



XV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS

03 a 06 de outubro de 2022
Campo Grande/MS

Promoção:
ABRHidro
Associação Brasileira de Recursos Hídricos

PERDA DE SOLO E CONECTIVIDADE DE SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA

Daniel Ben-Hur Silva de Oliveira¹; Geraldo André Rosseto Barreto²; Renan André Peres³; Daniel de Castro Braga Dias⁴ & Diogo Costa Buarque⁵

ABSTRACT – Soil erosion, or soil loss (SL), is a natural process that can be influenced by human activities. Thus, to understand the temporal and spatial dynamics of erosion, the sediment generation and transport models are essential. Aiming an estimation of SL, the RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) is one of the most used equations. On the other hand, the connectivity concept has been presented as a key element for understanding sediment dynamics. Lateral connectivity, for example, describes the efficiency of material transfer between landscape components, such as slopes and rivers. Thus, in the present work, the lateral connectivity of the sediments was related to the SL calculated by RUSLE, in a watershed of great importance for the state of Espírito Santo, called Santa Maria da Vitória River Watershed (BHSMV). Due to the basin's geomorphological characteristics, both soil loss and sediment connectivity have low values and variation. Results show that for this study area there is a direct correlation between soil loss and the connectivity index. Most of the areas with greater soil losses are also those with the greatest chance of the sediment generated in the slope reaching the drainage network, therefore having the greatest lateral connectivity. The inverse relationship was also observed for the study basin, sites with lower rates of soil loss are those with lower lateral connectivity rates. It is recommended to carry out this analysis in other basins to verify if the results are similar.

Palavras-Chave – Perda de Solo; índice de Conectividade; Sedimentos

¹) Programa de Pós graduação em Engenharia Ambiental - PPGEA, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, danielbenhur.s.o@gmail.com

²) Programa de Pós graduação em Engenharia Ambiental - PPGEA, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, gandrebarreto@hotmail.com

³) Programa de Pós graduação em Engenharia Ambiental - PPGEA, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, renan_321_321@hotmail.com

⁴) Programa de Pós graduação em Engenharia Ambiental - PPGEA, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, danielcbdias@gmail.com

⁵) Professor Titular, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, diogo.buarque@ufes.br



XV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS

03 a 06 de outubro de 2022
Campo Grande/MS

Promoção:
ABRHidro
Associação Brasileira de Recursos Hídricos

1 - INTRODUÇÃO

A erosão ou perda de solo (PS) é um fenômeno que ocorre naturalmente devido a condições ambientais como clima, topografia, solo e uso e cobertura da terra, podendo também ser influenciado por atividades antrópicas. Esses fatores determinam o tipo de erosão e a taxa com que ela ocorre, sendo os principais ao se tratar da erosão hídrica, causada pela água. Dessa forma, modelos de geração e transporte de sedimentos são essenciais para entender a dinâmica temporal e espacial da erosão, refletindo as fontes, o tempo e o padrão de movimento dos sedimentos em resposta aos eventos de chuvas (MERRITT et al., 2003).

Para a estimativa da PS, as equações mais utilizadas são a USLE (Universal Soil Loss Equation) (WISCHMEIER; SMITH, 1978) e suas derivações, como a RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) e a MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation). Esses modelos de erosão são amplamente utilizados e, embora desenvolvidos para pequenas encostas, têm sido incorporadas à modelagem da erosão e do transporte de sedimentos em diversas escalas (MERRITT et al., 2003).

Entretanto, outro conceito que tem sido apresentado como peça chave para o entendimento da dinâmica de sedimento sem bacias hidrográficas é a conectividade (HECKMANN et al., 2018), que descreve a eficiência da transferência de material entre componentes da paisagem, como encostas e rios. A conectividade dos sedimentos pode ser definida como a transferência de sedimentos de determinada fonte para uma área à jusante, em um sistema por meio de seu destacamento e transporte (BRACKEN et al., 2015).

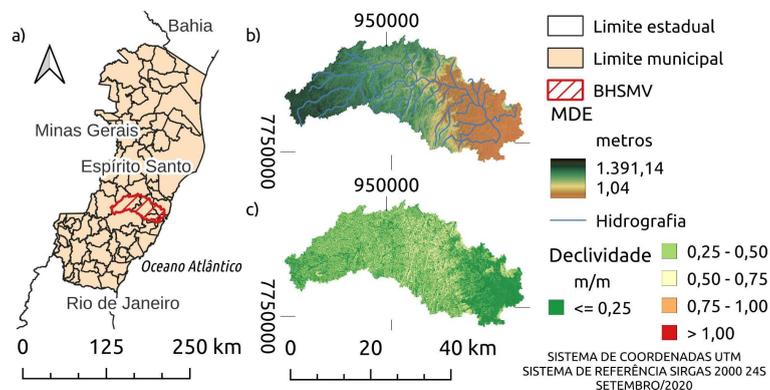
Em bacias hidrográficas, a conectividade varia espacial e temporalmente. A variação espacial possui três componentes: lateral, longitudinal e vertical. Esse trabalho focou na conectividade lateral, caracterizada pela relação entre a rede de canais e a paisagem, incluindo relações vertente-canal e canal-planície de inundação (FRYIRS et al., 2007). Assim, no presente trabalho buscou-se relacionar a conectividade lateral dos sedimentos, com a PS calculada pela RUSLE, em uma bacia hidrográfica de grande importância para o estado do Espírito Santo, a Bacia Hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória (BHSMV).

2 - METODOLOGIA

2.1 - ÁREA DE ESTUDO

A BHSMV está localizada na região central do Espírito Santo (Figura 1). Ela é integrada pelos municípios de Vitória, Serra, Cariacica e Viana — região metropolitana do estado — e também

Santa Leopoldina e Santa Maria de Jetibá (BRITO, 2015). A bacia possui importância no estado para o setor da agropecuária, para a geração de energia e para o abastecimento de água da região metropolitana (SILVA, 2014). Sua área de drenagem é de 1.844 km² e sua distribuição de chuva anual varia de menos de 1000 mm na parte sudeste até valores que ultrapassam 2000 mm nas zonas de serras (BRITO, 2015). Contudo, a precipitação média anual fica em torno de 1.260 mm (BRASCAN, 2018). O seu principal afluente, o rio Santa Maria da Vitória, possui uma vazão média diária de 2.360 L/s e aproximadamente 130 km de comprimento (SILVA et al., 2018), com uma variação de altitude de até 1300 m desde a nascente até sua foz (BRASCAN, 2018). Nesse estudo a área de drenagem foi gerada a partir do MDE NASADEM (Figura 1), com 30 metros de precisão.



2.2 - RUSLE

A PS foi avaliada a partir da RUSLE (RENARD et al., 1997), aplicada a cada píxel do MDE:

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

onde A é a perda média anual de solo [Mg/ha.ano]; R é o fator de erosividade da chuva [MJ.mm/ha.h.ano]; K é o fator de erodibilidade do solo [ton.h/MJ.mm]; LS é o fator topográfico [adimensional]; C é o fator de uso e ocupação do solo [adimensional] e P é o fator de práticas conservacionistas [adimensional].

O fator de erosividade da chuva (R) foi calculado a partir da Equação 2 proposta por Lombardi Neto e Bertoni (1975, apud Silva et al., 2007), utilizando dados pluviométricos diários obtidos na área de estudo por meio do portal Hidroweb da ANA no período de 2012 a 2016.

$$R = \sum 67,355 (r_i^2/P)^{0,85} \quad (2)$$



XV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS

03 a 06 de outubro de 2022
Campo Grande/MS

Promoção:
ABRHidro
Associação Brasileira de Recursos Hídricos

onde r_i é precipitação mensal média para cada mês i do ano [mm]; P é a precipitação anual média [mm] de longo período. A partir do cálculo da Equação 2 para cada estação pluviométrica utilizada, gerou-se através do método de interpolação inverso da distância ponderada (IDW) um mapa em formato raster com os valores de R em cada píxel da área estudada (idênticos ao do MDE).

O fator K baseou-se nos valores encontrados na literatura (ROCHA, 2013; CARVALHO JÚNIOR et al., 2013) para os tipos de solo da BHSMV, obtidos do mapeamento de Cunha et al. (2016).

O fator topográfico LS é resultado do produto entre os fatores L e S . Para cálculo do fator L , utilizou-se como base o algoritmo de Desmet e Govers (1996) e a união dos métodos de Foster et al. (1971) e McCool et al. (1989). Para o cálculo do fator S , utilizou-se o método de McCool et al. (1989). As fórmulas para os fatores L e S estão apresentadas abaixo:

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j-in}^{m+1}}{D^{m+2} \cdot x_{i,j}^m \cdot (22, 13)^m} \quad (\text{DESMET e GOVERS, 1996}) \quad (3)$$

$$m = \beta / (1 + \beta) \quad (\text{FOSTER et al., 1971}) \quad (4)$$

$$\beta = (\text{sen } \theta / 0,0896) / [3 \cdot (\text{sen } \theta)0,8 + 0,56] \quad (\text{MCCOOL et al., 1989}) \quad (5)$$

$$S = \begin{cases} 16,8 \cdot \text{sen} \theta - 0,50 & (\text{Para declividade} < 9\%) \\ 10,8 \cdot \text{sen} \theta + 0,03 & (\text{Para declividade} \geq 9\%) \end{cases} \quad (\text{MCCOOL et al., 1989}) \quad (6)$$

sendo $A_{i,j-in}$ [m²] a área de contribuição da célula com coordenadas geográficas (i,j) , D [m] o tamanho do píxel (célula) do MDE (30m), x um coeficiente em função do aspecto da direção da célula com coordenadas (i,j) , m o expoente função da declividade da célula com coordenadas (i,j) e θ [graus] o ângulo da encosta.

Os valores do fator C foram adotados com base no mapa de uso e ocupação do solo do Instituto Estadual de Recursos Hídricos (IEMA, 2016) e nos valores de C compilados por Lobo (2022). Em grandes bacias, as práticas conservacionistas (fator P) podem não ser bem definidas ou delimitadas, sendo seu impacto mais pontual. Assim, esse estudo adota $P=1$.

2.3 - ELABORAÇÃO DO MAPA DE ÍNDICE DE CONECTIVIDADE

Neste estudo foi elaborado um mapa de Índice de Conectividade (IC) para a BHSMV, elaborado no ArcGis, utilizando o IC proposto por Borselli et al. (2008), definido como:

$$IC = \log_{10}(D_{up}/D_{dn}) \quad (8)$$

onde D_{up} (Upslope component) designa a área de drenagem onde o sedimento é produzido, sendo necessário compreender a morfologia e o uso da terra e D_{dn} (Downslope component) designa o caminho que o fluxo percorre, bem como a rugosidade e a inclinação na superfície.

Segundo Borselli et al. (2008), para compreender e obter o IC é necessário avaliar as características morfométricas da bacia. Além disso, segundo os autores, é essencial utilizar o fator C da USLE, que considera o uso e ocupação do solo na área.

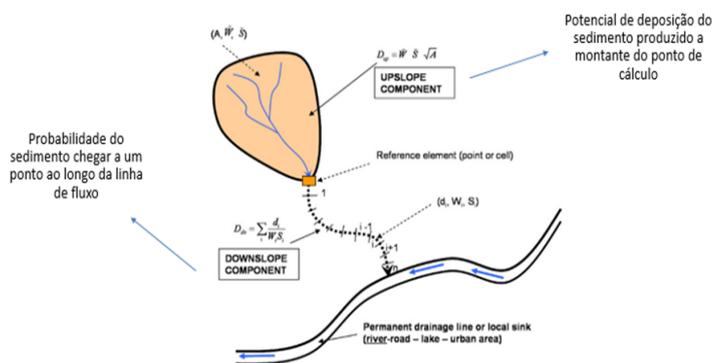


Figura 2 – Ilustração esquemática para o cálculo do IC (BORSELLI et al., 2008).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 estão apresentados os mapas obtidos para os fatores necessários para o cálculo da RUSLE. Observa-se que quanto ao uso do solo, o fator C apresentou a maioria de seus valores menores do que 0,01 (58,34% da área da bacia). A região de montante teve maior concentração de áreas de cultivos agrícolas e regiões com solo exposto, concentrando valores mais altos para o fator C nesse local, enquanto à jusante da bacia, encontram-se áreas extensas de brejo, mangue e mata nativa, o que contribuiu para baixos valores de C nessa área.

Os valores do fator K foram compatíveis com a alternância entre cambissolo e latossolo na parte alta e média da bacia, e uma junção de solos mais erodíveis na parte baixa. A influência desses valores foi percebida no mapa de PS calculado pela RUSLE (figura 4.a), onde as áreas com solos menos erodíveis estão concentradas na parte média da bacia.

O fator LS apresentou pouca variação, o que pode ser devido ao equilíbrio entre a declividade e o comprimento de encosta. Na área central da bacia, onde o comprimento de encosta é menor, a declividade é maior, enquanto na região mais à jusante e à montante o valor da

declividade é menor e o comprimento de encosta maior. A parte central da bacia também foi onde o LS apresentou maiores valores.

Quanto ao fator R, este não apresentou grande variação ao longo da bacia. Tanto os valores do fator R quanto os do fator LS não apresentaram grande variação devido ao tamanho da bacia e suas características topográficas.

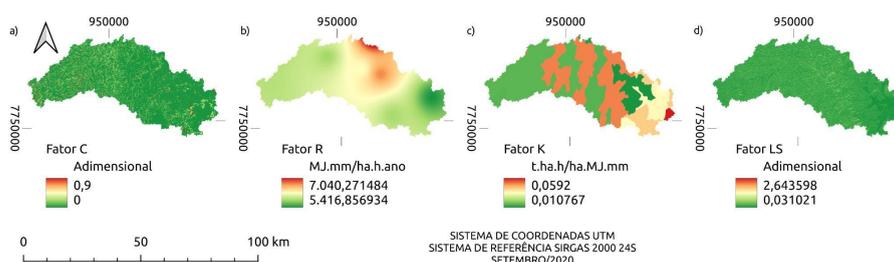


Figura 3 – a) Fator C de uso do solo; b) Fator R de erosividade da chuva; Fator K de erodibilidade do solo; fator LS de topografia (fonte: autoria própria).

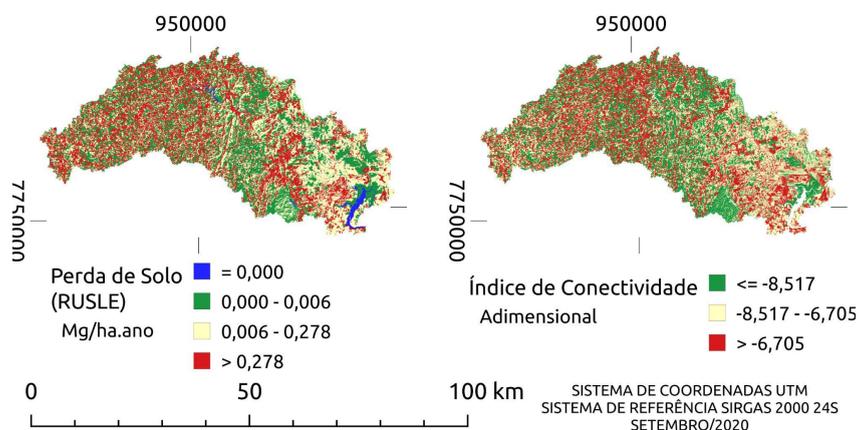


Figura 4 – a) RUSLE para a BHSMV; b) Índice de conectividade da BHSMV (fonte: autoria própria).

Os mapas ilustrados na Figura 4 sugerem que a PS na bacia possui relação com os locais onde os ICs são maiores. Entretanto, ressalta-se que em função das características geomorfológicas da bacia, a perda de solo é relativamente pequena e, por consequência, a quantidade de sedimentos que chega a rede de drenagem também. Assim, a análise da relação perda de solo/ conectividade foi feita qualitativamente, considerando três classes definidas a partir de quantis para cada mapa.

Com essa classificação, a comparação torna-se mais simples, podendo-se aferir que nos locais onde a perda de solo é maior, maior também a chance do sedimento chegar ao canal, ou seja, maior é a conectividade lateral dos sedimentos. Ao observarmos os locais onde a perda de



XV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS

03 a 06 de outubro de 2022
Campo Grande/MS

Promoção:
ABRHidro
Associação Brasileira de Recursos Hídricos

solo é menor, a mesma relação direta pode ser observada, ou seja, nos locais de menor perda de solo há também baixos índices de conectividade lateral.

4 - CONCLUSÃO

O presente trabalho relacionou a conectividade lateral dos sedimentos com a perda de solo estimada pela RUSLE na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória. Os resultados mostram que na BHSMV o índice de conectividade possui uma relação direta com a perda de solo, ou seja, em locais onde há maior perda de solo, as chances do sedimento chegar à rede de drenagem são maiores, portanto, há maior uma conectividade lateral. Essa relação também foi observada em locais com menores taxas de perda de solo, para os quais a conectividade lateral também é menor. Recomenda-se que novos estudos possam ser feitos para entender a relação entre perda de solo e conectividade, bem como ampliar a análise em outras bacias, em casos, por exemplo, onde haja alta produção de sedimentos, mas baixa conectividade.

BIBLIOGRAFIA

- AKSOY, H.; KAVVAS, M. L. (2005). *A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models*. Catena, n. 64, p. 247-271.
- BORSELLI, L.; CASSI, P.; TORRI, D. (2008). *Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: a GIS and field numerical assessment*. Catena, v.75, p. 268 – 277.
- BRACKEN, L. J.; TURNBULL, L.; WAINWRIGHT, J.; BOGAART, P. (2015) *Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales*. Earth Surf. Process. Landforms, v. 40, p. 177–188.
- BRASCAN. (2018). *Diagnóstico Ambiental. Cap. IV. Soma: Soluções em Meio Ambiente*.
- BRITO, E. (2014). *Estimativa da produção de sedimentos da bacia do rio santa maria da Vitória – espírito santo através do modelo matemático Soil and Water Assessment Tool (SWAT)*. (Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo).
- CARVALHO JUNIOR, W. D.; CHAGAS, C. D. S.; CALDERANO FILHO, B.; BHERING, S. B.; DONAGEMMA, G. K.; CALDERANO, S. B.; ... & PEREIRA, N. R. (2013). *Zoneamento agroecológico do Município de Bom Jardim, região serrana do Estado do Rio de Janeiro*. Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E).
- CAVALLI, M., TREVISANI, S., COMITI, F., & MARCHI, L. (2013). *Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments*. Geomorphology, 188, 31-41.
- CUNHA, A. de M.; FEITOZA, H. N.; FEITOZA, L. R.; OLIVEIRA, F. S. de.; LANI, J. L.; CARDOSO, J. K. F.; TRINDADE, F. S. (2016). *Atualização da legenda do mapa de reconhecimento de solos do Estado do Espírito Santo e implementação de interface no Geobases para uso de dados em*



XV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS

03 a 06 de outubro de 2022
Campo Grande/MS

Promoção:
ABRHidro
Associação Brasileira de Recursos Hídricos

- SIG. Geografares, Vitória, v. 2, n. 22, p. 32 a 65, jul.- dez.
- DESMET, P. J. J., & GOVERS, G. (1996). *A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. Journal of soil and water conservation*, 51(5), 427-433.
- FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. (1981). *Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI metric units. Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 36, n. 6, p. 355-359.
- FRYIRS, K. (2013). *(Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. Earth Surface Processes and Landforms*, v.38, p. 30 – 46.
- INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - IEMA (2016). *Mapeamento ES - Uso e Cobertura do solo*. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/links-para-mapas1215>.
- HECKMANN, T., CAVALLI, M., CERDAN, O., FOERSTER, S., JAVAUX, M., LODE, E., ... & BRARDINONI, F. (2018). *Indices of sediment connectivity: opportunities, challenges and limitations. Earth-Science Reviews*, 187, 77-108.
- LOBO, I. A. (2022). *Perda de solo por escoamento superficial: uma abordagem retrospectiva para uma bacia hidrográfica na região metropolitana da grande vitória* (Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo)
- 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(5), 1571-1576.
- MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A., JAKEMAN, A. J. (2003). *A review of erosion and sediment transport models. Environmental Modelling & Software*, n. 18, p. 761-799.
- RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A., MCCOOL, D. K., & YODER, D. C. (1997). *RUSLE User Guide. In Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Washington, DC: US Government Printing Office. 703.
- ROCHA, G. C. D. (2013). *Aplicação da estimativa espaço-temporal da tolerância à perda de solo no planejamento do uso da terra* (Tese de doutorado, Universidade de São Paulo).
- SILVA, A. L. M. S. (2014). *Reconstituição das vazões naturais a jusante das pequenas centrais hidrelétricas rio Bonito e Suíça: rio Santa Maria da Vitória (ES)* (Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo).
- SILVA, S. A.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M.; FARIA, J. S. (2007). *Estimativa da erosividade das chuvas (R) para o estado do Espírito Santo* in Anais do XI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba.
- WISCHMEIER, H; SMITH, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses. Agriculture Handbook*, USDA.