudos em que foram analisados solos da mesma ordem (Tabela 2).

Tabela 2. Fator K de diferentes ordens de solos. Adaptado de: (SILVA e ALVARES, 2005)

Ordem	Fator K	
Latossolo	0.0162	
Gleissolo	0.0361	
Argissolo	0.0425	

O latossolo apresenta o menor valor de fator K, já que apresenta menor vulnerabilidade a perdas de solo por erosão, já o argissolo apresenta maiores valores, sendo portanto, mais susceptível a perda de solos. Os valores de fator K foram atribuídos a cada ordem de solos em sua tabela de atributos, para posteriormente ser feita a rasterização do mapa temático.

2.6. Fator C

O fator C é relativo a diferentes coberturas do solo e de seu manejo, varia de 0 a 1, e é adimensional. É considerado o segundo fator mais influente na erosão, depois da topografia (FARNHAN e NAWAISEH, 2015), e é afetado pela cobertura vegetal da superfície, uso da terra, úmidade do solo e rugosidade da superfície. Neste estudo foi utilizado um mapa temático de uso e cobertura do solo, datado de 2013, disponibilizado pelo programa TERRACLASS Cerrado. Segundo o mapa temático, a sub bacia do Rio Velho apresenta áreas ocupadas pela agricultura anual, agricultura perene, cobertura natural, pastagem, água e ocupação urbana (Figura 5).

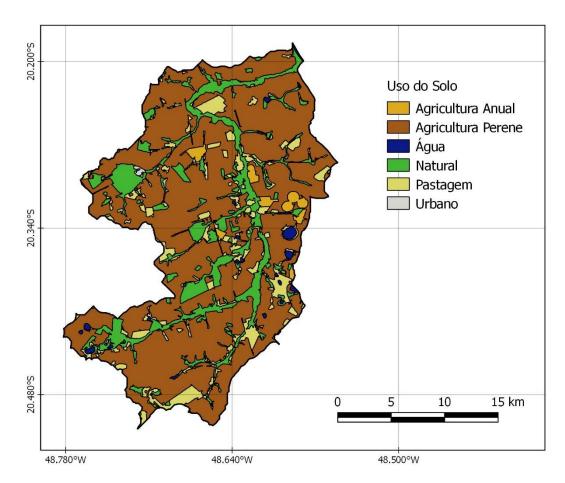


Figura 5. Mapa temático do uso e cobertura do solo na sub bacia do Rio Velho.

Para cada atributo de uso e ocupação da terra, foram atribuídos valores de fator C (KOULI et al. 2009), sendo que tais valores foram gerados através de valores de NDVI obtidos por cenas geradas pelos sensores ETM e TM, a conversão de valores do índice vegetativo para fator C é feita através da seguinte equação (Equação 3):

$$C = e^{(-\alpha((NDVI)/(\beta-NDVI)))}$$
 Eq.3

Em que α e β são parâmetros para determinar a curva de correlação entre NDVI e fator C. Os valores do fator de uso e ocupação do solo foram associados a cada classe, para então serem inseridos na equação RUSLE (Tabela 3).

Tabela 3. Fator C de diferentes classes de uso e ocupação do solo. Adaptado de: (KOULI et al. 2009)

Classe	Fator C	
Pastagem	0.543	
Agricultura Perene	0.178	
Agricultura Anual	0.307	
Cobertura Natural	0.130	
Ocupação Urbana	0.584	
Água	0	

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Fator R

O fator R calculado a partir da interpolação entre as 7 estações meteorológicas mostrou pouca variação dentro da sub bacia Rio Velho, apresentando valores entre 42 e 43 mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (Figura 6).

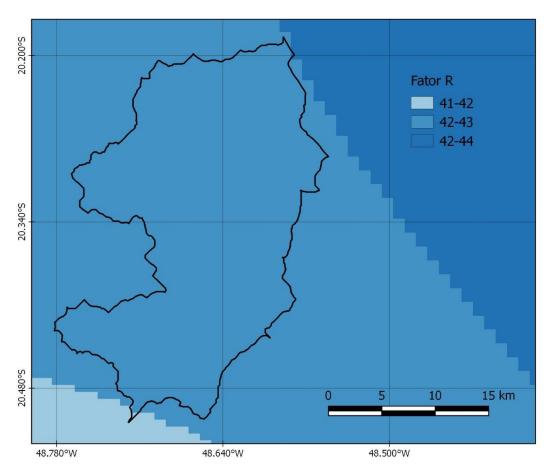


Figura 6. Plano de informação do fatiamento do fator R na sub bacia Rio Velho.

Essa baixa variação espacial do fator de erosividade da chuva pode ter sido causado por uma diferença de escala entre a área da sub bacia e a distância entre as estações meteorológicas. Para obter dados mais precisos de precipitação na sub bacia, poderiam ser utilizados pluviômetros ao longo da bacia, porém, estes dados representariam um pequeno intervalo de tempo, e não iria detectar comportamentos cíclicos do regime pluviométrico.

3.2. Fator LS

O resultado da aplicação do algorítimo sobre o MDE foi um plano de informação contendo os valores de fator LS, que variaram de 0.97 a 97.1, sendo que quanto maior o valor, mais íngrime é o terreno e maior é a comprimento do declive, ocasionando em maior susceptibilidade de perda do solo por erosão (Figura 7).

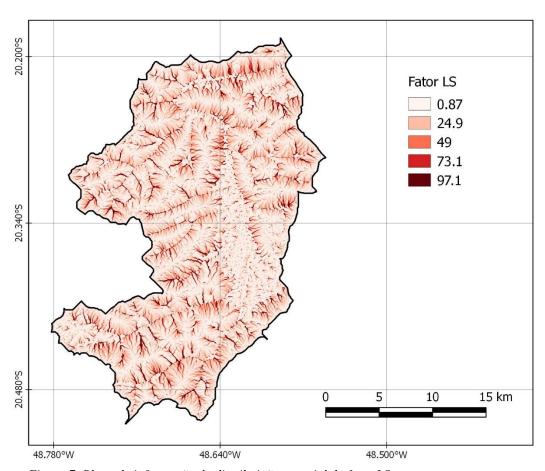


Figura 7. Plano de informação da distribuição espacial do fator LS.

As áreas de maiores valores de LS estão distribuídas em pequenas áreas ao longo de todo a sub bacia, sendo que apenas uma região central apresenta valores mais homogêneos e mais baixos. Os valores de LS estão espacialmente relacionados com a drenagem, que afeta na topografia do terreno.

3.3. Fator K

O fator K apresentou baixa variabilidade ao longo do terreno, havendo grande predominância de latossolos.

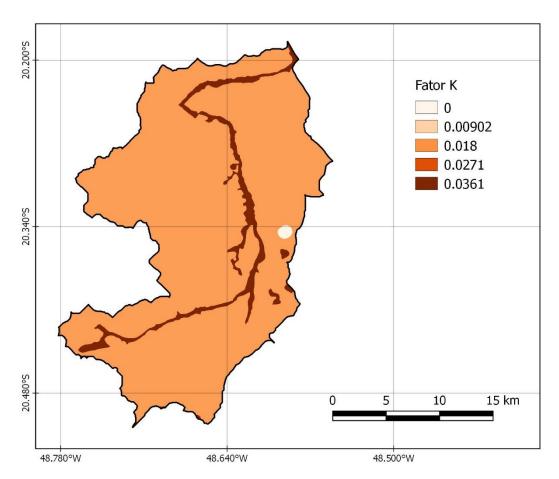


Figura 8. Plano de informação da distribuição espacial do fator LS.

Uma análise mais detalhada dos solos ao longo da região poderia aumentar a variabilidade do fator K, sendo que mesmo solos de uma mesma ordem podem apresentar valores diferentes de teor de matéria orgânica, proporção de argila silte e areia, e com diferentes graus de estruturação. Como o presente estudo teve como objetivo a utilização

apenas de dados já disponíveis por instituições, adotou-se uma caracterização mais simplificada da pedologia da região.

Os valores de fator K observado na literatura representa uma média de diversos estudos, o que pode ser uma fonte de incertezas para este plano de informação, já que as características de solos de uma mesma ordem pode variar de uma região para outra, assim como a metodologia usada na obtenção dos fatores podem apresentar diferenças. Porém, uma coleta de dados in situ seria dispendiosa em questão de tempo, e de recursos financeiros.

3.4. Fator C

O plano de informação do fator C foi obtido pela sua atribuição a cada classificação de cobertura do solo, e depois transformado em um plano matricial (Figura 9).

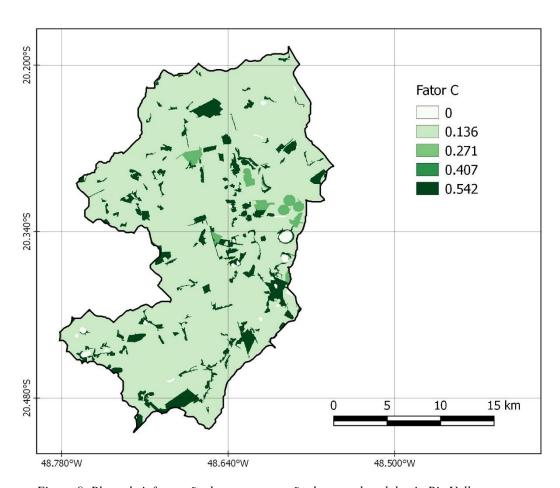


Figura 9. Plano de informaçãa do uso e ocupação da terra da sub bacia Rio Velho.

A maior parte da sub bacia é ocupada por agricultura perene, que apresenta menores valores de C em comparação a agricultura anual e pastagens, e portanto, menor susceptibilidade a erosão. As áreas de cobertura natural estão mais presentes ao longo da drenagem e apresentam menores valores de C dentre todas as classificações.

O uso e ocupação do solo pode sofrer grandes mudanças ao longo dos anos, o mapa temático utilizado na RUSLE é datado de 2013. Portanto, essa informação pode não ser mais representativa sobre o uso de solo atualmente, para o estudo de erosão, além de se utilizar dados de uso de solo recentes, também é desejavel que sejam coletados da estação chuvosa, época em que a erosão é mais acentuada. Uma cena obtida pelo Sentinel 2ª, datada de 25/05/2018 foi obtida como ilustração da mudança do cobertura do solo (Figura 10).

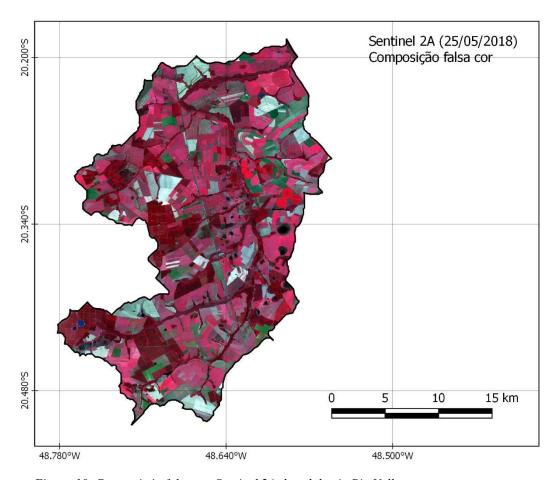


Figura 10. Composição falsa cor Sentinel 2A da sub bacia Rio Velho.

Nele é possível observar mais pivôs centrais, em comparação ao mapa temático, mais áreas de solo descoberto, e menor área ocupada por agricultura perene. Tais mudanças poderiam representar grande influência no resultado final de perda anual de solos, porém, necessitaria de um processamento mais complexo de dados, como correção atmosférica e classificação. Com o uso dos dados cedidos pelo TERRACLASS Cerrado, é possível se ter uma classificação rápida e simplificada do uso e cobertura da terra, não necessitando de grande processamento de dados.

3.5. Perda de solo anual

A perda de solos anual foi calculada através da multiplicação entre os 4 planos de informação obtidos, o resultado foi a distribuição espacial da perda de solo em ton ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (Figura 11).

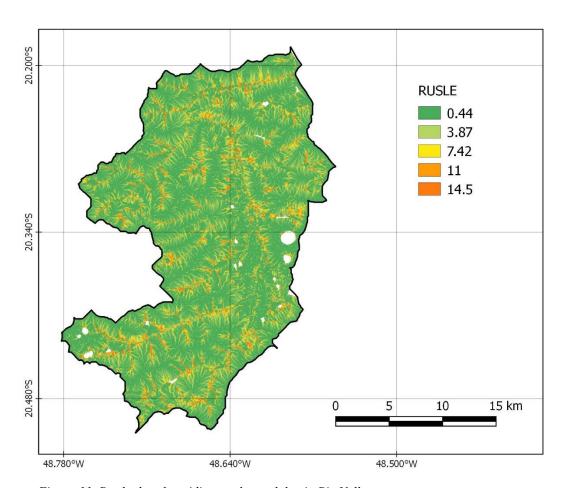


Figura 11. Perda de solo média anual na sub bacia Rio Velho.

As feições do mapa acima se mostram muito semelhantes a do plano matricial dos valores de LS, o que é esperado, já que é o fator mais influente na determinação de erosão, e também porque as váriáveis como fator C e R não apresentaram grandes variações espaciais dentro da sub bacia.

O menor valor de perda de solo observado foi de 0.44 ton ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, e o maior de 14.5 ton ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Segundo Farhan e Nawaiseh (2015), valores entre 0 e 12 ton ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ representam vulnerabilidade baixa à erosão, e entre 12 e 60 5 ton ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ de vulnerabilidade moderada. Portanto seguindo esses parâmetros, não há regiões de vulnerabilidade elevada nessa região. Estudos conduzidos no Norte da China para avaliar vulnarabilidade a erosão obteve valores de perda de solo maiores que 150 ton ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ em pequenas áreas (CHEN et al. 2011). Já na grécia, foram encontrados valores que tangem mais de 4000 ton ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ de perda de solos (KOULI et al. 2009). A discrepância entre valores obtidos no presente estudo e outros verificados na literatura pode ter sido causado pelo uso de diferentes algorítimos no cálculo dos diferentes fatores, ou em diferentes metodologias para coletas de dados.

O uso de precipitação média anual pode ser uma fonte de incertezas nesse trabalho, sendo que tal dado não leva em conta a intensidade e a duração de chuvas, parâmetros de grande importância na ocorrência de erosão. Outros fatores que possívelmente causam incerteza no resultado final é o uso de valores de fator K e C disponíveis na literatura, que podem não ser condizentes com a realidade da sub bacia Rio Velho.

É extremamente importante que sejam realizadas validações dos dados obtidos pela RUSLE através de dados de sensoriamento remoto, permitindo determinar as fontes de incerteza e elucidar possíveis melhorias para a metodologia.

4. CONCLUSÕES

Foi possível estimar a perda de solo anual na sub bacia do Rio Velho sem o uso de dados auxiliares de campo. Os resultados obtidos podem conter diversas fontes de incerteza, portanto, é necessário ter em mente que o produto obtido desta pesquisa é uma

representação simples do estado de vulnerabilidade dessa região, sendo que não foram conduzidos trabalhos complexos para geras a informação de perda de solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGIMA, S. D.; STOTT, D. E.; O'NEILL, M. K.; *et al.* Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 97, n. 1–3, p. 295–308, 2003.

BOIX-FAYOS, C.; MARTÍNEZ-MENA, M.; ARNAU-ROSALÉN, E.; *et al.* Measuring soil erosion by field plots: Understanding the sources of variation. **Earth-Science Reviews**, v. 78, n. 3–4, p. 267–285, 2006.

CHEN, Tao; NIU, Rui qing; LI, Ping xiang; *et al*. Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS, and remote sensing: A case study in Miyun Watershed, North China. **Environmental Earth Sciences**, v. 63, n. 3, p. 533–541, 2011.

DESMET, P; GOVERS, Gerard. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n. 5, p. 427–433, 1996.

ELTAIF, N. I.; GHARAIBEH, M. A.; AL-ZAITAWI, F.; *et al.* Approximation of Rainfall Erosivity Factors in North Jordan. **Pedosphere**, v. 20, n. 6, p. 711–717, 2010. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160(10)60061-6.

FARHAN, Y.; NAWAISEH, S. Spatial assessment of soil erosion risk using RUSLE and GIS techniques. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 6, p. 4649–4669, 2015.

KOULI, Maria; SOUPIOS, Pantelis; VALLIANATOS, Filippos. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. **Environmental Geology**, v. 57, n. 3, p. 483–497, 2009.

LAL, R. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 17, n. 4, p. 319–464, 1998.

MACHADO, R. B.; RAMOS, P. N.; PEREIRA, E.; *et al.* 2004. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Conservation International do Brasil, Brasília.

MILLWARD, Andrew A.; MERSEY, Janet E. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. **Catena**, v. 38, n. 2, p. 109–129, 1999.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; *et al.* Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). **Agricultural Handbook No. 703**, p. 404, 1997. Disponível em: http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64080530/RUSLE/AH_703.pdf>.

RODRIGUES, S C. Impacts of Human Activity on Landscapes in Central Brazil: a Case Study in the Araguari Watershed. **Australian Geographical Studies**, v. 40, n. 2, p. 167–178, 2002. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1111/1467-8470.00172.

Secretaria Estadual de Saneamento e Recursos Hídricos (2012). Situação dos Recursos Hídricos no Estado de São Paulo.

SILVA, A. M.; ALVARES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo. **Geociencias**, v. 24, n. 1, p. 33–41, 2005.