



## Efeito de Diferentes Resoluções Espaciais de Modelos Digitais de Elevação na Estimativa de Perda de Solo

Effect of Different Spatial Resolutions of Digital Elevation Models on Soil Loss Estimation

José Augusto Nascimento dos Santos; André Almagro; Carina Barbosa Colman;  
Raquel Godoi; Paula Prado Siqueira & Paulo Tarso Sanches de Oliveira

*Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia,  
Laboratório de Hidrologia, Erosão e Sedimentos, Rua Ufms s/nº, 79090-900, Campo Grande, MS, Brasil*

*E-mails: jota.augusto12@gmail.com; andre.almagro@gmail.com; carinabcolman@gmail.com; rachgodoi@gmail.com;  
paulaprado2@gmail.com; paulotarsoms@gmail.com*

*DOI: [http://doi.org/10.11137/2020\\_2\\_460\\_468](http://doi.org/10.11137/2020_2_460_468); Recebido: 11/11/2019 Aceito: 12/05/2020*

### Resumo

A Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) é um dos modelos mais utilizados para a estimativa de risco de erosão do solo. Entre as camadas de entrada que têm o maior impacto na modelagem da perda de solo está o comprimento e o ângulo de inclinação combinados (fator LS) que descreve o efeito da topografia na erosão do solo. Neste estudo, calculamos o fator LS com base em Modelos Digitais de Elevação (MDE) de diferentes resoluções espaciais para uma bacia tropical. O cálculo do fator LS foi realizado usando a ferramenta LS-TOOL, que incorpora um algoritmo de fluxo múltiplo e contribui para uma estimativa precisa da acumulação de fluxo. O conjunto de dados do fator LS foi calculado usando MDEs com variação de 5 a 90 m de resolução espacial para toda Bacia do Guariroba, resultando em diferentes delineamentos de áreas com risco de erosão do solo em comparação com conjuntos de dados de baixa resolução. Essa abordagem combinada do uso de ferramentas de *software* de Sistema de Informações Geográficas com MDEs de diferentes resoluções mostra que a aplicabilidade de MDEs de média resolução, fornecidos gratuitamente, não comprometem a estimativa da perda média de solo.

**Palavras-Chave:** fator topográfico; fator LS; RUSLE

### Abstract

The Universal Revised Soil Loss Equation (RUSLE) is one of the most widely used models for estimating soil erosion risk. Among the input layers that have the greatest impact on soil loss modeling is the combined length and slope angle (LS factor) that describes the effect of topography on soil erosion. In this study, we calculated the LS factor based on Digital Elevation Models (DEM) of different spatial resolutions for a tropical basin. The LS factor calculation was performed using the LS-TOOL tool, which incorporates a multiple flow algorithm and contributes to an accurate estimation of flow accumulation. The LS factor dataset was calculated using 5 to 90 m spatial resolution MDEs across the Guariroba Basin, resulting in different delineation of areas at risk of soil erosion compared to low-resolution datasets. This combined approach of using Geographic Information System software tools with different resolution MDEs shows that the applicability of freely provided medium resolution MDEs does not compromise the estimation of average soil loss.

**Keywords:** topographic factor; LS factor; RUSLE

## Introdução

O solo é um recurso fundamental para manter a segurança alimentar e hídrica da humanidade, porém, são ameaçados pela erosão hídrica que tem sido acelerada, principalmente, pela expansão da agricultura (Amundson *et al.*, 2015). A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e sua versão revisada (RUSLE) são frequentemente usadas na modelagem de erosão do solo, apesar dos desafios e limitações existentes (Alewell *et al.*, 2019). Em um estudo recente mostra que o Brasil é terceiro país com o maior número de publicações com a aplicação do modelo USLE/RUSLE (Amundson *et al.*, 2015). As principais camadas de entrada para o modelo RUSLE são erosividade das chuvas (fator R), erodibilidade do solo (fator K), cobertura vegetal (fator C), comprimento e ângulo de inclinação (fator LS) e a prática de conservação (fator P).

Vários estudos realizados têm mostrado diferentes formas de obtenção desses fatores através de sensoriamento remoto e técnicas de modelagem de Sistema de Informações Geográficas (SIG) (Durigon *et al.*, 2014; Panagos *et al.*, 2015; Almagro *et al.*, 2017; 2019). O fator LS representa a topografia do terreno e é um dos fatores mais importantes da equação RUSLE, influenciando sobre o movimento da água, do sedimento e de outros constituintes da paisagem (Moore *et al.*, 1991; Wilson *et al.*, 2007). O Modelo Digital de Elevação (MDE) representa de forma quantitativa a topografia que fornece informações básicas sobre a superfície da Terra para estudos de escoamento superficial, transporte de sedimentos e nutrientes, e permite a obtenção de dados como inclinação, área e rede de drenagem,

curvatura e índice topográfico (Panagos *et al.*, 2015).

Existem diferentes equações que podem ser usadas para o cálculo do fator LS (Wischmeier & Smith 1978; McCool *et al.*, 1987, 1989; Nearing, 1997; Liu *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2013), bem como diferentes resoluções espaciais (tamanho da célula) de diferentes MDE, disponibilizados gratuitamente ou pagos, que podem determinar o resultado da modelagem da erosão do solo. Apesar disso, não existem estudos que avaliam a influência de diferentes MDE com resolução espacial sobre a estimativa de perda de solo. O objetivo deste estudo é calcular o fator LS com base em MDE de diferentes resoluções espaciais para uma bacia tropical e verificar sua influência sobre a estimativa de erosão do solo.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo possui cerca de 362 km<sup>2</sup> que compõem a área de proteção ambiental (APA) da bacia do Guariroba, localizada em Campo Grande, estado de Mato Grosso do Sul (Figura 1). Está inserida no bioma Cerrado e os principais usos do solo são pastagens, plantações de eucalipto e vegetação de cerrado (Almagro *et al.*, 2019). A classificação de Köppen indica a transição entre o clima Cfa, com verões quentes sem estação seca, e o clima Aw, sendo quente e úmido, com estação fria e seca. A precipitação média anual é 1500 mm, a elevação varia entre 450 m e 660, e o relevo é predominantemente plano (declividade média de 4%) (Almagro *et al.*, 2019).

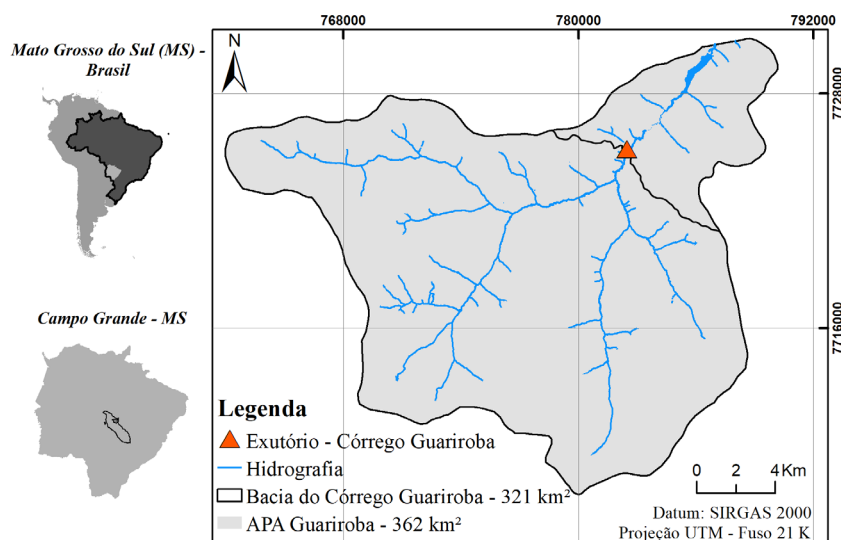


Figura 1 Localização da área de estudo na bacia do Guariroba e o exutório da bacia.

## 2.2 Estimativa de perda de solo

A estimativa de perda de solo foi obtida por meio do aplicativo GISus-M (Oliveira *et al.*, 2015) baseada na Equação Universal Revisada de Perda de Solo (RUSLE) (Wischmeier & Smith, 1978). O modelo calcula a perda média anual de solo pela integração de seis fatores que influenciam o processo de erosão do solo, empiricamente expresso pela Equação 1:

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

em que A é a perda média anual de solo (ton. ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); R é o fator erosividade da chuva (MJ. mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); K é o fator erodibilidade do solo (ton.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>); LS é o fator topográfico, que integra declividade e comprimento de rampa (adimensional); C é o fator de cobertura do solo (adimensional, variando entre 0 e 1); e P representa as práticas conservacionistas (adimensional, variando entre 0 e 1).

$$K = \left[ 0,2 + 0,3 \cdot e^{(-0,0256 SAN \left(1 - \frac{SIL}{100}\right))} \right] \times \left[ \frac{SIL}{CLA+SIL} \right]^{0,3} \times \left[ 1,0 - \frac{0,25 C}{C+e^{(3,72-2,95C)}} \right] \times \left[ 1,0 - \frac{0,70 SN1}{SN1+e^{(-5,41+22,9 SN1)}} \right] \times 0,1317 \quad (2)$$

em que: SAN é a porcentagem de areia; SIL é a porcentagem de silte; CLA é a porcentagem de argila; C é o teor de carbono orgânico; SN1 é o 1,0 menos o teor de área dividido por 100.

### 2.2.3 Topografia (Fator LS)

O Fator LS foi obtido por meio da ferramenta

$$LS = L \cdot S \quad (3)$$

$$L = \left( \frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad (4)$$

$$m = \frac{\beta}{(1+\beta)} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{\left( \frac{\sin \theta}{0,0896} \right)}{[3 \cdot (\sin \theta)^{0,8} + 0,56]} \quad (6)$$

$$S = 10,8 \cdot \sin \theta + 0,03 \text{ if } \theta < 9\% \quad (7)$$

$$S = 16,8 \cdot \sin \theta - 0,50 \text{ if } \theta \geq 9\% \quad (8)$$

### 2.2.1 Erosividade da Chuva (Fator R)

Nós utilizamos o mapa de erosividade (Fator R) desenvolvido por Oliveira *et al.* (2012), em que os autores utilizaram dados de chuva de mais de 100 estações pluviométricas e interpolação de krigagem ordinária para gerar os valores de Fator R em todo o estado de Mato Grosso do Sul. Para o município de Campo Grande, MS, o Fator R variou de 8000 a 10.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>.

### 2.2.2 Erodibilidade do Solo (Fator K)

O Fator K foi obtido a partir de um estudo anterior realizado por Anache *et al.* (2015) na bacia do Guariroba onde foram coletadas amostras de solo em toda essa bacia para determinar características do solo, tais como textura, permeabilidade, estrutura e matéria orgânica. Os autores calcularam o Fator K a partir de diferentes equações e descobriram que a equação de Sharpley & Williams (1990) era a mais adequada para estimar o fator K na bacia estudada, com coeficiente de correlação de 97% entre os valores estimados e medidos.

LS-TOOL (Zhang *et al.* 2013), modificado e inserido no sistema GISus-M. Diferentes resoluções espaciais de Modelos Digitais de Elevação (MDE) foram utilizadas para computar o Fator Topográfico, calculado pelas equações propostas por McCool *et al.* (1989).

Para avaliar o efeito da resolução espacial do MDE sobre a perda média de solo, utilizamos quatro diferentes modelos de elevação. O primeiro é derivado do programa ASTER GDEM, com resolução espacial de 30 metros. O segundo é oriundo do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução espacial de 30 metros. O terceiro modelo utilizado foi o Bare-Earth SRTM, com resolução espacial de 90 metros, gerados a partir dos modelos SRTM, com remoção da interferência

da vegetação sobre a elevação apresentada do modelo (O’Loughlin *et al.* 2016). O quarto MDE foi oriundo de uma imagem com 1 metro de resolução espacial obtida pelo satélite IKONOS. No entanto, a ferramenta LS-Tool não foi capaz de processar o modelo com esta alta resolução, e então o modelo foi reamostrado para 5 metros. A Tabela 1 a seguir resume as características dos MDE utilizados no estudo.

Fonte	Resolução Espacial	Preço
ASTER GDEM	30 m	Gratuito
SRTM	30 m	Gratuito
BARE EARTH SRTM	90 m	Gratuito
IKONOS	5 m	Alto custo

Tabela 1 Informações gerais dos Modelos Digitais de Elevação (MDE).

#### 2.2.4 Uso e ocupação do solo (Fator C) e Práticas conservacionistas (Fator P)

O Fator C foi obtido com base em valores de literatura, atribuindo-se a cada uso do solo da bacia um valor de Fator C. O uso e ocupação do solo utilizado corresponde à análise de interpretação de imagem de satélite Landsat-8, composição R5G6B4, órbita-ponto 224/074 de 03/08/2013, com resolução espacial de 30 metros. As práticas conservacionistas estão diretamente relacionadas com a redução da perda de solo. No estudo foi atribuído o valor 1 constante para o Fator P em toda a bacia, caracterizando o pior cenário de perda de solo para a região.

#### 2.3 Estimativa da Produção de Sedimento

Uma vez que a perda de solo bruta é maior

do que a medida no exutório das bacias, utiliza-se o Sediment Delivery Ratio (SDR) para reduzir este efeito e corrigir a produção de sedimento na bacia. O SDR consiste na fração da perda de solo bruta que é de fato transportada de uma área em um determinado espaço de tempo. Leva-se em consideração a quantidade de sedimento que é transportada para o exutório em relação com as perdas totais (Lu *et al.*, 2003). O SDR é expresso da seguinte maneira:

$$SDR = \frac{SY}{A} \quad (9)$$

Em que “SY” é a produção média anual de sedimento (t.ano<sup>-1</sup>) e “A” é perda média anual de solo (t.ano<sup>-1</sup>). O cálculo da produção de sedimento (SY) foi realizado por meio de três equações empíricas que calculam o SDR em função da área drenada da bacia, de 312 km<sup>2</sup>, que estão apresentadas na Tabela 2.

Equação	Fonte
$SDR = 0,5656(CA)^{-0,11}$	USDA, 1972
$SDR = 0,375(CA)^{-0,2382}$	Boyce, 1975
$SDR = 0,4724(CA)^{-0,125}$	Vanoni, 1975

Tabela 2 Equações de SDR aplicadas, em que CA é a área da bacia, dada em km<sup>2</sup>.

Dessa forma, com o valor da perda média anual de solo obtida pelo cálculo da USLE, obtém-se a produção de sedimento (SY) estimada no exutório da bacia. Os resultados de SDR calculado pelas três equações foram utilizados para calcular a produção estimada de sedimento no exutório.

## 2.4 Análise dos dados

Para avaliar a influência dos modelos digitais de elevação sobre a estimativa da perda de solo, foi realizada análise comparativa entre a produção de sedimento observada no exutório da bacia (SY) e aquela estimada pelo cálculo do SDR juntamente com a perda de solo calculada pela USLE.

## 3 Resultados e Discussões

A erosividade média calculada na região da APA do Guariroba foi de  $9.042,96 \pm 30,28$  MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Figura 2A). O valor médio se

apresenta próximo da erosividade média encontrada para o Estado de Mato Grosso do Sul (Oliveira *et al.*, 2012), e podendo classificá-la como forte erosividade, conforme Carvalho (2008).

Os valores determinados para o Fator C variam de 0 a 1, sendo 1 aquela cobertura do solo mais susceptível à erosão e à produção de sedimento. Esses foram obtidos da literatura (Wischmeier & Smith, 1978), e atribuídos conforme as classes observadas na interpretação da imagem de satélite. Após a análise, obteve-se os seguintes usos na bacia de estudo conforme a Figura 2B.

Quanto à erodibilidade do solo (Fator K), existem três tipos de solo na bacia: Latossolo Vermelho Distrófico, Neossolo Quartzarênico Hidromórfico e Neossolo Quartzarênico Órtico. No entanto, conforme Anache *et al.* (2014), os valores de K calculados para estes solos foi de 0,028 ton.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> para o primeiro e 0,039 ton.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> para os demais (Figura 2C).

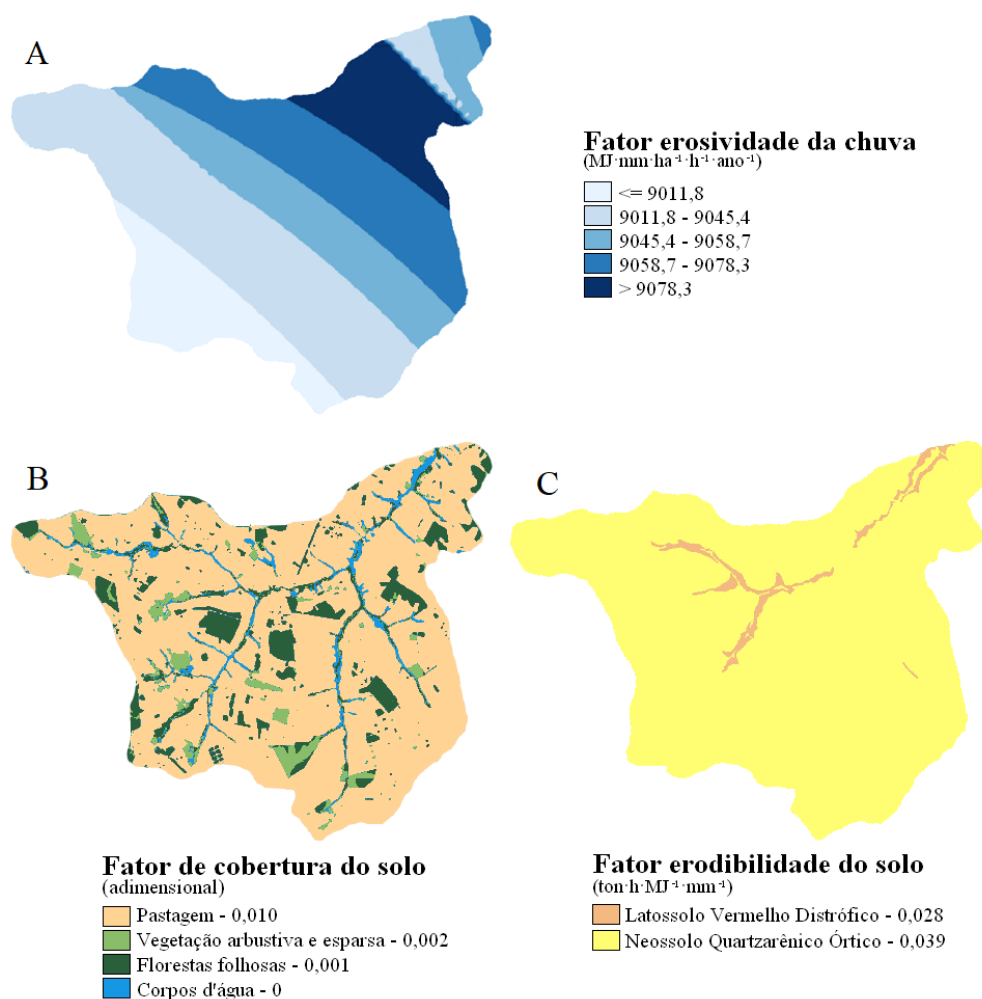


Figura 2 Distribuição espacial da A. erosividade da chuva; B. fator de cobertura do solo; C. fator erodibilidade do solo, na bacia de Guariroba.

Foram observadas somente quatro classes, as quais representam a cobertura do solo na bacia. Os valores

atribuídos estão apresentados na Tabela 3 a seguir.

Classe de uso e ocupação do solo	Área ocupada (km <sup>2</sup> )	%	Fator C
Corpos d'água e áreas úmidas	12,92	3,57	0,000
Florestas folhosas	41,95	11,61	0,001
Vegetação arbustiva com árvores dispersas	14,70	3,93	0,002
Pastagem	291,88	80,75	0,010

Tabela 3 Valores para o Fator C. Fonte: Adaptado de Wischmeier & Smith (1978).

Por se tratar de uma área agrícola, verifica-se a predominância da pastagem como cobertura do solo, apesar de ainda possuir 11,61% da área total coberta com vegetação densa ou folhosa, a primeira é a principal. Quanto a geração do fator topográfico (LS) (Figura 3), a ferramenta LS Tool se limita em calcular o fator topográfico quando usando MDE de maior resolução espacial (<5m). O modelo ASTER GDEM gerou maior variabilidade nos valores calculados do fator em toda a bacia. Entende-se que isto se atribui ao processo de obtenção dos dados pelo sensor. Uma vez que há grande diferença de elevação entre pixels próximos, gera-se grande

gradiente, o que interfere diretamente sobre o Fator LS.

Por outro lado, não se verificou o mesmo efeito sobre os demais modelos. Para estes, o valor médio de LS foram próximos e os maiores valores foram verificados somente nas proximidades dos corpos d'água, onde ocorre maior gradiente em curto comprimento de rampa. A Tabela 4 a seguir apresenta os resultados estatísticos do Fator LS e as estimativas de perda de solos anuais. Uma vez que os demais fatores são constantes para a bacia, o fator topográfico foi determinante para o resultado da estimativa de perda de solo (Figura 4).

MDE	Fator topográfico (LS)		Perda média de solo	
	Média	Desvio Padrão	ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	Desvio Padrão
IKONOS (5 m)	0,25	0,71	0,69	2,15
SRTM (30 m)	0,26	0,54	0,72	1,65
Bare-Earth SRTM (90 m)	0,22	0,48	0,66	1,52
ASTER GDEM (30 m)	1,47	1,73	4,35	5,85

Tabela 4 Resultados do Fator Topográfico para a bacia, segundo o MDE.

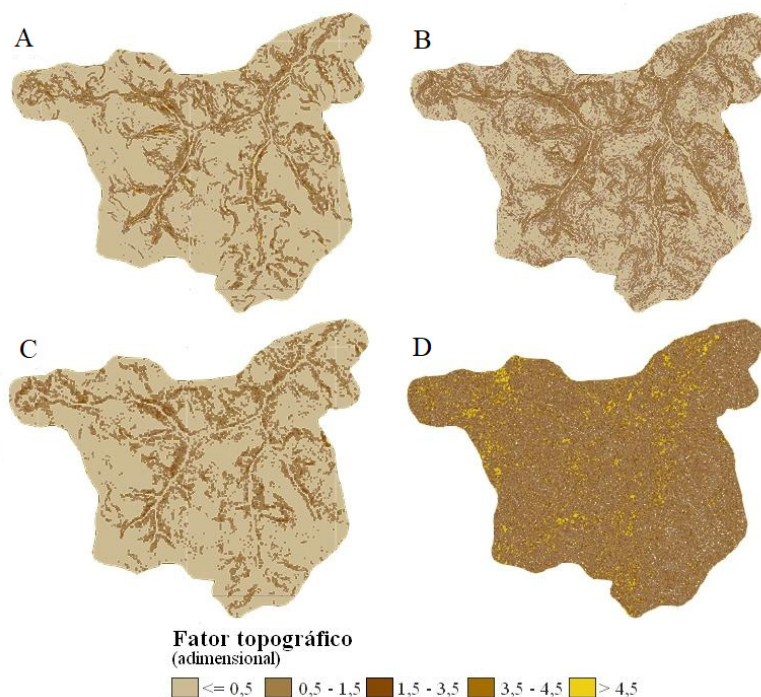


Figura 3 Fator topográfico (LS) na bacia. A. IKONOS (5 m); B. SRTM (30 m); C. Bare-Earth SRTM (90 m); e D. ASTER GDEM (30 m).

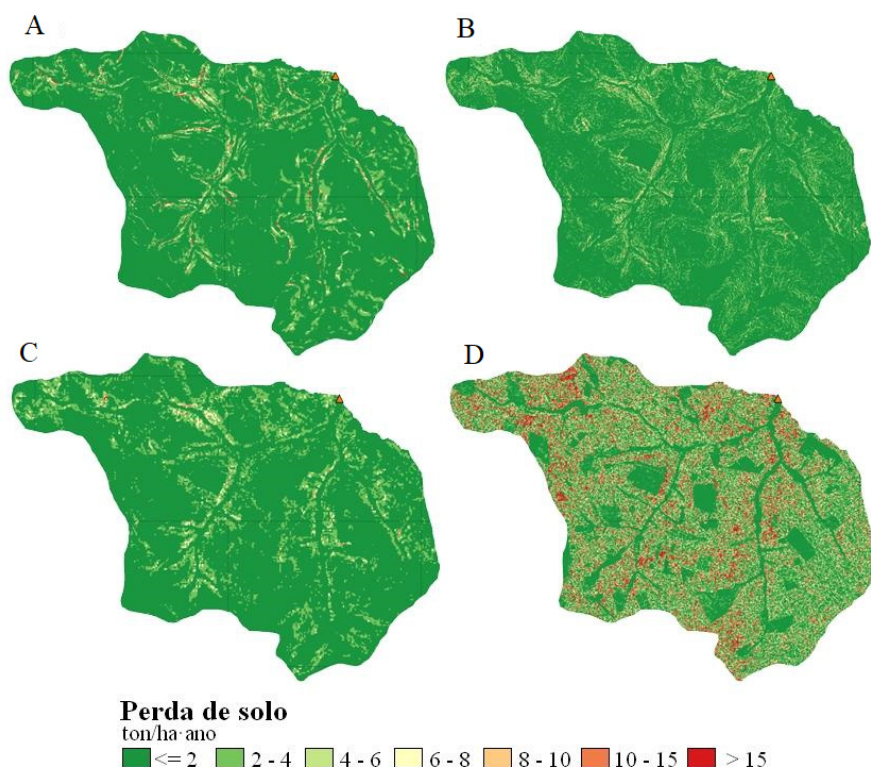


Figura 4 Perda de solo para os diferentes MDE's: A. IKONOS; B. SRTM; C. Bare-Earth SRTM; D. ASTER GDEM.

O SDR calculado por Boyce (1975) na bacia foi 0,30, segundo a equação de USDA (1972) o SDR foi 0,10 e utilizando a equação de Vanoni (1975) o SDR foi de 0,23. A partir dos valores de SDR e da perda de solo estimada pela USLE calculou-se a produção de sedimentos (SY) na bacia para cada MDE. A partir de dados observados são

obtidos pelo monitoramento hidrossedimentológico realizado na bacia pelo Laboratório de Hidrologia, Erosão e Sedimento (HERoS/UFMS), que verificou que produção de sedimento foi de 5.400 ton/ano (Colman *et al.*, 2018). Por meio da Figura 5 é possível observar a diferença entre a produção de sedimento estimada e observada na bacia.

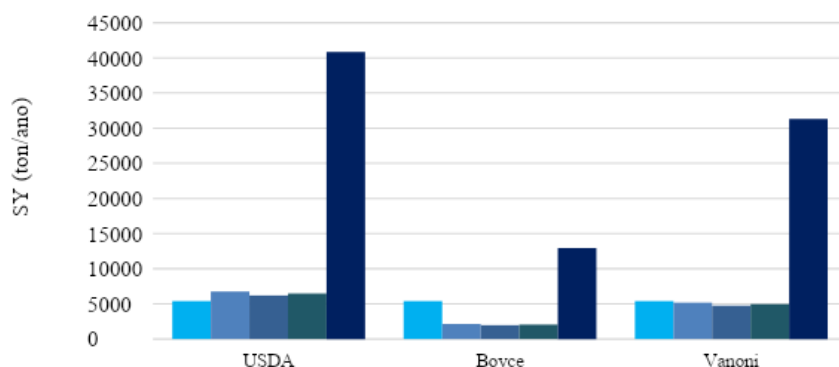


Figura 5 Comparação entre produção de sedimento estimada e observada na bacia.

Os dados simulados utilizando o modelo ASTER GDEM foram os menos satisfatórios, o que já era esperado desde o cálculo do Fator LS. Os desvios calculados entre o SY observado e simulado por este modelo foi de 656% (USDA), 140% (Boyce) e 479% (Vanoni). Desta forma, não se recomenda a utilização deste modelo para predição da perda de solo. Em contrapartida, os demais modelos produziram valores de SY em níveis aceitáveis e não

diferiram significativamente entre si. Entende-se que, por se tratar de região com pouca variabilidade de terreno, as resoluções estudadas foram capazes de representar com boa precisão as variações da superfície.

A partir do SDR calculado pela equação USDA (1975), o desvio médio foi de 20%, indicando que o mesmo superestimou a perda de solo observada.

Quando se utilizou a equação de Vanoni (1975), o desvio médio foi de -8%, indicando que o mesmo subestimou os dados medidos. Destaca-se que o modelo SRTM, com 30 metros de resolução espacial, obtido gratuitamente, subestimou o valor medido em apenas 4%. Segundo Pandey *et al.* (2007), é possível considerar com nível aceitável de acurácia o modelo que simula resultados com desvio de até 20%. O DEM de alta resolução ajuda a capturar as alterações geomorfológicas com maior precisão e, assim, estimar a erosão do solo com maior precisão em comparação com avaliações anteriores (Panagos *et al.*, 2015).

#### 4 Conclusão

Neste estudo avaliamos a influência da resolução espacial de modelos digitais de elevação (MDE), adquiridos gratuitamente e comercial, sobre a perda de solo estimada por meio da Equação Universal da Perda de Solo Revisada (RUSLE). O MDE ASTER GDEM não apresentou bom desempenho para estimativa da perda de solo, pois a representação da superfície não representa a superfície da bacia, o que agrega erro à estimativa de perda de solo, superestimando os resultados. Os modelos SRTM e Bare-Earth (gratuitos de baixa resolução) e IKONOS (comercial de alta resolução) representam bem a superfície e são recomendados para a utilização na estimativa da perda de solo. Por outro lado, o modelo IKONOS de 5 m não apresentou bom desempenho na estimativa de perda solo. Desta forma, modelos digitais de elevação de média resolução, gratuitos, podem ser aplicáveis neste tipo de estudo.

O MDE com alta resolução consegue capturar melhor as alterações geomorfológicas e, assim, estimar a erosão do solo com maior precisão. No entanto, a ferramenta LS Tool apresenta limitações no cálculo do fator LS com resoluções espaciais menores que 5 metros. À medida que a resolução do DEM aumenta, a paisagem é modelada com mais precisão, contribuindo para melhores estimativas de perda espacial do solo. A disponibilidade de dados reais também é importante para os modeladores de erosão do solo, pois ajuda a compreender o funcionamento da bacia.

#### 5 Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer ao Ministério da

Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação - MCTIC e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelos financiamentos (441289/2017-7 e 306830/2017-5).

#### 6 Referências

- Alewel, C.; Borrelli, P.; Meusburger, K. & Panagos, P. 2019. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. *International Soil and Water Conservation Research*, 7: 203–225.
- Almagro, A.; Oliveira, P.T.S.; Nearing, M.A. & Hagemann, S. 2017. Projected climate change impacts in rainfall erosivity over Brazil. *Scientific Reports*, 7: 1–12
- Almagro, A.; Thomé, T.C.; Colman, C.B.; Pereira, R.B.; Marcato Junior, J.; Rodrigues, D.B.B. & Oliveira, P.T.S. 2019. Improving cover and management factor (C-factor) estimation using remote sensing approaches for tropical regions. *International Soil and Water Conservation Research*, 7: 325–334.
- Amundson, R.; Berhe, A.A.; Hopmans, J.W.; Olson, C.; Sztein, A.E. & Sparks D.L. 2015. Soil and human security in the 21st century. *Science*, 348: 647–653.
- Anache, J.A.; Bacchi, C.G.V & Alves Sobrinho, T. 2015. Perdas de solo e produção de sedimentos em bacia hidrográfica: Uma abordagem distribuída. In: ANAIS DO ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS. Vitória, 2018. Resumos expandidos, Vitória/ES. p. 1-12.
- Boyce, R.C. 1975. Sediment routing with sediment delivery ratios. In present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. *U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin*. p. 168-179.
- Carvalho, N.O. 2008. Hidrossedimentologia prática. Rio de Janeiro: CPRM, 600p.
- Colman, C.B.; Garcia, K.M.P.; Pereira, R.B.; Shinma, E.A.; Lima, F.E.; Gomes, A.O & Oliveira, P.T.S. 2018. Different approaches to estimate the sediment yield in a tropical watershed. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 23(47): 1-9.
- Durigon, V.L.; Carvalho, D.F.; Antunes, M.A.H.; Oliveira, P.T.S. & Fernandes, M.M. 2014. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *International Journal of Remote Sensing*, 35: 441–453.
- Liu, H.; Kiesel, J.; Hörmann, G. & Fohrer, N. 2011. Effects of DEM horizontal resolution and methods on calculating the slope length factor in gently rolling landscapes. *Catena*, 87(3): 368-375.
- Lu H.; Moran C.J.; Prosser I.P.; Raupach M.R.; Olley J. & Petheram C. 2003. Hillslope erosion and sediment deli-



- very: A basin wide estimation at medium catchment scale. *CSIRO Land and Water*, 3: 12-14.
- McCool, D.K.; Brown, L.C. & Foster, G.R. 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 30: 1387–1396.
- 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 ASAE*, 32: 1571–1576.
- Moore, I.D.; Grayson, R.B. & Ladson, A.R. 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*, 5(1): 3-30.
- Nearing, M.A. 1997. A Single, Continuous Function for Slope Steepness Influence on Soil Loss. *Soil Science Society of America Journal*, 61: 917–919.
- O’loughlin, F.E.; Paiva, R.C.D.; Durand, M.; Alsdorf, D.E. & Bates, P.D. 2016. A multi-sensor approach towards a global vegetation corrected SRTM DEM product. *Remote Sensing of Environment*, 182: 49-59.
- Oliveira, J.A.; Dominguez, J.M.L.; Nearing, M.A. & Oliveira, P.T.S. 2015. A GIS-based procedure for automatically calculating soil loss from the Universal Soil Loss Equation: GISus-M. *Applied Engineering in Agriculture*, 31(6): 907-917.
- Oliveira, P.T.S.; Oliveira, D.B.B.; Alves Sobrinho, T.; Panachuki, E. & Wendland, E. 2013. Use of SRTM Data to calculate the (R)USLE topographic factor. *Acta Scientiarum Technology*, 35: 507-513.
- Oliveira, P.T.S.; Rodrigues, D.B.B.; Alves Sobrinho, T.; Carvalho, D.O. & Panachuki, E. 2012. Spatial variability of the rainfall erosive potential in the Estate of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Engenharia. Agrícola*, 32(1): 69-79.
- Oliveira, P.T.S.; Wendland, E. & Nearing, M.A. 2013. Rainfall erosivity in Brazil: A review. *Catena*, 100: 139-147.
- Panagos, P.; Borrelli, P.; Meusburger, K.; Alewell, C.; Lugato, E.; Montanarella, L. 2015. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*, 48: 38–50.
- Pandey, A.; Chowdary, V.M. & Mal, B.C. 2007. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resources Management*, 21(4): 729–746.
- Sharpley, A.N. & Williams, J.R. 1990. EPIC - Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation. *U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin*, 768: 235p.
- USDA. 1972. United States Department of Agriculture. Sedimentation, Chapter 6, Sediment Sources, Yields, and Delivery Ratios. *National Engineering Handbook*, p. 6-11.
- Vanoni, V.A. 1975. *Sedimentation Engineering. Manuals & Reports on Engineering Practice*, ASCE. New York, USA, 54p.
- Wilson, J.P.; Lam, C.S. & Deng, Y. 2007. Comparison of the performance of flow-routing algorithms used in GIS-based hydrologic analysis. *Hydrological processes*, 21(8): 1026-1044.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning*. Washington, USDA, 58p.
- Zhang, H.; Yang, Q.; Li, R.; Liu, Q.; Moore, D.; He, P.; Ritsema, C.J. & Geissen, V. 2013. Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. *Computers & Geosciences*, 52: 177-188.