

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITACOLOMI, CEARÁ, BRASIL

SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL LOSS IN THE ITACOLOMI RIVER HYDROGRAPHIC BASIN, CEARÁ, BRAZIL

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PÉRDIDA DE SUELO EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RÍO ITACOLOMI, CEARÁ, BRASIL

Ulisses Costa de Oliveira¹

Willian Richard de Souza Cidral²

Izaias de Souza Silva³

Jaqueline Pereira Evangelista⁴

RESUMO: A determinação da perda superficial dos solos representa uma informação importante no planejamento territorial. O processo de erosão laminar advém de agentes naturais, como a topografia, a chuva e a tipologia de solos, intensificados pela ação antrópica. A Equação Universal de Perda dos Solos (EUPS/USLE), aplicada em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permite estimar a erosão em variadas condições e cenários de uso da terra. Todos os fatores da EUPS foram gerados de forma distribuída utilizando a plataforma SIG. Os mapas foram multiplicados no ambiente SIG para estimar as taxas de erosão do solo. O presente estudo objetiva realizar o mapeamento e análise qualitativa da susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do rio Itacolomi (BHRI), Ceará, Brasil, em 2020, aplicando-se o modelo matemático da USLE, com o auxílio do software QGIS. O mapa de estimativa de perda anual de solo por erosão laminar demonstrou taxas de erosão de 0 a 119 t.ha⁻¹.ano⁻¹, divididos em 6 classes de perda de solo. As classes predominantes de perda de solo foram de 0 a 1 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (92,51%), 1 a 3 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (22,8%) e 20 a 50 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (37,29%). A classe nenhuma ou ligeira perda de solo englobou 1018,84% da área da BHRI, correspondendo a 96,12% da área da bacia.

Palavras-chave: Perda de solo. Erosão hídrica. EUPS. Bacia hidrográfica.

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Ceará (UFC). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1367-2394>. E-mail: ucoliveira@msn.com

² Doutorando do Centro de Ciências Tecnológicas – Universidade do Estado de Santa Catarina (UESC). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1464-1207>. E-mail: willian.richard.cidral@gmail.com

³ Geógrafo e Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Estadual de Goiás (UEG). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0977-2002>. E-mail: izaiasdesouzasilvaa@gmail.com

⁴ Geógrafa e Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade de Brasília (UNB). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0809-3454>. E-mail: jaquelineevangelista@gmail.com

ABSTRACT: The determination of surface loss of soils represents an important information in territorial planning. The process of laminar erosion comes from natural agents, such as topography, rainfall and soil typology, intensified by anthropic action. The Universal Soil Loss Equation (USLE), applied in Geographical Information Systems (GIS), allows estimating erosion in a variety of land use scenarios and conditions. All the USLE factors were generated in a distributed approach employing a GIS tool. The layers were multiplied in the GIS framework in order to predict soil erosion rates. This study sought to map and to perform a qualitative analysis of the erosive susceptibility of the Itacolomi river basin (IRB), Ceará, Brazil, in 2020. The USLE mathematical model was Applied using QGIS software. The map of annual estimation of soil loss due sheet erosion showed erosion rates from 0 to 119 t.ha⁻¹.year⁻¹, divided into six classes of soil loss. The predominant classes of soil loss were 0 to 1 .ha⁻¹.year⁻¹ (92,51%), 1 to 3 .ha⁻¹.year⁻¹ (22,8%) e 20 a 50 .ha⁻¹.year⁻¹ (37,29%). The class no or slight soil loss encompassed 1018.84% of the BIRB area, corresponding to 96.12% of the basin area.

Keywords: Soil loss. Water erosion. USLE. River basin.

RESUMEN: La determinación de la pérdida de suelo superficial representa información importante en la planificación territorial. El proceso de erosión laminar proviene de agentes naturales, como la topografía, la lluvia y la tipología del suelo, intensificados por la acción antrópica. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS/USLE), aplicada en Sistemas de Información Geográfica (SIG), permite estimar la erosión bajo diversas condiciones y escenarios de uso del suelo. Todos los factores EUPS se generaron de forma distribuida utilizando la plataforma GIS. Los mapas se multiplicaron en el entorno GIS para estimar las tasas de erosión del suelo. El presente estudio tiene como objetivo realizar el mapeo y análisis cualitativo de la susceptibilidad a la erosión de la cuenca del río Itacolomi (BHRI), Ceará, Brasil, en 2020, aplicando el modelo matemático USLE, con la ayuda del software QGIS. El mapa de estimación de pérdida anual de suelo por erosión laminar mostró tasas de erosión de 0 a 119 t.ha⁻¹.año⁻¹, divididas en 6 clases de pérdida de suelo. Las clases de pérdida de suelo predominantes fueron 0 a 1 t.ha⁻¹.año⁻¹ (92,51%), 1 a 3 t.ha⁻¹.año⁻¹ (22,8%) y 20 a 50 t.ha⁻¹.año⁻¹ (37,29%). La clase pérdida de suelo nula o leve abarcó el 1018,84% del área de la BHRI, lo que corresponde al 96,12% del área de la cuenca.

Palabras clave: Pérdida de suelo. Erosión hídrica. EUPS. Cuenca hidrográfica.

INTRODUÇÃO

A erosão dos solos constitui um processo complexo e altamente prejudicial aos ecossistemas, compreendendo um dos principais desafios socioambientais a ser suplantado (FAO, 2015; MONTANARELLA *et al.*, 2016). Consoante a Mortari (1994), a intensidade

e frequência dos processos erosivos estão associadas a diversos fatores ambientais, entre os quais se destacam as condições e características inerentes ao próprio solo, a geomorfologia e ao clima, este último, com ênfase nos eventos climáticos extremos; assim como fatores econômicos e sociais, citando o exemplo do crescimento populacional e sua estreita relação com a dinâmica da cobertura e uso da terra, isto é, as transformações das paisagens e, de igual forma, à dinâmica de áreas agrícolas, onde a ausência de práticas conservacionistas pode contribuir diretamente no processo (GOMES *et al.*, 2019).

Além de causar sérios danos à dinâmica das paisagens e mudanças no ciclo hidrológico, com a consequente alteração dos ecossistemas aquáticos; a erosão dos solos está fortemente relacionada à redução do potencial produtivo em áreas agrícolas e, portanto, à segurança alimentar, considerando que parte significativa dos alimentos produzidos e consumidos nas diferentes partes do mundo dependem diretamente dos solos (IKPONMWOSA *et al.*, 2016). Na região Nordeste do Brasil, particularmente, além destes impactos, soma-se ainda de maneira direta o impacto sob as mudanças no clima, em escalas diversas, a erosão dos solos pode contribuir significativamente no aumento de áreas altamente suscetíveis à desertificação (LEMOS, 2001).

Frente a esses aspectos, afim de estimar a perda de solos nos mais diferentes contextos, historicamente, diversos modelos matemáticos e computacionais tem sido implementados, dentre os quais se destacam a *Universal Soil Loss Equation (USLE)*, *Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, *European Soil Erosion Model (EUROSEM)*, *Soil and Water Assessment Tool (SWAT)*, entre outros, tendo em vista suas especificidades teórico-metodológicas. No presente estudo, empregou-se a *Universal Soil Loss Equation (USLE)* (WISCHMEIER e SMITH, 1965, 1978), no mapeamento da erosão do solo na bacia hidrográfica do rio Itacolomi, situada no estado do Ceará, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Rio Itacolomi (BHRI), com área de aproximadamente 1.060 km², pertencente à região hidrográfica do rio Coreau, inserida na porção norte do estado, na macrorregião Noroeste Cearense, compreendendo os municípios de Uruoca, Granja, Tianguá e Viçosa do Ceará (Figura 1), entre as coordenadas geográficas 3°16'33.75"S / 41°9'40.29"O e 3°49'53.98"S / 40°48'32.05"O.

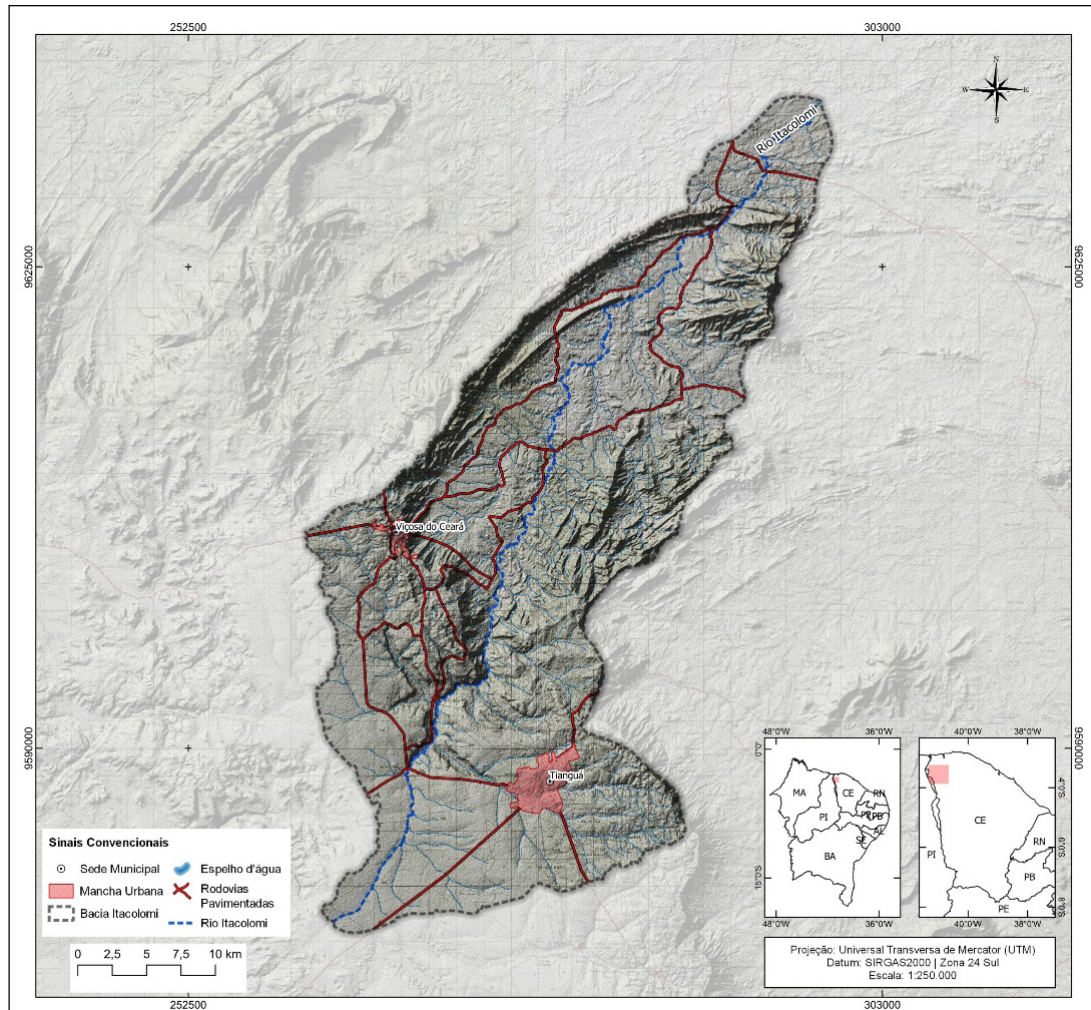


Figura 1. Localização da BHRI.

De acordo com Guimarães (2020), a área da BHRI localiza-se no domínio de clima semiárido, com período chuvoso irregular e um período seco prolongado, abrangendo dois tipos climáticos: Tropical Quente Semiárido e Tropical Quente Subúmido. Assenta-se sobre duas morfoesculturas bastante distintas: Depressão Sertaneja e Planalto da Ibiapaba. No contexto dos domínios morfoesculturais, identificam-se quatro unidades geomorfológicas: Depressão Sertaneja, Planície Fluvial, Serras Subúmidas e Planalto da Ibiapaba. Quanto à fitoecologia, na área ocorrem as seguintes unidades fitoecológicas: Caatinga Arbustiva Aberta; Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea); Carrasco; Complexo Vegetacional da Zona Litorânea; Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca); e Floresta Subperenifólia Tropical Plúvio Nebular (Mata Úmida). No tocante à pedologia, os principais solos encontrados na Bacia Hidrográfica do Rio Itacolomi (BHRI) por área de abrangência: Argissolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelhos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Litólicos e Planossolos Nátricos.

Para quantificar a perda de solo foi utilizada a *Universal Soil Loss Equation (USLE)* definida pela equação: $A=R*K*L*S*C*P$, onde A= estimativa de perda de solo (t ha⁻¹

ano⁻¹); R= erosividade da chuva (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹); K= erodibilidade do solo (t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹); L= comprimento de rampa (adimensional); S= declividade (adimensional); C= uso e manejo do solo (adimensional); e P= práticas conservacionistas (adimensional). Nesse sentido, foram confeccionados cinco mapas, correspondendo aos fatores citados.

Metodologicamente, o presente artigo foi estruturado em duas etapas, a saber: (a) obtenção e preparação dos dados e (b) determinação e espacialização dos fatores que compõem a estimativa de perda de solo. A aquisição dos dados espaciais utilizados na presente pesquisa ocorreu conforme a seguir: os dados de pedologia foram adquiridos da Fundação Cearense de Meteorologia – FUNCEME; o modelo digital de elevação ALOS/PALSAR foi adquirido gratuitamente da Agência Japonesa e Exploração Aeroespacial – JAXA; os dados de uso e cobertura da terra foram adquiridos do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas); os dados de precipitação foram adquiridos a partir do portal hidrológico da Fundação Cearense de Meteorologia – FUNCEME. A determinação de cada fator desenvolveu-se conforme exposto a seguir:

Fator R (Erosividade da Chuva)

O Fator R expressa a capacidade da chuva em provocar erosão em uma área sem proteção (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). Para o cálculo do fator R foi utilizado o índice de Fournier (1960), proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), através do qual obtém-se inicialmente a média mensal do índice de erosão e, então, as médias são acumuladas para gerar o fator de erosividade, por meio da Equação 1.

$$EI = 67,355 * \left(\frac{p^2}{P} \right)^{0,85} \quad (1)$$

Onde: EI=média mensal do índice de erosão (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹); r=precipitação média mensal (mm); P=precipitação média anual (mm); i=índice de meses; e R=erosividade.

Os dados utilizados foram oriundos das estações pluviométricas da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, totalizando 27 estações, listadas na Tabela 1, contendo o código, nome da estação, localização, altitude e período de anos de observação, compreendendo um total de 23 anos. Wischmeier & Smith (1978) ponderam que uma série entre 10 e 20 anos seja suficiente para se obter um fator R confiável. Cassol et al. (2008) estimam que sejam necessários no mínimo 20 anos de coleta de dados. Com os dados levantados, foi possível caracterizar as séries visando subsidiar o estudo de erosividade e a espacialização do fator R na bacia estudada.

Tabela 1. Localização dos postos pluviométricos utilizados no trabalho.

Postos	Latitude	Longitude	Altitude	Período
Marco	-3,1202	-40,1463	19 m	1995 - 2018
Ibiapina	-3,9166	-40,8884	868 m	1995 - 2018
Ubajara	-3,8534	-40,9226	852 m	1995 - 2018
Tianguá	-3,7231	-40,9937	805 m	1995 - 2018
Viçosa do Ceará	-3,5683	-41,0946	709 m	1995 - 2018
São Benedito	-4,0463	-40,8666	907 m	1995 - 2018
Meruoca	-3,5476	-40,4512	756 m	1995 - 2018
Frecheirinha	-3,7590	-40,8101	118 m	1995 - 2018
Cariré	-3,9485	-40,4749	151 m	1995 - 2018
Mucambo	-3,9057	-40,7433	171 m	1995 - 2018
Chaval	-3,0363	-41,2399	573 m	1995 - 2018
Pacujá	-3,9784	-40,6954	140 m	1995 - 2018
Camocim	-2,9000	-40,8450	11 m	1995 - 2018
Martinopole	-3,2179	-40,6998	85 m	1995 - 2018
Uruoca	-3,3154	-40,5603	87 m	1995 - 2018
Barroquinha	-3,0238	-41,1293	29 m	1995 - 2018
Coreaú	-3,5501	-40,6575	74 m	1995 - 2018
Granja	-3,1241	-40,8315	16 m	1995 - 2018
Massapê	-3,5221	-40,3444	82 m	1995 - 2018
Santana Do Acaraú	-3,4581	-40,2100	45 m	1995 - 2018
Senador Sá	-3,3514	-40,4634	87 m	1995 - 2018
Alcântaras	-3,5854	-40,5442	656 m	1995 - 2018
Cruz	-2,9305	-40,1811	27 m	1995 - 2018
Groaíras	-3,9141	-40,3834	95 m	1995 - 2018
Sítio Faveira	-4,0529	-40,9631	787 m	1995 - 2018
Moraújo	-3,4669	-40,6779	69 m	1995 - 2018
Pindoguaba	-3,7500	-41,1408	621 m	1995 - 2018

Foram acumulados os dados diários de precipitação pluviométrica da série compreendida entre 1995 e 2018. A precipitação mensal foi estimada a partir do somatório das precipitações diárias que ocorreram em determinado mês, compreendido em um ano qualquer do período, tendo a precipitação anual seguido a mesma forma de obtenção, para isso, utilizando-se o somatório dos totais mensais para todos os anos das séries.

Fator K (Erodibilidade do Solo)

Os valores de erodibilidade do solo foram obtidos a partir de dados constantes da literatura existentes, tomando-se como referencial dos trabalhos de Morais e Sales (2017) e Caldas et al. (2019). Os dados vetoriais de pedologia tiveram os valores de erodibilidade do solo lançados na tabela de atributos e, em seguida, especializados na área estudada. A Tabela 2 mostra os valores de K adotados.

Tabela 2. Valores de K adotados.

ID	Solo	K	Referência
1	Neossolo Flúvico	0,03660	Morais & Sales, 2017
2	Planossolo Háptico	0,04300	Caldas et al, 2019
3	Gleissolo Sáfico	0,21900	Morais & Sales, 2017
4	Neossolo Litólico	0,03620	Morais & Sales, 2017
5	Argissolo Vermelho-Amarelo	0,05920	Morais & Sales, 2017
6	Planossolo Nátrico	0,02190	Morais & Sales, 2017
7	Latossolo Amarelo	0,02770	Morais & Sales, 2017
8	Latossolo Vermelho	0,01500	Caldas et al, 2019
9	Luvisolo Crômico	0,03840	Morais & Sales, 2017
10	Neossolo Quartzarênico	0,48700	Caldas et al, 2019

Fonte: Morais e Sales (2017) e Caldas et al. (2019).

Fator Topográfico (LS)

O fator LS foi obtidos através do produto entre o fator L (comprimento de rampa) e o fator S (declividade). De acordo com Nisar et al. (2000), o efeito do comprimento do declive e seu gradiente na intensidade do processo erosivo (fator topo gráfico LS) pode ser determinado com auxílio de um SIG e em escala de bacias hidrográficas aplicandose o modelo digital de elevação combinado a algoritmos para obtenção do comprimento e da declividade de forma distribuída. No presente estudo, foi utilizado o método proposto por Engel (2003), adaptado para o software QGIS, no qual utilizase o procedimento de cálculo do fator LS proposto por Moore e Bruch (1986), sendo representado pela Equação 2:

$$LS = \left(FA \left(\frac{cs}{22,13} \right) \right)^{0,4} \times \left(\frac{\text{sen}(S)}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (2)$$

Onde, FA=acúmulo de fluxo ou área de contribuição, CS=tamanho da célula do modelo digital de elevação, correspondente a 30 metros de resolução espacial da imagem de acúmulo de fluxo, e S=declividade em radianos calculada para cada pixel.

Fator CP

Para estimativa do fator CP utilizam-se valores relativos ao tipo de ocupação e do porte da cobertura vegetal. Para estimativa do fator CP foram utilizados os trabalhos de Barbosa et al, 2015; Carneiro, 2019; Pasquatto & Tomazoni, 2016. A Tabela 3 mostra os valores de CP utilizados na presente pesquisa.

Tabela 3. Valores de CP adotados.

Uso/Cobertura	CP	Referência
Formação Florestal	0,00040	Barbosa et al, 2015
Formação Savânica	0,00070	Carneiro, 2019
Formação Campestre	0,25000	Barbosa et al, 2015
Pastagem	0,01000	Barbosa et al, 2015
Agricultura	0,25000	Carneiro, 2019
Infraestrutura Urbana	0,06880	Pasquatto & Tomazoni, 2016
Solo Exposto	1,00000	Barbosa et al, 2015
Afloramento Rochoso	0,00100	Pasquatto & Tomazoni, 2016
Água	0,00000	Barbosa et al, 2015

Fonte: Barbosa et al (2015); Carneiro (2019); Pasquatto & Tomazoni (2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a espacialização dos fatores R, K, LS e CP. Em relação ao Fator R (erosividade da chuva) para a bacia estudada, tem-se que os valores máximo e mínimo totalizam 8.916 e 4.865 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente. De acordo com a classificação proposta por Carvalho (2010), a bacia abrange classes de erosividade média a alta.

A área da BHRI compreende seis classes pedológicas abrangendo uma área de 1.060 km². As classes mais representativas na bacia são Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho totalizando 411,36 km² (38%). Os Argissolos Vermelho-Amarelos compreendem 31% da área total da bacia, somando 329,29 km². Os Neossolos Litólicos e Planossolos Nátricos abrangem 277,41 km² (26%) da BHRI. Por fim, a classe de solos Neossolos Flúvicos abrange 4% da área (42,93 km²).

Os maiores valores de K correspondem aos solos Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho. 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.

No tocante ao Fator LS, está associado ao comprimento da vertente e declividade. Nota-se que a maior parte da bacia possui baixos valores, associados às áreas de planícies. Os locais com declive mais acentuado possuem maiores valores, resultando em maior potencial erosivo, como pode ser observado na Figura 2.

Quanto ao fator uso do solo e práticas conservacionistas, verifica-se que os menores valores, com exceção dos valores de zero associados a corpos hídricos e áreas úmidas, estão associados a áreas com uso e cobertura por vegetação mais densa, permitindo uma maior proteção do solo em razão da ocorrência de vegetação. Já as áreas com maiores valores de CP estão associadas às classes de uso que representam pouca ou nenhuma cobertura vegetal, como por exemplo áreas urbanizadas e solo exposto, portanto, estando mais suscetível à perda de solo.

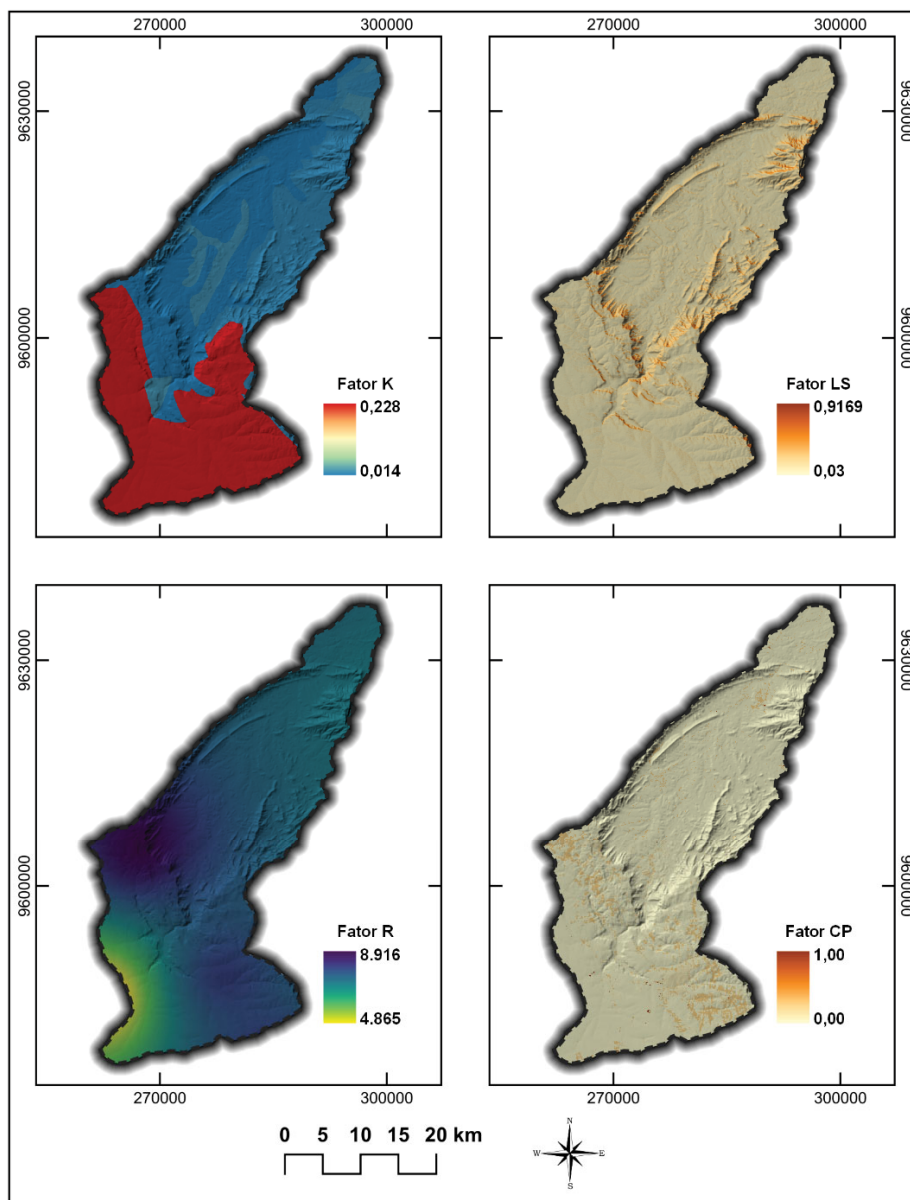


Figura 2. Espacialização dos fatores K, LS, R e CP para a BHRI.

A Figura 3 mostra o resultado obtido a partir da álgebra de mapas realizada a partir da aplicação da USLE representando a perda de solo na BHRI, em toneladas por ano. Ressalta-se que, em razão das limitações da USLE, os valores estimados não devem ser tomados quantitativamente, devendo apenas ser avaliados qualitativamente no tocante ao potencial das áreas de perder solo por erosão hídrica laminar (STEIN et al., 1987).

Os valores de perda de solo chegam a até 119,87 ton/ha.ano. A Tabela 4 mostra o quantitativo de perda de solo em ton/ha.ano classificado segundo Beskow et. al., (2009), mostrando que a faixa de perda entre 0 e 2,5 ton/ha.ano prevalece com 93,8% de toda a área.

As áreas que apresentam maiores valores de erosão maiores do que 20 ton/ha.ano, caracterizada como moderada a alta, são as mesmas que apresentam os maiores valores de CP associados aos valores mais altos de erosividade (fator R).

Tabela 4. Intervalos de perda de solo na BHRI, segundo FAO (1967).

Perdas de solo (t.ha-1 ano-1)	Área (km²)	Classes
0 - 1	971,72	Nenhuma ou ligeira
1 - 3	25,92	Nenhuma ou ligeira
3 - 5	5,49	Nenhuma ou ligeira
5 - 10	6,79	Nenhuma ou ligeira
10 - 20	3,74	Moderada
20 - 50	33,55	Moderada
50 - 200	12,72	Alta
> 200	0,08	Muito Alta

Fonte: Elaborado pelos autores.

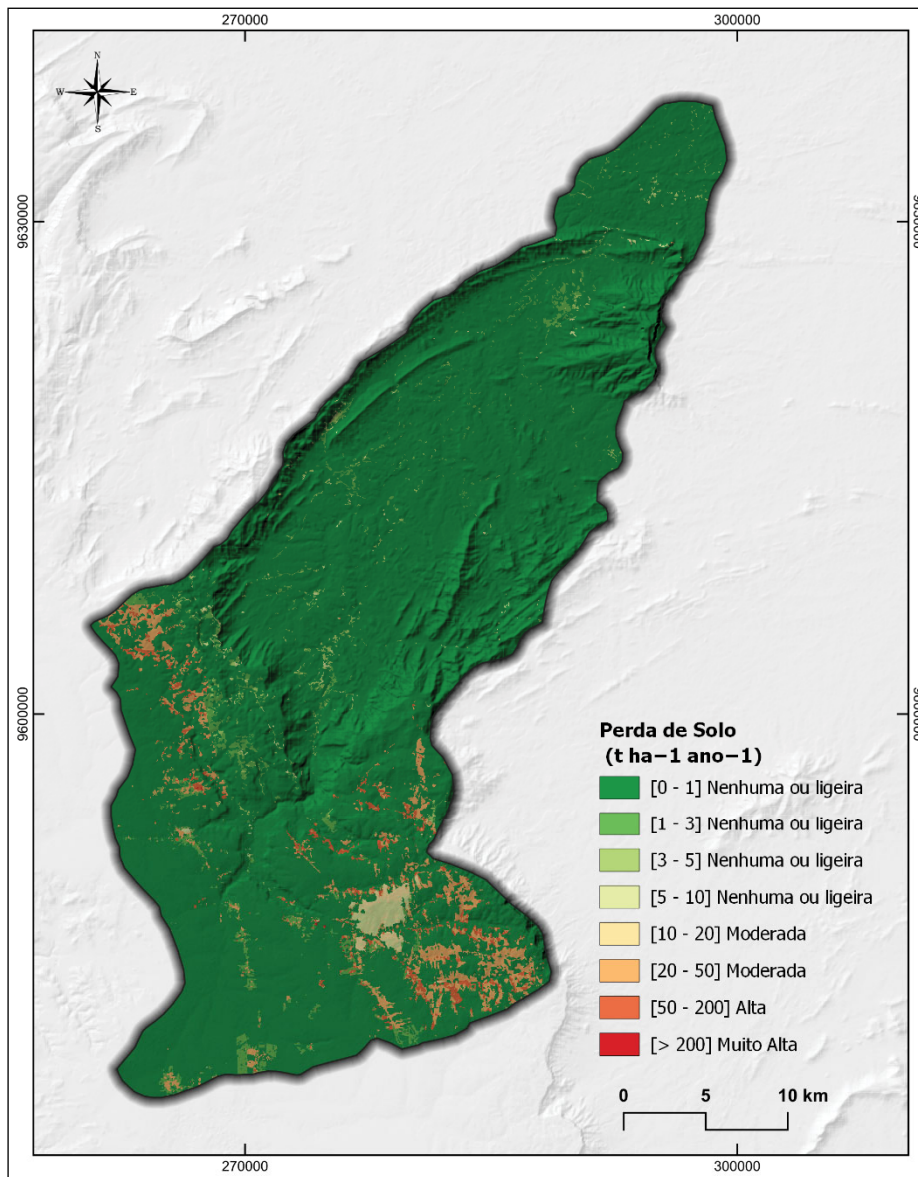


Figura 3. Mapa da distribuição espacial da perda de solos anual na BHRI.

CONCLUSÕES

A utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) por erosão laminar demonstrou-se bastante eficaz. Porém, com vistas a ser obter uma maior confiabilidade dos resultados obtidos neste estudo, é de suma importância a aplicação de métodos diretos e conferência de campo, bem como de uma classificação mais detalhada das tipologias de solo da bacia hidrográfica do rio Itacolomi.

Em relação à perda de solo, 96,11% da superfície da BHRI apresentou nenhuma ou ligeira perda média anual de solo. O alto percentual de vegetação nativa na área foi o fator responsável pela manutenção das taxas de erosão entre 0 a 10 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

REFERÊNCIAS

- AHAMED, T.R.; GOPAL RAO, K.; MURTHY, J.S.R. Fuzzy class membership approach to soil erosion modeling. **Agricultural Systems**, v. 63, n. 2, p. 97-110, 2000. DOI: <[https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(99\)00066-9](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(99)00066-9)>.
- BARBOSA A.F.; OLIVEIRA, E.F.; MIOTO, C.L.; PARANHOS FILHO, A.C. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 170–179, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_170_179>.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**, ícone. São Paulo, 335 p. 1990.
- BESKOW, S.; MELLO, C.R.; NORTON, L.D.; CURTI, N.; VIOLA, M.R.; AVANZI, L.C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **CATENA**, v. 79, n. 1, p. 49–59, 2009. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.010>>.
- CALDAS, V.I.S.P.; SILVA, A.S.; SANTOS, J.P.C. **Suscetibilidade a Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica Lagos** – São João, no Estado do Rio de Janeiro – Brasil, a partir do Método AHP e Análise Multicritério. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.12, n.04 (2019) 1415-1430.
- CARNEIRO, A.F.S. **Fragilidade Ambiental em Bacias Hidrográficas do Vão do Paranã – GO**. (Monografia). Universidade Federal de Goiás. Instituto de Estudos Socioambientais. Goiânia, GO. 2019.
- CARVALHO, E. M. et al. Utilização do geoprocessamento para avaliação de riscos de erosão do solo em uma bacia hidrográfica: estudo de caso da bacia do rio Passa Cinco/SP. In: **Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, 3, 2010, Recife. Anais. Recife, 2010. p. 1 - 8.
- CASSOL, E. S.; MARTINS, D.; ELTZ, F. L. F.; LIMA, V.S.; BUENOS, A. C. Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período de 1963 a 1993. **Rev. Bras. de Agrometeorologia**, v.15, p.220-231, 2007.
- ENGEL, B. (2003) **Estimating soil erosion using RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) using ArcView**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268419218_Estimating_soil_erosion_using_RUSLE_evised_Universal_Soil_Loss_Equaiton_using_ArcView>. Acesso em: 08 mar 2022.
- FAO and ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR)—Main Report; **Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils**: Rome, Italy, 2015.
- GOMES, L.; SIMÕES, S. J. C; DALLA NORA, E. L; DE SOUSA-NETO, E. R; FORTI, M. C; OMETTO, J. P. H. B. Agricultural Expansion in the Brazilian Cerrado: Increased Soil and Nutrient Losses and Decreased Agricultural Productivity. **Land**, v. 8, n. 12, p. 1-26, 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-445X/8/1/12>>. Acesso em: 12 Fev. 2020.
- GUIMARÃES, L.S. **Geoecologia das Paisagens**: aportes para o planejamento ambiental

na sub-bacia hidrográfica do rio Itacolomi, Ceará, Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Vale do Acaraú. Sobral, 2020.

IKPONMWOSA, D. I.; FRANCOIS, S. L.; WISEMAN, M. The Impact of Soil Erosion as a Food Security and Rural Livelihoods Risk in South Africa, **Journal of Agricultural Science**; v. 8, n. 8, p. 1-12, 2016. Disponível em: <<https://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/57441>>. Acesso em: 13 Jul. 2017.

LEMOS, J. J. S. Níveis de Degradação no Nordeste Brasileiro. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v.32, n. 3, 2001. p.406-429. Disponível em: <<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/32894>>. Acesso em: 24 Dez, 2021.

MONTANARELLA, L.; PENNOCK, D.J.; MCKENZIE, N.; BADRAOUI, M.; CHUDE, V.; BAPTISTA, I.; MAMO, T.; YEMEFACK, M.; AULAKH, M.S.; YAGI, K. World's soils are under threat. **Soil**, v. 2, p. 79–82, 2016. Disponível em: <<https://soil.copernicus.org/articles/2/79/2016/>>. Acessado em: 12 Mar. 2020.

MOORE, I.D. & BURCH, G.J. (1986) Modeling erosion and deposition: topographic effects. **Transactions of the American Society Agricultural and Biological Engineers**, v. 29, n. 6, p. 1624-1630.

MORAIS, R.C.S.; SALES, M.C.L. Estimativa do Potencial Natural de Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica. **Caderno de Geografia**, v.27, Número Especial 1, 2017.

MORTARI, D. **Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no Distrito Federal**. Brasília, 1994.

PARANHOS FILHO, A.C. 2000. **Análise geoambiental multitemporal: o estudo de caso da região de Coxim e da Bacia do Taquarizinho (MS – Brasil)**. Universidade Federal do Paraná, Tese de Doutorado, 213p.

PASQUATTO, M.C.; TOMAZONI, J.C. Estudo do processo erosivo laminar na bacia de captação do rio Barro Preto, em Coronel Vivida – PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V.9 N.02 (2016) 555-570.

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.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain**. Washington, DC: ARS/USDA, 1965.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: USDA, 1978. (Agriculture handbook, 537).