

ESTIMATIVA DO POTENCIAL NATURAL DE EROÇÃO DOS SOLOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LONGÁ, PIAUÍ, BRASIL

*Estimation of the natural erosion potential of soil in the Longá river
watershed, Piauí, Brazil.*

*Estimación del potencial natural de la erosión del suelo en la cuenca del río
Longá, Piauí, Brasil.*



Reurysson Chagas de Sousa MORAIS – Doutor e mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) com graduação em Geografia pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Professor do curso de Tecnologia em Geoprocessamento do Instituto Federal do Piauí (IFPI), campus Teresina. Teresinha, PI, Brasil. *ORCID ID:* <http://orcid.org/0000-0002-1334-4182> *URL:* <http://lattes.cnpq.br/9693291055100099>
EMAIL: reurysson@ifpi.edu.br

Antonio James Oliveira SILVA – Graduação em Tecnologia em Geoprocessamento e Tecnólogo em Geoprocessamento pelo Instituto Federal do Piauí (IFPI), Teresina, PI, Brasil. *ORCID ID:* <http://orcid.org/0000-0002-0722-7123>
URL: <http://lattes.cnpq.br/8520195621856824>
EMAIL: tecgeo.oliveirajames@gmail.com

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi estimar o Potencial Natural de Erosão dos solos da bacia hidrográfica do rio Longá, localizada no norte do estado do Piauí. Considerou-se os três parâmetros físicos da Equação Universal de Perdas de Solo: erosividade da chuva, erodibilidade dos solos e fator topográfico. A erosividade foi calculada a partir da série histórica de dados de precipitação estimada por satélite. Realizou-se o cálculo da erodibilidade com aplicação de equações empíricas utilizando dados de amostras de solos disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. O fator topográfico foi obtido por meio da programa LS-TOOLS, utilizando um modelo digital de elevação. Conclui-se que a bacia apresenta baixo potencial natural de erosão, com 72% de sua área com estimativa de erosão inferior a 200 t ha⁻¹ ano⁻¹. As regiões com alto potencial erosivo (PNE > 800 t ha⁻¹ ano⁻¹) encontram-se nos setores nordeste e sudeste da bacia e estão associadas a relevo declivoso. Os resultados identificaram o fator topográfico como o parâmetro de maior influência na ocorrência de processos erosivos na bacia.

Palavras-chave: Erodibilidade; Erosividade; Fator topográfico; Rio Longá.

Histórico do artigo

Recebido: 10 junho 2020

Aceito: 26 julho, 2020

Publicado: 31 agosto, 2020

ABSTRACT

The objective of this research was to estimate the Natural Erosion Potential of the soils of the Longá river watershed, located in the north of the state of Piauí. Three physical parameters of the Universal Soil Loss Equation were considered: rainfall erosivity, soil erodibility and topographic factor. The erosivity was calculated from the historical series of precipitation data estimated by satellite. A calculation of erodibility was made from the application of empirical equations using data of soil samples made available by the Brazilian Institute of Geography and Statistics. The topographic factor was obtained through the software LS-TOOLS, using a digital elevation model. It was concluded that the basin has low natural erosion potential, with 72% of its area with erosion estimation lower than 200 tons ac^{-1} year $^{-1}$. The regions with high erosive potential (NEP > 800 tons ac^{-1} year $^{-1}$) are situated in the northeast and southeast sections of the basin and are related to a slope terrain. The results identify the topographic factor as the parameter of greatest influence in the occurrence of erosive processes in the basin.

Keywords: Erodibility; Erosivity; Topographic fator; Longá River.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue estimar el potencial de erosión natural de los suelos de la cuenca del río Longá, ubicada en el norte del estado de Piauí. Se consideraron los tres parámetros físicos de la ecuación universal de pérdida de suelo: erosión por lluvia, erosión del suelo y factor topográfico. La erosividad se calculó a partir de la serie histórica de datos de precipitación estimados por satélite. El cálculo de la erosibilidad se realizó utilizando ecuaciones empíricas utilizando datos de muestras de suelo proporcionadas por el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística. El factor topográfico se obtuvo usando el programa LS-TOOLS, usando un modelo digital de elevación. Se concluye que la cuenca tiene un potencial de erosión natural bajo, con un 72% de su área con una erosión estimada por debajo de 200 t ha^{-1} año $^{-1}$. Las regiones con alto potencial erosivo (PNE > 800 t ha^{-1} año $^{-1}$) se encuentran en los sectores noreste y sureste de la cuenca y están asociadas con un relieve inclinado. Los resultados identifican el factor topográfico como el parámetro con mayor influencia en la ocurrencia de procesos de erosión en la cuenca.

Palabras-clave: Erosibilidad; Erosividad; Factor topográfico; Rio Longá.

1 INTRODUÇÃO

A erosão consiste no processo de desprendimento e arraste das partículas do solo por algum agente da natureza. Ao longo do tempo, diversas metodologias foram propostas para quantificar perdas de solo decorrentes de processos erosivos. Dentre as técnicas mais difundidas no meio científico, destaca-se a Equação Universal da Perda de Solo (EUPS), proposto por Wischmeier e Smith (1978).

Diversas pesquisas foram desenvolvidas no Brasil para se estimar a perda de solo através da EUPS, a exemplo do estudo desenvolvido no Paraná (MACIEL, 2000); na Bacia do Rio Ipojuca, em Pernambuco (Accioly, 2010); no Ribeirão de Feijão, em São Carlos (CAVALCANTE, 2013); e no Alto São Francisco (PASSOS et al., 2014).

A EUPS utiliza dados climáticos, pedológicos, geomorfológicos, de uso e ocupação da terra e tem como resultado a estimativa da perda de solo para uma determinada região

(RODRIGUES et al., 2015). A equação derivada da EUPS para o cálculo do Potencial Natural de Erosão do Solo (PNE) é constituída apenas pelos fatores naturais: (erodibilidade dos solos, erosividade das chuvas e o fator topográfico) e desconsidera os fatores relacionados às ações antrópicas, uso e manejo do solo e prática conservacionista.

Nos últimos anos as geotecnologias têm sido largamente empregadas na estimativa do PNE. Mello et al. (2006) avaliaram a variabilidade espacial do potencial natural de erosão em áreas de cultivo no interior do estado de São Paulo, usando modelagem geoestatística. Utilizando abordagem semelhante e apoiado no uso de Sistema de Informações Geográficas, Silva et al. (2011) calcularam o PNE para todo o território brasileiro. Moraes e Sales (2017) aplicaram a mesma metodologia para obtenção do PNE da bacia hidrográfica do Alto Gurguéia, no sul do estado do Piauí. Todos os trabalhos descritos reforçam a influência dos parâmetros do PNE na estimativa do potencial erosivo.

Localizada na região norte do estado do Piauí, a bacia hidrográfica do rio Longá (BHRL) recebe um expressivo volume de chuvas (1000 a 16000 mm ano⁻¹) em decorrência à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ABREU, MUTTI, LIMA; 2019). A associação entre altas taxas de precipitação, associada a ocorrências pontuais de áreas com relevo declivoso e a presença de solos frágeis conduz ao questionamento sobre qual o potencial natural de erosão da bacia.

Silva, Aquino, Oliveira (2016) pesquisaram a associação entre parâmetros físicos ambientais da sub-bacia do alto curso do rio Longá, concluíram que a área apresenta risco moderado (56%) a alto (21,2%) de degradação física, com marcante presença de solo expostos e feições erosivas.

Medeiros, Silva e Lins (2018) avaliaram a qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Longá durante o ano de 2015 e identificaram que condutividade elétrica e turbidez são responsáveis pela deterioração da qualidade da água, sobretudo durante o período chuvoso, quando a poluição difusa sobre áreas agrícolas carrega grande quantidade de partículas sólidas para o rio. Para os autores, esta condição está associada a fatores ambientais, especialmente a composição geológica da bacia.

Fundamentado nos trabalhos descritos, parte-se da hipótese de que as associações entre fatores climáticos, pedológicos e topográficos condicionam a BHRL a apresentar elevado potencial erosivo. Neste contexto, o presente trabalho buscou estimar o potencial natural de erosão do solo da Bacia hidrográfica do rio Longá, a partir dos parâmetros físicos da EUPS, apoiado por ferramentas de geoprocessamento. Os resultados apresentados têm potencial para subsidiar o desenvolvimento de proposta de

uso e conservação das terras da bacia e suscitar pesquisa futuras ao identificar parâmetros que mais influenciam na condição natural de erosão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A erosão pode ser considerada como um conjunto de processos nos quais os materiais da crosta terrestre são degradados, dissolvidos desgastados e transportados de um ponto a outro por seus agentes erosivos (BASTOS, 1999). Para Eduardo (2012), esse processo de desgaste do solo pode ser de origem geológica e antrópica. Quando o processo erosivo ocorre de forma natural, dois agentes principais atuam na transformação da superfície: a água da chuva (erosão hídrica) e o vento (erosão eólica).

A erosão hídrica é o processo de desprendimento e arraste acelerado de partículas do solo causados pela água. O escoamento hídrico superficial transporta os sedimentos através das vertentes até atingir corpos d'água de maior porte, resultando na diminuição da profundidade destes canais, alternando assim a dinâmica fluvial (COSTA, 2005). Esse processo ocorre em função de uma série de variáveis e mecanismos que envolvem fatores climáticos, topográficos e relativos à cobertura do solo.

A ação erosiva da chuva é ainda mais expressiva quando ocorre a remoção da cobertura do solo (GUTH, 2010). Por ser seletiva, a erosão hídrica transporta com maior facilidade sedimentos de menor diâmetro, mais fino e de menor densidade, basicamente coloides minerais e orgânicos, normalmente enriquecidos de elementos minerais (BERTOL et al., 2007).

Santos et al. (2010) argumentam que o arraste de partículas da camada superior do solo reduz sua espessura, diminui a capacidade de retenção e aumenta o escoamento superficial, conseqüentemente, aumenta as taxas de erosão do solo.

Altas taxas de erosão do solo podem representar grandes problemas ambientais e econômicos (ALVES et al., 2005). Diversos estudos sugerem a erosão hídrica como o tipo de erosão que mais afeta a produtividade do solo (MONTGOMERY, 2007; SILVA et al., 2009; CORRÊA; PINTO, 2012).

A necessidade de conhecer e prever a magnitude dos processos erosivos levaram pesquisadores a desenvolver métodos empíricos de quantificação com base em parâmetros físicos e ambientais. A mais conhecida dessas metodologias é a Universal de Perdas de Solos (EUPS), apresentada por Wischmeier e Smith (1978). Outra metodologia bastante utilizada é o Potencial Natural de Erosão (PNE), uma variação da EUPS,

constituída pelos fatores físicos que influenciam os processos erosivos (erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos e fator topográfico), desconsiderando a ação antrópica representada pelo fator C e P da EUPS.

A erosividade das chuvas (Fator R) é o índice quantitativo do potencial das chuvas de provocar erosão hídrica em uma determinada área (COGO et al., 2003). Maciel (2000) afirma que este parâmetro representa numericamente a força da chuva e do escoamento. Para Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), o Fator R refere-se à perda esperada de solo em uma determinada área completamente desprovida de cobertura de solo e resíduos vegetais, sob condições de chuva.

A erodibilidade dos solos é a propriedade que representa a capacidade de regular a infiltração de água no solo, degradação, desprendimento e arraste em razão da força das chuvas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014). Essas propriedades estão relacionadas a diversos parâmetros biológicos, mineralógicos e físico-químicos do solo.

A influência exercida pela topografia no processo erosivo é avaliada considerando a ação conjunta da declividade (fator S) com o comprimento da encosta (fator L), definida como fator topográfico (fator LS). O fator LS expressa a relação entre a perda de solo sob certa condição de declividade e comprimento de encosta (MORGAN, 2005).

Ao longo do tempo diversas metodologias foram propostas para se calcular os parâmetros que constituem o PNE, pois parte delas derivadas de produtos de sensoriamento remoto, como a erosividade calculada a partir da precipitação estimada por satélites (MORAIS; SALES, 2016), e o fator LS calculado a partir da declividade e comprimento de encosta obtido através de processamento de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) (ZHANG, et al., 2013). As ferramentas de análise espacial presentes nos SIG também impulsionaram as análises espaciais nas mais diferentes escalas de trabalho. A seguir é apresentada uma breve caracterização ambiental seguida da descrição das bases de dados e métodos de análise empregados na estimativa no PNE da BHRL.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

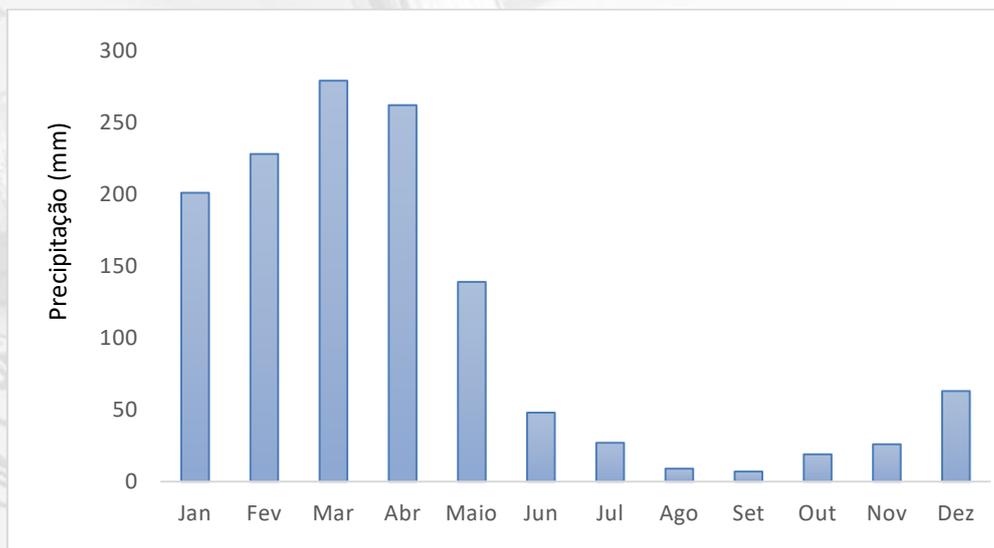
3.1 Área de estudo

A Bacia hidrográfica do rio Longá (BHRL) possui uma extensão territorial de 24.245 km² e tem 91% de sua área localizada na região norte do estado do PiauÍ e 9% no estado do Ceará (Figura 1). Apresenta altitude média de 188 metros, com elevação mínima de 9

220 metros de altitude (aproximadamente em $-5^{\circ}15'2''$ de latitude e $-42^{\circ}5'5''$ de longitude), e flui na direção norte. Tem como principais afluentes da margem esquerda os rios Corrente, Rios dos Matos e Piracuruca, ambos oriundos das áreas mais elevadas da bacia, situadas à nordeste e leste. Dentre os afluentes da margem direita destaca-se o rio Maratoã.

A bacia hidrográfica do rio Longá apresenta clima subúmido a subúmido seco, segundo a classificação de Thornthwaite e Mather, temperatura média anual de 28°C e 30°C e precipitação média anual variado de 900 mm a 1800 mm (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005). Os meses entre janeiro e maio correspondem ao período mais úmido da BHRL, registrando 84,8% do total das chuvas anuais, enquanto o período de agosto a novembro é caracterizado pela ocorrência de estiagem, conforme apresentado na figura 02.

Figura 02 – Precipitação média mensal da bacia hidrográfica do rio Longá.



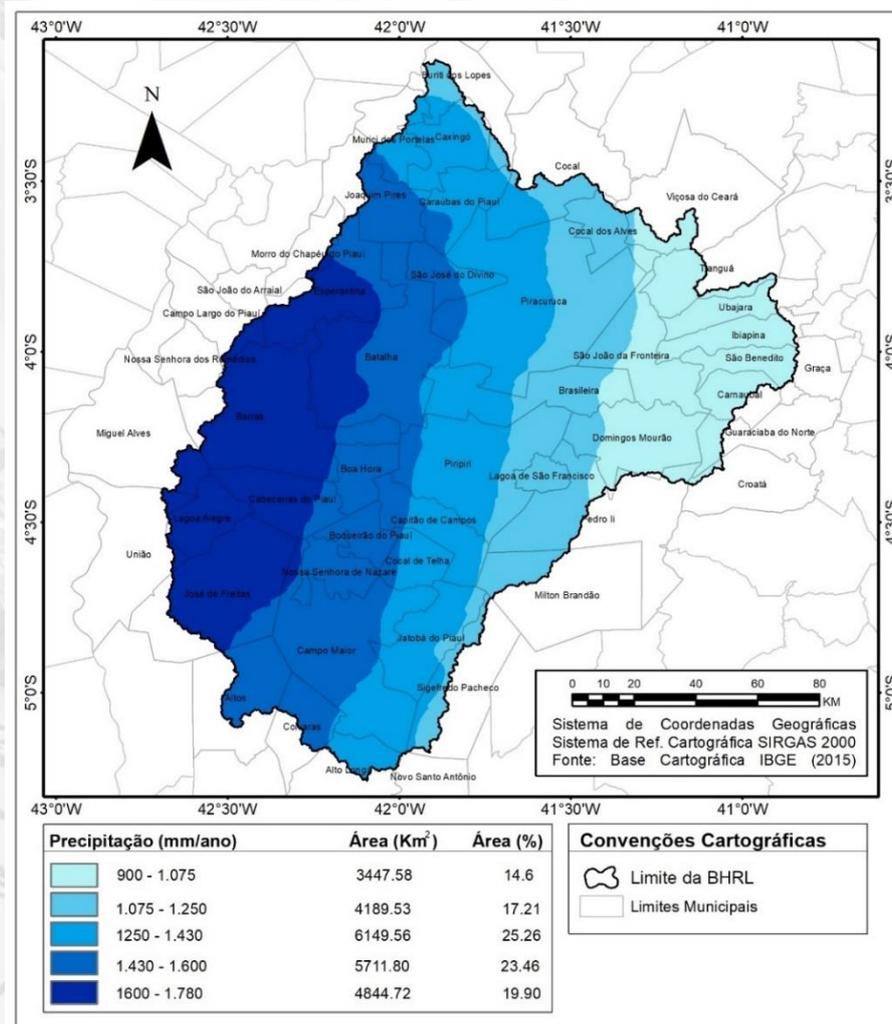
Fonte: Elaborado pelos autores (2020). Base de dados: Morais (2018).

A figura 03 mostra uma distribuição sazonal das chuvas na BHRL, obtida a partir do banco de dados de precipitação estimado por satélite organizado por Morais (2018). Observa-se que a precipitação média anual da BHRL apresenta uma tendência no sentido leste-oeste, com precipitações médias variando de 900 e 1780 mm ano^{-1} e média geral de 1368 mm ano^{-1} .

Dentre as diversas classes pedológicas que compõem a área da BHRL, predominam os seguintes tipos de solos: Neossolos Quartzarênico Órtico – RQo, Plintossolos Argilúvico Distrófico – FTd, Neossolo Litólico Distrófico – RLd e o Latossolo Amarelo Distrófico – LAd, estas classes de solo, com exceção do RLd, localizam-se em

áreas planas; enquanto a classe de solo RLd ocorre nas regiões com maiores declividades. A distribuição das classes de solo na BHRL, bem como a extensão de ocorrência está representada na figura 04.

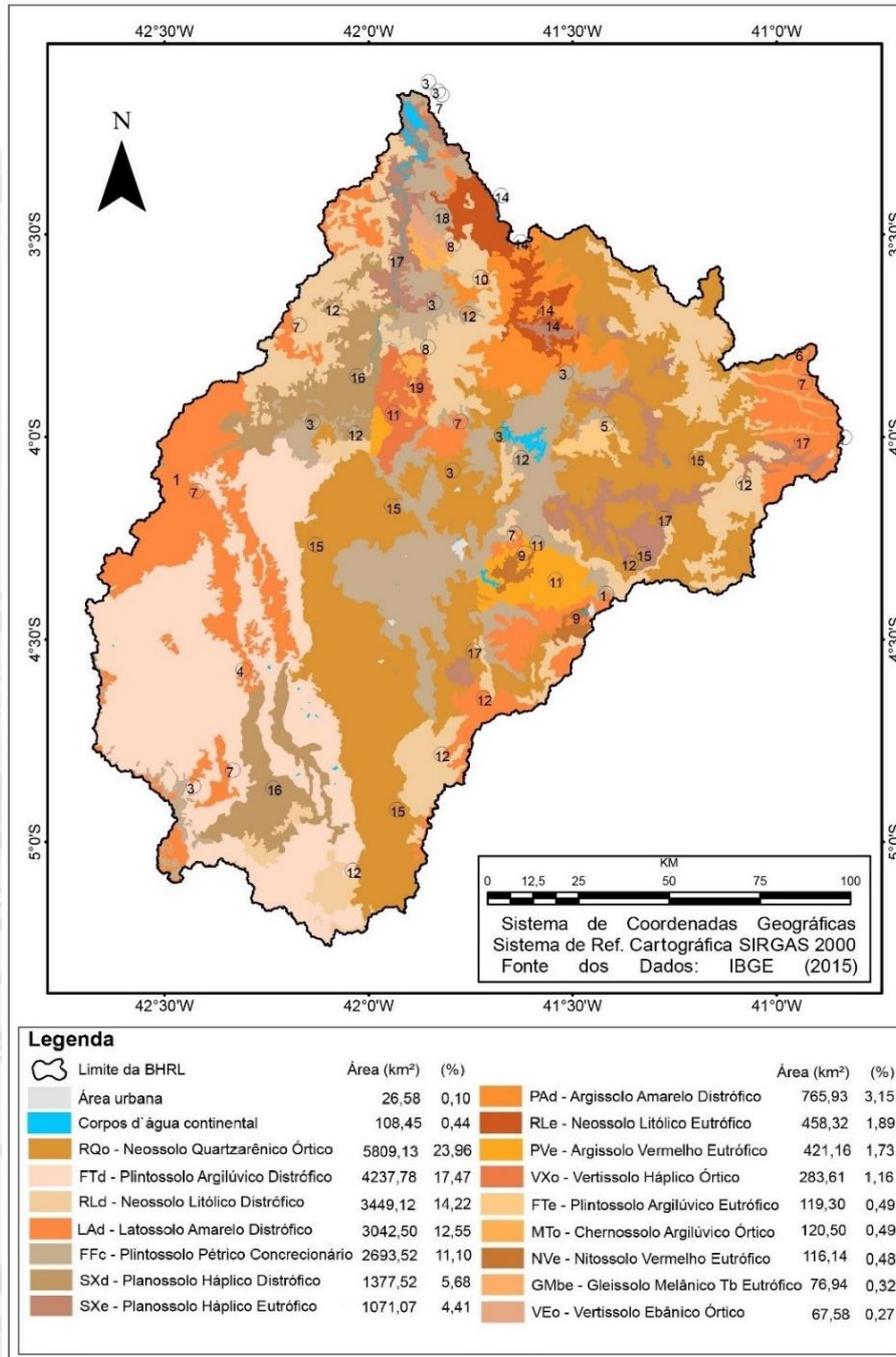
Figura 03 – Distribuição da precipitação média anual da Bacia hidrográfica do rio Longá.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020). Base de dados: Morais (2018).

A associação entre as características pluviométricas, topográficas e pedológicas condicionam a predisposição natural à erosão. Observa-se, portanto, que a distribuição espacial desses condicionantes físicos na BHRL apresenta particularidades que impõem cuidado ao buscar as correlações com a ocorrência de erosão. As regiões que ostentam maiores altitudes e declividades, por exemplo, são aqueles que recebem menor volume anual de chuva. Por outro lado, nota-se que a ocorrência de solos com maior predisposição à erosão, como os neossolos quartizarênicos e planossolos háplicos, estão situados em áreas de relevo plano a suave ondulado, porém submetidos a intenso regime pluviométrico.

Figura 04 – Distribuição das classes de solo da Bacia hidrográfica do rio Longá.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

A análise integrada desses componentes pode relevar condições naturais desencadeadores de processos erosivos. Na seção seguinte são apresentados os procedimentos metodológicos para obtenção dos fatores constituintes da PNE que têm como dados de entrada os elementos físicos descrito.

3.2 Parâmetros do Potencial Natural de Erosão

O fator de erosividade das chuvas na BHRL foi calculado utilizando a metodologia proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2014), representada pela Equação 2. Após o cálculo da erosividade procedeu-se a interpolação utilizando o algoritmo Spline, conforme metodologia proposta por Passos et al. (2014).

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

onde: R = índice de erosividade média mensal (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹); r = precipitação média mensal em milímetros (mm); P = precipitação média anual em milímetros (mm).

Os dados de precipitações médias mensais, referentes ao período de janeiro de 1998 a dezembro de 2017, foram extraídos do banco de dados pluviométrico da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, organizado por Moraes (2018), a partir de dados de sensoriamento remoto. Ao todo foram utilizados dados de 64 estações pluviométricas virtuais, distribuídas regularmente (27,7 x 27,7 km) na área da abrangência da bacia, admitindo-se as estações distante até 27 km do seu limite.

A erodibilidade foi determinada segundo a equação proposta por Denadin (1990), representada matematicamente pela Equação 3:

$$K = (0,00000748 \times M) + (0,004480 \times P) - (0,0631175 \times DMP) + (0,01039567 \times R) \quad (3)$$

onde: K = é a erodibilidade dos solos, expresso em t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹; M = (Areia fina + Silte) * ((Areia fina + Silte) + Areia grossa), em porcentagem; P = permeabilidade do solo, definida com base na descrição geral do perfil, codificada como: 1 = Muito Baixa, 2 = Baixa, 3 = Moderada, 4 = Alta e 5 = Muito Alta; R = (Areia grossa. (Teor de Matéria Orgânica/100), em porcentagem; DMP = é o diâmetro médio das partículas do solo definido pela Equação 4. Valores de areia, Silte e argila expressos em porcentagem.

$$DMP = (((0,62 \times \text{areia grossa}) + (0,15 \times \text{areia fina}) + (0,0117 \times \text{silte}) + (0,00024 \times \text{argila}))/100$$

A base vetorial de solos utilizada corresponde às folhas SA23, SA24, SB23 e SB24 do mapeamento sistemático brasileiro, disponível na escala de 1:250000 (IBGE, 2015).

Após o recorte do perímetro da BHRL, selecionou-se os pontos de coleta para cada classe de solo do arquivo vetorial para consulta ao banco de dados físico-químico dos pontos amostrais disponibilizado pelo IBGE (2020), a fim da obtenção das informações granulométrica coletadas no horizonte B, utilizado como referência na obtenção do fator K.

Após o cálculo do Fator K foi realizada uma classificação dos solos em cinco classes de erodibilidade, aplicando-se o método de classificação de quebras naturais, e adotando a seguinte nomenclatura: muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto. O mesmo procedimento foi utilizado na classificação do PNE.

Para o cálculo do fator LS adotou-se a metodologia proposta por ZHANG et al. (2013) através da utilização do aplicativo LS-Tools, implementada no complemento para ArcGIS GISus-M, desenvolvido por Oliveira et al. (2015). Nesta etapa foi utilizado o ALOS Global Digital Surface Model "ALOS World 3D - 30m (AW3D30) que oferece uma resolução espacial de 1 segundo de arco (30m) e acurácia altimétrica de 5m (JAXA, 2020)".

A equação utilizada para calcular o potencial natural de erosão do solo foi definida como (Equação 5):

$$PNE = R.K.LS \quad (\text{Eq. 5})$$

onde: PNE = quantidade de solo perdido por unidade de área em $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; R = fator erosividade da chuva em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; K = fator erodibilidade do solo em $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; e LS = fator topográfico (adimensional).

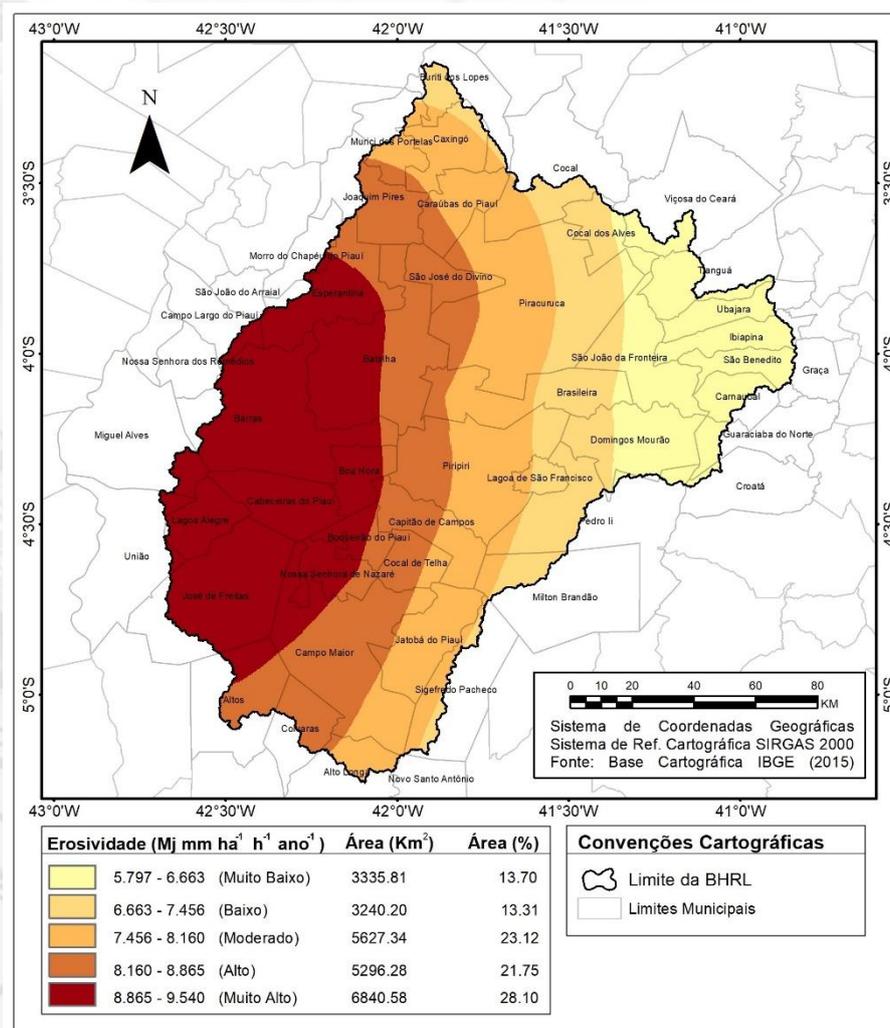
Todos os parâmetros do PNE foram processados utilizando o programa ArcGIS 10.7, licenciado pelo Instituto Federal do Piauí, campus Teresina Central. A manipulação dos dados em formato matricial permitiu obter as estatísticas descritivas que subsidiaram as análises. A construção da matriz de correlação, para avaliar a influência de cada parâmetros no valor do PNE, foi feita com a ferramenta Band Collection Statistics da extensão Spatial Analyst, conforme sugerido por Moraes e Sales (2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A variabilidade espacial da erosividade das chuvas acompanha a distribuição média anual das precipitações da BHRL. A partir do mapa da erosividade na Figura 5, observa-se

que 49,8% da bacia está submetida às chuvas com alto potencial erosivo, enquanto as regiões leste e nordeste apresentam erosividade muito baixa. Com base na erosividade média observada a BHRL é classificada com erosividade moderada.

Figura 05 – Mapa da erosividade das chuvas bacia hidrográfica do rio Longá.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Resguardas as devidas diferenças em relação aos diferentes recortes espaciais, base de dados e série-históricas, os valores de erosividade calculados neste trabalho corroboram com aqueles obtidos por Silva et al. (2016), para a sub-bacia do alto curso do rio Longá ($7.983\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$).

A ocorrência conjunta de chuvas com erosividade elevada e solos frágeis desprotegidos, fornecem condições básicas para o desencadeamento de processos erosivos. Na tabela 01 são listadas as classes de solos encontrados na BHRL, seguido dos

seus respectivos valores de erodibilidade. A distribuição espacial do fator K na bacia é apresentado na figura 06.

Tabela 01 – Classes de solo da BHRL e seus respectivos valores de erodibilidade.

Símbolo	Classe de solo	Erodibilidade (K) (t ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	Classe K
PAd	Argissolo Amarelo Distrófico	0,0692	Muito Alto
SXd	Planossolo Háptico Distrófico	0,0684	Muito Alto
FTe	Plintossolo Argilúvico Eutrófico	0,0622	Alto
RLe	Neossolo Litólico Eutrófico	0,0584	Alto
GMbe	Gleissolo Melânico Tb Eutrófico	0,0577	Alto
FFc	Plintossolo Pétrico Concrecionário	0,0504	Moderado
FTd	Plintossolo Argilúvico Distrófico	0,0502	Moderado
RLd	Neossolo Litólico Distrófico	0,0379	Baixo
SXe	Planossolo Háptico Eutrófico	0,0365	Baixo
RQo	Neossolo Quartzarênico Órtico	0,0327	Baixo
MTo	Chernossolo Argilúvico Órtico	0,0292	Baixo
VEo	Vertissolo Ebânico Órtico	0,0138	Muito Baixo
VXo	Vertissolo Háptico Órtico	0,0138	Muito Baixo
LAd	Latossolo Amarelo Distrófico	0,0132	Muito Baixo
PVe	Argissolo Vermelho Eutrófico	0,0132	Muito Baixo
NVe	Nitossolo Vermelho Eutrófico	0,0068	Muito Baixo

Fonte: Dados da pesquisa.

Observa-se que os solos classificados como muito baixa erodibilidade, ocupam 16,2% da BHRL e estão localizadas basicamente nas regiões de relevo plano, suave ondulado ou ondulado. Nesta categoria podemos destacar o Latossolo Amarelo Distrófico, que ocupa 12,5% da área de estudo.

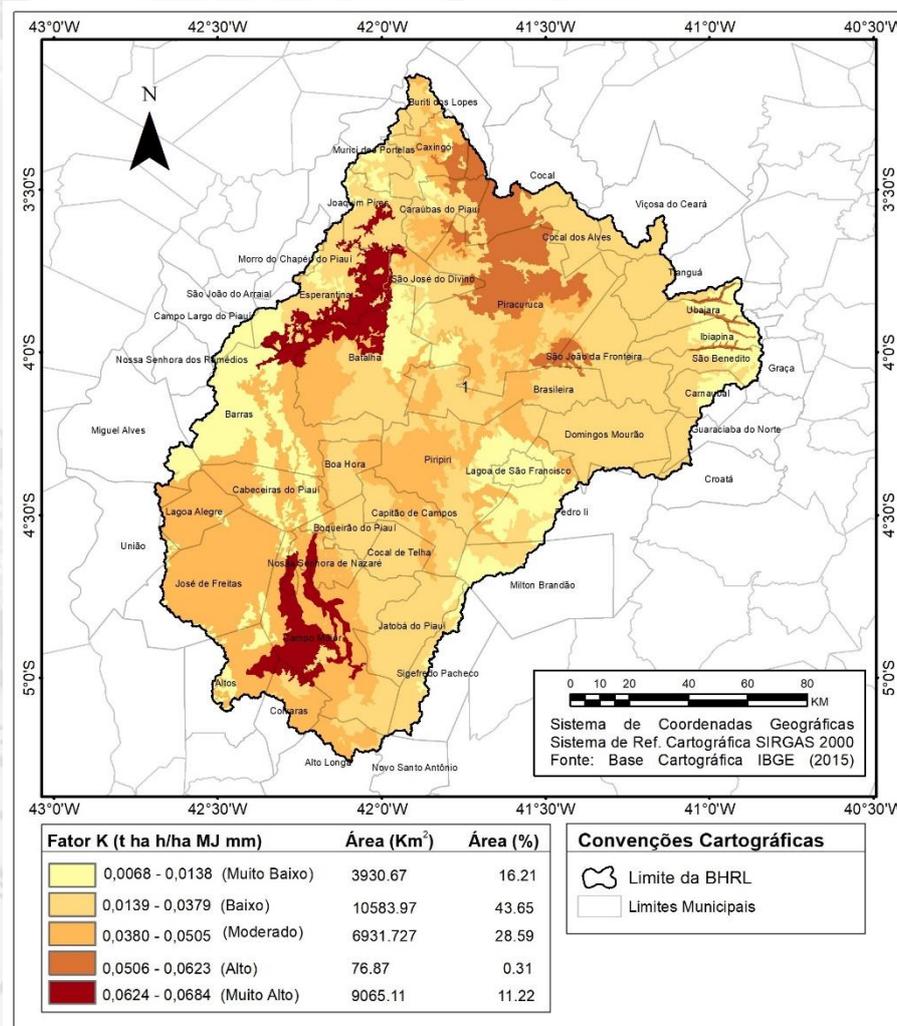
Os solos classificados como baixa erodibilidade ocupam aproximadamente 43,9% da BHRL e ocorrem tanto em regiões com topografia plana, como em setores com maiores declividades. Dentre aqueles identificados com erodibilidade baixa, destaca-se os Neossolos Quartzarênicos Órticos que ocupam 24% da área de estudo.

As classes de solo com erodibilidade moderada, com destaque para os Plintossolos Pétrico Concrecionário e o Plintossolo Argilúvico Distrófico, ocorrem em 17,5% e 11,1% da área de estudo, respectivamente. E estão associados às áreas de relevo plano ou suavemente ondulado.

Os solos identificados com alta erodibilidade encontram-se restritos a 1,9% da bacia, concentrados na região nordeste, sudeste e norte, em associação com as áreas de

declividade moderada a escarpada. Neste grupo a principal ocorrência é dos Neossolos Litólicos Eutróficos.

Figura 06 – Distribuição espacial da erodibilidade dos solos na bacia hidrográfica do rio Longá.



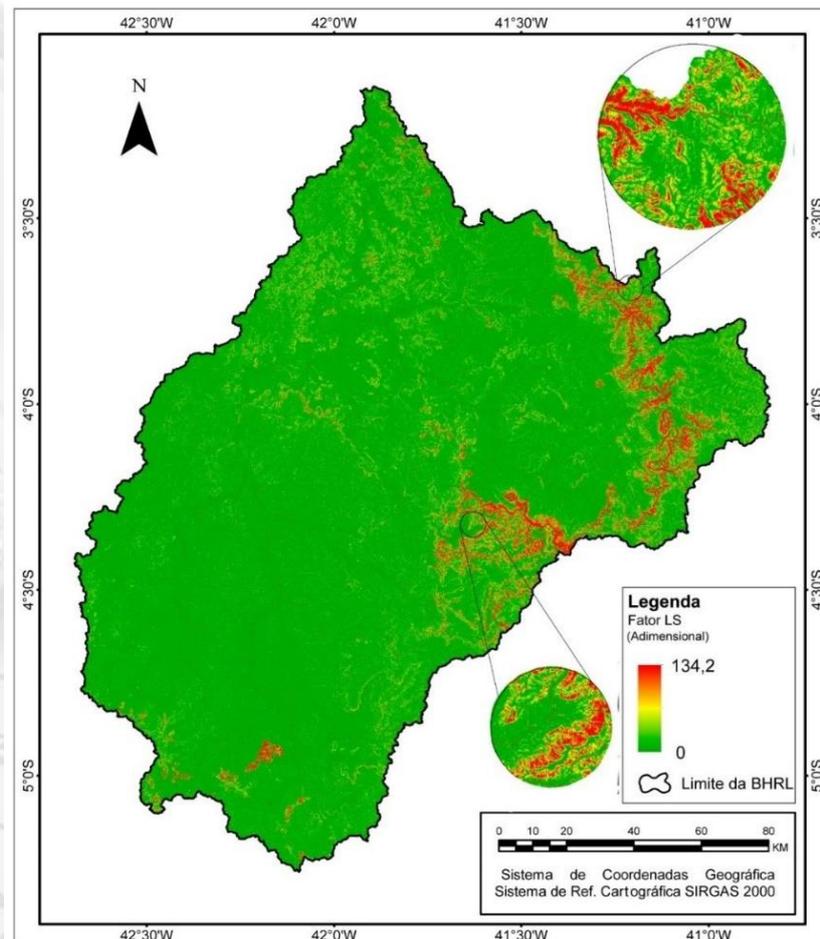
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Os solos classificados com erodibilidade muito alta são encontrados em manchas isoladas na região sul e norte da bacia, com destaque para os Argissolos Amarelo Distróficos (PAd) e o Planossolos Háplicos Distróficos (SXd), que ocupam 3,15% e 5,7% da área de estudo, respectivamente.

O fator LS obtido para a BHRL varia de 0 a 134,2 (adimensional), onde os valores mais baixos se concentram na região centro-sul da bacia, enquanto os valores mais altos se encontram a sudeste e nordeste, e em ocorrências isoladas ao sul (Figura 07). Os altos valores de Fator LS estão relacionados com as áreas de relevo montanhoso e escarpado,

encontrados nas bordas de chapadas e feições residuais que ocorrem na região da serra da Ibiapaba e feições residuais ao sul.

Figura 07 – Distribuição espacial do fator topográfico (LS) na bacia hidrográfica do rio Longá.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

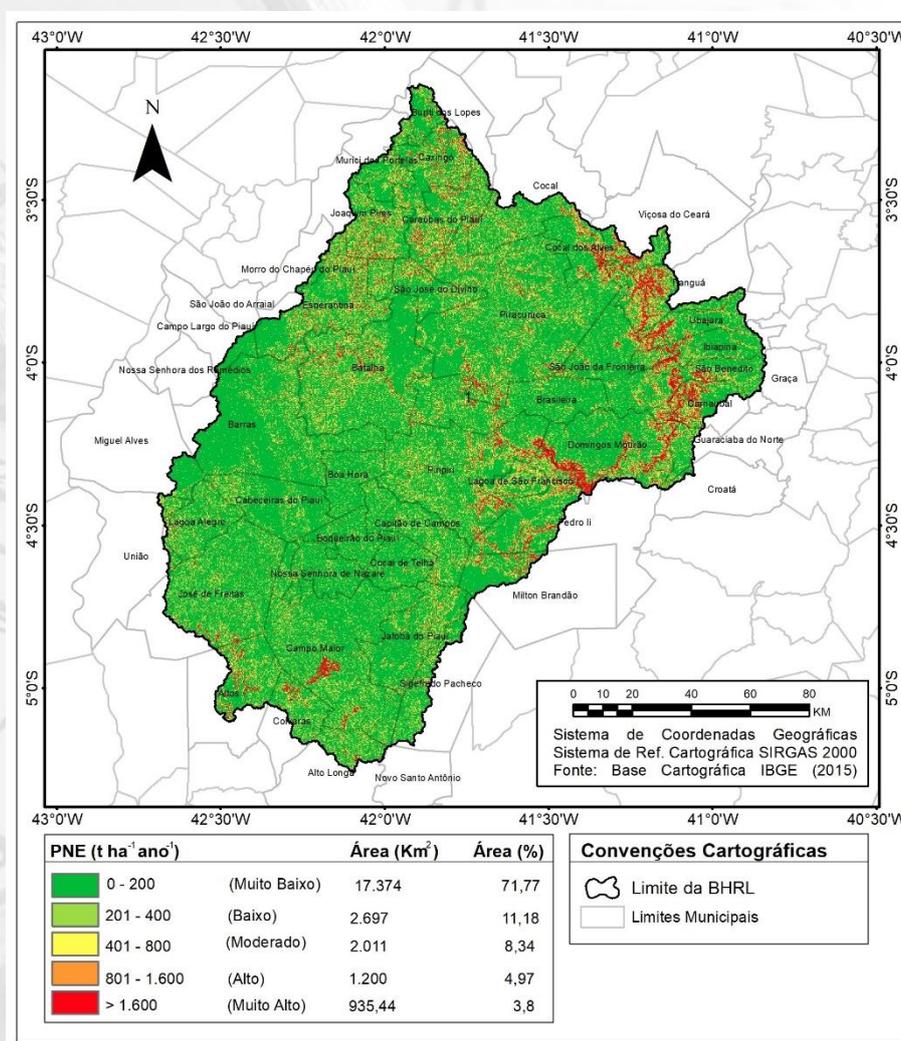
A integração dos parâmetros erosividade, erodibilidade e fator topográfico, resultou no mapa da Figura 08, que apresenta a distribuição espacial do potencial natural de erosão da bacia hidrográfica do rio Longá.

Observa-se que 71,8% da área da BHRL apresenta potencial natural de erosão muito baixo, enquanto o baixo PNE ocorre em 11,2% da área de estudo. As classes de PNE moderado, alto e muito alto ocupam, juntas, aproximadamente 17% da bacia. Esses resultados não sustentam a hipótese inicial de que a bacia apresenta pré-disposição natural a erosão. Condições de degradação das terras e das águas, como relatados por Silva,

Aquino, Oliveira (2016) e Medeiros, Silva e Lins (2018), respectivamente, podem estar associadas às ações antrópicas.

Notadamente, as regiões com maior potencial natural de erosão localizam-se a nordeste e sudeste da bacia e estão associadas às vertentes inclinadas do reverso da cuesta da Ibiapaba, que separa o estado do Piauí, do vizinho estado do Ceará, além feições residuais isoladas ao sul da bacia. Curiosamente, essas regiões apresentam baixos valores de erosividade (Figura 05) e erodibilidade (Figura 06), logo, os altos valores de PNE refletem a maior influência do fator topográfico.

Figura 08 – Potencial natural da erosão dos solos da bacia hidrográfica do rio Longá.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

As regiões com menor potencial natural de erosão localizam-se a sudoeste e centro-sul da bacia, que embora submetida à erosividade elevada, apresenta relevo plano e solos com baixa erodibilidade, o que reforça a influência do fator topográfico.

Com base na tabela 02 é possível constatar que o fator topográfico (LS) foi o que apresentou maior coeficiente de variação (376%) dentre os fatores constituintes do PNE.

A matriz de correlação apresentada na tabela 03 aponta uma correlação positiva de 0,92 entre o Fator LS e o PNE, enquanto a erosividade das chuvas (Fator R) apresentou fraca correlação negativa (-0,1), e o fator K não apresentou correlação com os valores de PNE.

Tabela 02 – Estatística descritiva dos parâmetros R, K, LS e PNE.

	Min	Max	Média	DP	CV (%)
R	5797,6	9540,3	8031,0	1025,9	13
K	0,0069	0,0692	0,0383	0,0217	57
Fator LS	0	134,25	0,12	0,45	376
PNE	0	179000,0	324,9	1265,7	390

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 3 – Matriz de correlação (r) entre o PNE e os parâmetros R, K e LS.

	PNE	LS	R	K
PNE	1,00			
LS	0,922	1,00		
R	-0,100	-0,174	1,00	
K	0,056	-0,042	0,166	1,00

Fonte: Dados da pesquisa.

A prevalência do fator topográfico sobre a erosividade das chuvas e erodibilidade dos solos, reforça um aspecto fisiográficos importantes da bacia, a ocorrência de feições residuais de morros e chapadas, com vertentes curtas e bastantes inclinadas. Essas características conferiram, a uma pequena região da bacia, um Fator LS com valores elevados, que se refletiu em alto valor do coeficiente de variação quando comparados ao demais parâmetros de análise (Tabela 3).

Os resultados obtidos apontam para uma limitação do método empregado, pois a ocorrência de relevos escarpados sempre acarretará em valores elevados para o fator topográfico (LS), mascarando a influência da erodibilidade e erosividade, que são reconhecidos por sua forte influência do desencadeamento de processos erosivos.

5 CONCLUSÃO

A bacia hidrográfica do rio Longá não apresenta suscetibilidade natural à erosão,

visto que 72% da área total é classificada com baixo PNE. À exceção das áreas declivosas associadas às escarpas das chapadas de feições residuais o qual apresentaram PNE acima de $800 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Isso reforça o entendimento de que possíveis evidências de deterioração das terras e qualidade das águas da bacia podem estar relacionadas à ação antrópica.

Dentre os parâmetros adotados, o Fator LS é o que apresenta a maior correlação com o PNE, pelo menos em áreas com relevo escarpado, como ocorre na BHRL. Isso demonstra uma limitação do método empregado. Estudos comparativos em regiões com distintas condições fisiográficas podem ser desenvolvidos para validar este resultado.

Outras adequações metodológicas podem ser empregadas para atenuar o efeito do Fator LS, como a aplicação de pesos diferentes para cada parâmetro ou, ainda, a adoção de um limiar, definido a partir da declividade e/ou comprimento das encostas, acima do qual os valores de LS permaneceriam constantes.

As considerações apresentadas acima apontam para a necessidade de revisão dos métodos clássicos de diagnósticos e quantificação de processos erosivos. Sobretudo em um cenário marcado pela utilização massiva de sistemas de informações geográficas e bases de dados derivados de sensoriamento remoto, que permitem a aplicação dessas metodologias em grandes áreas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. P.; MUTTI, P. R.; LIMA, K. C. Variabilidade espacial e temporal da precipitação na bacia hidrográfica do Rio Parnaíba, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [S. l.], v. 7, n. 2, Edição Especial – VI SIMGEAPI, p. 82–97, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.3524759>>. Acesso em: 19 jun. 2020.
- ACCIOLY, L. J. O. et al. Estimativa do Potencial Natural de Erosão das Terras da Bacia do Rio Ipojuca-PE. XVIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Teresina, 2010. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio Norte, 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90248/1/495.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2020.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, CE, v. 36, n. 2, p. 143–151, 2005.
- ALMEIDA, E. P. C. et al. **Planossolos háplicos**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2020. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soles_tropicais/arvore/CONT000gn362j9y02wx5ok0liq1mq86zqh78.html>. Acesso em: 10 jun. 2020.

ALVES, A.; SOUZA, F.J.; MARQUES, M. Avaliação do potencial à erosão dos solos: uma análise comparativa entre Lógica Fuzzy e o Método USLE. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. **Anais...** Goiânia. INPE, 2005. p. 2011-1018. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.16.07/doc/2011.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2020

BASTOS, C. A. B. (1999). **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 303 fl. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1999.

BERTOL, et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 155-163, jan./mar. 2004. Acesso em: 8 de jan. 2019. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n1/a15v28n1.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014.

CAVALCANTE, T. D. M.; **Área de preservação permanente e erosão do solo, em bacia hidrográfica de manancial urbano**. Estudo do caso do Ribeirão do Feijão, São Carlos - SP. 2013. 92 fls. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, A. R. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Porto Alegre, v. 27, p.743-753, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400019>>. Acesso em: 3 jun. 2020.

CORREA, E. A.; PINTO, S. A. F. Avaliação do potencial natural de erosão da bacia hidrográfica do córrego monjolo grande (Ipeúna-SP). **Revista Geonorte**, v.2, p.1356 - 1367, 2012. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/2194/2065>>. Acesso em: 6 jun. 2020.

COSTA, A. L. C. **Estudo da vulnerabilidade à erosão com a aplicação da equação universal de perda de solo na alta bacia hidrográfica do rio Jacaré Pepira, utilizando SIG/SPRING**. 2005. 166 fl. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro - SP, 2005.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 114 fl. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônômica). Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba, 1990.

EDUARDO, E. N. **Determinação da erodibilidade e do fator cobertura e manejo do solo sob condições de chuva natural e simulada**. 2012. 47 fl. Dissertação. (Mestrado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Seropédica, 2012.

GUTH, P. L. **Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas de culturas oleaginosas**. 2010. 83 fl. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Centro de Ciências Rurais - UFSM, Santa Maria – RS, 2010.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pedologia. **Banco de dados de informações ambientais (Versão 2.3.1)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>>. Acesso em: 17 jun. 2020.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pedologia**. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/>. Acesso em: 17 jun. 2020.

JAXA. JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY. **ALOS Global Digital Surface Model “ALOS World 3D - 30m” (AW3D30)**. 2016. Disponível em: <<https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/>>. Acesso em: 5 jun. 2020.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em campinas (SP). In: LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. 3. ed. **Conservação do Solo**. Campinas, 1992. p. 189-196.

MACIEL, M. M. **Aplicação da equação universal de perdas de solo (USLE) em ambiente de geoprocessamento e sua comparação com aptidão agrícola**. 2000. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

MEDEIROS, W. M. V.; SILVA, C. E. ; LINS, R. P. M. Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 1, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2054>>. Acesso em: 19 jun. 2020.

MELLO, G.; BUENO. C. R. P.; PEREIRA.; G. T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Rev. ras. eng. agríc. ambient.** Campina Grande. v.10 n. 2, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200010>>. Acesso em: 8 jun. 2020.

MONTGOMETRY, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of América**, v.104 (33), p. 13268–13272, ago, 2007. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1948917/>>. Acesso em: 4 jun. 2020.

MORAIS, R. C. S. Estruturação de uma base de dados pluviométricos para a bacia hidrográfica do rio Parnaíba a partir de dados de sensoriamento remoto. In: I Simpósio Regional de Geoprocessamento, Teresina, 2019. **Anais ... Teresina**, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.29327/15210.1-3>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

MORAIS, R. C.; 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, n. 1, 2017. Disponível em:

<<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/p.2318-2962.2017v27nesp1p84>>. Acesso em: 2 jun. 2020.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion e Conservacion**. 3. ed. Blackwell Science Ltd., 2005. Disponível em:

<<https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=588d60dbf7b67e5c7449ba93&assetKey=AS%3A455706806624256%401485660378033>>. Acesso em: 3 jun. 2020.

OLIVEIRA, J. A. et al. A GIS-Based Procedure for Automatically Calculating Soil Loss from the Universal Soil Loss Equation: GISus-M. **Applied Engineering in Agriculture**, [S. l.], v. 31, n. 6, p. 907–917, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.13031/aea.31.11093>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

PASSOS, J. S. A. et al. Estimativa de perdas de solo na bacia do Alto São Francisco utilizando precipitação estimada por satélite. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 11, 2014, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2014. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/286459659_ESTIMATIVAS_DE_PERDAS_DE_SOLO_NA_BACIA_DO_ALTO_SAO_FRANCISCO_UTILIZANDO_PRECIPITACAO_ESTIMADA_POR_SATELITE>. Acesso em: 10 jun. 2020.

RODRIGUES, G. O. et al. Estimativa da taxa de perda de solo por erosão hídrica na Mesorregião de Ribeirão Preto. In: 2015, João Pessoa, PB. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, PB: INPE, 2015. p. 4852–4859. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0947.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2020.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.2, p.115–123, ago. 2010. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n2/v14n02a01.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

SILVA, A. M.; ALVARES, C. A.; WATANABE, C. H. Natural Potential for Erosion for Brazilian Territory. **Soil Erosion Studies**. 2011. Disponível em:

<<http://cdn.intechweb.org/pdfs/23108.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2020.

SILVA, R. K. O.; AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Análise do risco de degradação da sub-bacia do alto curso do Rio Longá – Piauí. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 10, n. 1, p. 23-44. João Pessoa – PB, 2016. Disponível em:

<<http://www.periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/okara/article/download/26783/16155>>.

Acesso em: 10 jun. 2020.

SILVA, T. P. N. et al. **Influência da erosividade da chuva na perda de solo**. 2009, Recife-PE. Acesso em 2 de jan. 2019. Disponível em:

<<http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/R0631-1.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2020.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Prediciting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58 p. Disponível em:

<<https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

ZHANG, H. et al. Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. **Computers & Geosciences**, [S. l.], v. 52, p. 177–188, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.09.027>>. Acesso em: 4 jun. 2020.
