



Análise da vulnerabilidade dos solos quanto à erosão hídrica na bacia do Córrego Pequiá, Açailândia, Maranhão

Analysis of soil vulnerability to water erosion in the Córrego Pequiá watershed, Açailândia, Maranhão

Felipe Alexandre Rizzo* , Darllan Collins da Cunha e Silva , Paulo Sergio Tonello 

¹Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba - SP, Brasil.

Recebido (Received): 21/11/2021
Aceito (Accepted): 16/05/2022

E-mail: darllan.collins@unesp.br (DCCS); paulo.tonello@unesp.br (PST)

*E-mail para correspondência: feliperizzo@ifma.edu.br

Resumo: Este estudo objetivou através da Equação Universal de Perda de Solos (USLE) na Bacia do Córrego Pequiá, com extensão de área de 999,42 km² avaliar potencial processos erosivos. Foram gerados diferentes mapas temáticos para erosividade (fator R), erodibilidade (fator K), fator topográfico (fator LS) e conservação e manejo (fator CP) com utilização dos softwares ArcGIS 10.6, QGIS 2.8 e Trackmacker. Para o fator R utilizou-se a base histórica de 23 anos de dados de precipitação (1996-2018), obtendo o fator de erosividade médio de 7941 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹ onde permitiu observar que as chuvas ocorridas no período chuvoso corresponderam a 95,09 % do total de erosividade. Já para o fator K a maior erodibilidade 0,0529 T ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ foi considerada para o Latossolo Amarelo, onde 70% da área da bacia do Córrego Pequiá poderá apresentar susceptibilidade à erosão laminar. No fator LS foi possível identificar a região norte da bacia com menores altitudes e declives. Para conservação e manejo, fator CP, poderá ocorrer o aumento dos processos erosivos caso as más práticas conservacionistas sejam continuadas. A perda média anual de solo foi estimada em 17.180,07 t/ha/ano que variou entre 12,65 e 34.349,4 t/ha/ano e as sub-bacias com maior potencial erosivo foram as do médio Pequiá e Mosquito. Concluiu-se que a perda de solo nos pontos mais críticos da bacia do córrego Pequiá se deve ao tipo de solo e manejo inadequado com altos índices pluviométricos.

Palavras-chave: Erosividade; Erodibilidade; Fator R; Práticas conservacionistas.

Abstract: This study aimed, through the Universal Soil Loss Equation (USLE) in the Córrego Pequiá Basin, with an area of 999.42 km², to evaluate potential erosion processes. Different thematic maps were generated for erosivity (R factor), erodibility (K factor), topographic factor (LS factor) and conservation and management (CP factor) using ArcGIS 10.6, QGIS 2.8 and Trackmacker software. For the R factor, the historical basis of 23 years of precipitation data (1996-2018) was used, obtaining the average erosivity factor of 7941 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹ which allowed to observe that the rains that occurred in the rainy season corresponded to 95.09% of the total erosivity. As for the K factor, the highest erodibility 0.0529 T ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ was considered for the Yellow Latosol, where 70% of the area of the Córrego Pequiá basin may be susceptible to laminar erosion. In the LS factor, it was possible to identify the northern region of the basin with lower altitudes and slopes. For conservation and management, CP factor, an increase in erosive processes may occur if bad conservation practices are continued. The average annual loss of soil was estimated at 17,180.07 t/ha/year, which varied between 12.65 and 34,349.4 t/ha/year and the sub-basins with the highest erosive potential were those of the medium Pequiá and Mosquito. It was concluded that the loss of soil in the most critical points of the Pequiá stream basin is due to the type of soil and inadequate management with high rainfall.

Keywords: Erosivity; Erodibility; R-factor; Conservation practices.

1. Introdução

As ações antrópicas têm alterado de maneira significativa a funcionalidade do ambiente natural em diversas regiões geográficas do Brasil, tornando-o cada vez mais frágil (CARVALHO *et al.*, 2020). O

prejuízo econômico causado pela diminuição da capacidade produtiva das terras agrícolas aponta para a erosão hídrica como a principal causa e para o principal agente de mudança da paisagem (COUTINHO *et al.*, 2014).

Diferentes formas de uso do solo os tornam vulneráveis e com a intensificação da agricultura (RODRIGUES *et al.*, 2017) pode existir a remoção de partículas e transporte de material mineral pelas excessivas chuvas para as áreas mais baixas do terreno (FIORESE *et al.*, 2021), ocasionando a formação de erosão laminar, podendo acarretar sulcos, ravinas ou voçorocas.

Para avaliação de perda de solo, optou-se pela utilização da Equação Universal de Perda de Solo (USLE, sigla em inglês) recomendada por Wischmeier e Smith (1978) para analisar as possíveis perdas por erosão laminar na bacia do Pequiá, se destacando dos demais estudos realizados para estimar a perda de solo ao longo dos anos (LAMANA, 2020), possibilitando assim o estudo empírico na bacia.

A abordagem adotada permitiu a construção das cinco variáveis, incluindo erosividade das chuvas, erodibilidade do solo, topografia, práticas conservacionistas e fatores de cobertura vegetal (JEMAI *et al.*, 2021) para a obtenção do resultado de perda de solo integrado ao uso da ferramenta SIG.

Todos estes coeficientes somados a um território caracterizado por uma estação com dois períodos, sendo um seco e outro chuvoso ocasionando chuvas volumosas em curtos intervalos de tempo, contribuem ainda mais com as ações de erosão laminar e linear.

A bacia do córrego Pequiá tem fundamental importância para o abastecimento futuro da cidade de Açailândia como já contemplado no estudo realizado pela CPRM (2017). Anualmente novas áreas com vegetação nativa são convertidas para outros usos, resultando no aumento significativo da condução de material particulado para o rio principal, podendo ocasionar assoreamento do curso de água e degradação da qualidade da água (LOURENÇO *et al.*, 2022).

É importante evidenciar que as atividades do garimpo, somadas às do pólo guseiro e madeireiro, têm acelerado o processo de comprometimento das nascentes dos rios nos biomas brasileiros (BRASIL, 2006). Com o aumento das áreas desmatadas em um dos municípios que se encontra a Bacia Hidrográfica, ocorre uma potencialização dos processos erosivos de grande porte (MARÇAL; RAMALHO; GUERRA, 2001).

Nesse sentido este trabalho mapeou e analisou qualitativamente a susceptibilidade erosiva do solo da bacia hidrográfica do córrego Pequiá, localizada em Açailândia, São Francisco do Brejão e João Lisboa no Estado do Maranhão, por intermédio da aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (EUPS).

2. Materiais e Métodos

2.1. Caracterização da área de estudo

A bacia do córrego Pequiá localiza-se na região oeste do estado do Maranhão, município de Açailândia, São Francisco do Brejão e pequeno trecho no município de João Lisboa (**Figura 1**) com área total de 999,42 km² e perímetro de 240 km² seu rio principal denominado Pequiá possui comprimento de 58,32 km.

O córrego Pequiá é um afluente do rio Açailândia pela sua margem direita com sua nascente localizada no município de São Francisco do Brejão. De acordo com a classificação de Koppen, o clima da região está classificado como clima tropical quente e úmido (As) (CPRM, 2011). Apresenta dois períodos bem definidos, sendo um período chuvoso que se inicia entre novembro ou dezembro e se prolonga até maio, com maior índice pluviométrico entre janeiro e abril, onde pode-se observar valores superiores a 400mm.

O período seco ocorre a partir de maio quando a influência da convergência intertropical deixa de existir, e se estende até outubro, apresentando o pico de déficit hídrico nos meses de junho a agosto (MIRANDA, 2019), com precipitação média anual de 1330 mm.

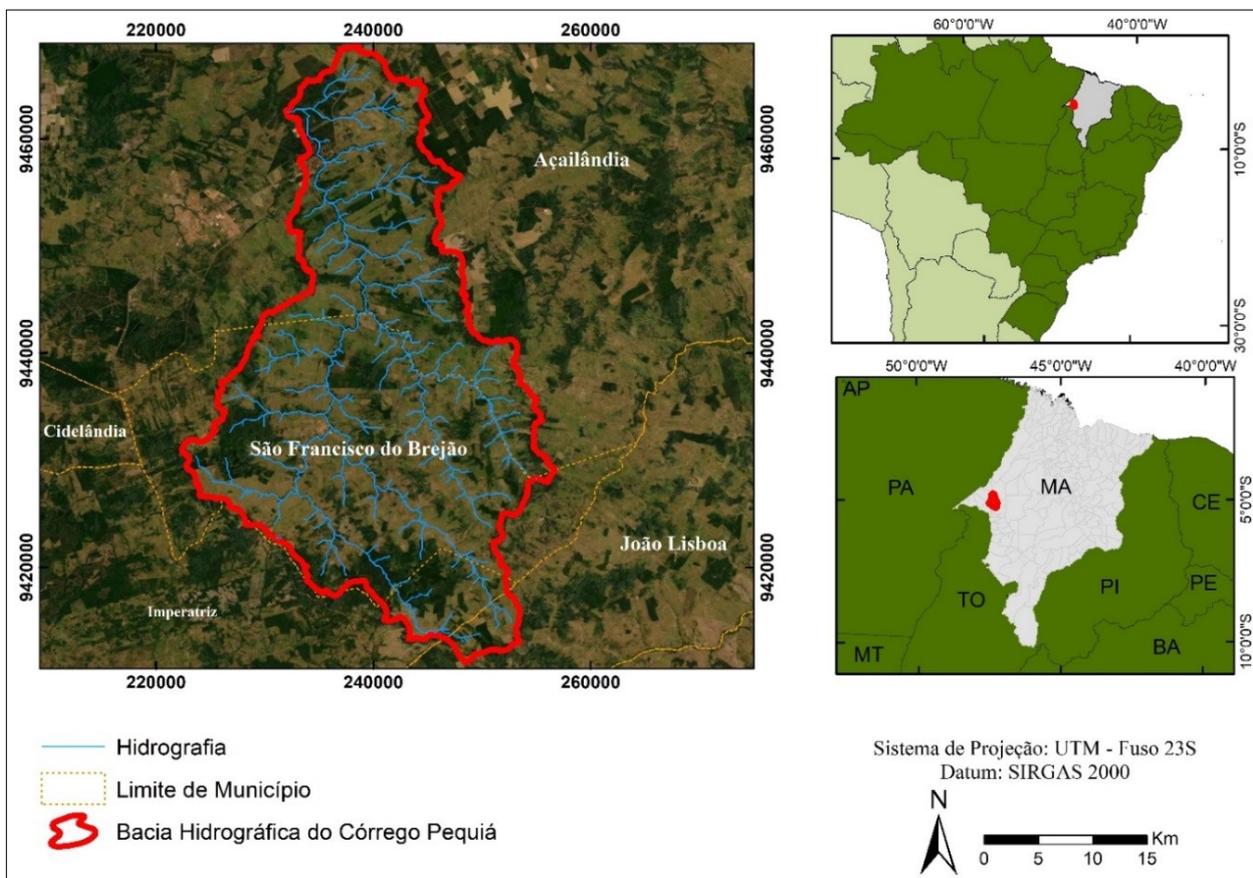


Figura 1: Localização geográfica da bacia do Pequiá, Açailândia-MA. Fonte: Autoria própria, 2021.

2.2. Estimativa da perda de solo anual

A estrutura proposta por Wischmeier e Smith (1978), utilizada para quantificar a perda média de solo anual por erosão laminar em diferentes condições de uso e manejo do solo, considera a variação climática da região, declividade do terreno e práticas conservacionistas como variáveis necessárias para a obtenção da *Universal Soil Loss Equation* (USLE) (**Equação 1**).

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo:

- A é a perda de solo por unidade de área no tempo ($t \cdot ha^{-1}$);
- R é o fator de erosividade da chuva ($MJ \cdot mm \cdot h^{-1} \cdot ha^{-1}$);
- K é o fator de erodibilidade do solo ($t \cdot ha \cdot h / ha \cdot MJ \cdot mm$);
- LS é o fator topográfico (adimensional);
- C é o fator de uso e manejo do solo (adimensional);
- P é o fator de prática conservacionista do solo (adimensional).

2.3. Série histórica

Os dados pluviométricos foram extraídos da série histórica disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA), conforme **Tabela 1**, inicialmente após a busca, observou-se 15 estações meteorológicas, sendo que apenas 5 possuíram dados de 1996 a 2018 completos. Na região da bacia ocorrem dois períodos distintos, chuvoso e seco, com intervalos de seis meses entre cada um.

Os municípios em que se encontra o córrego Pequiá estão localizados pelas coordenadas geográficas -04 57' 0,66550"; -47 29' 48,12000" e -05 07' 23,44130"; -47 23' 10,33965', obtidas no centro das referidas cidades de Açailândia e São Francisco do Brejão respectivamente.

Na **Tabela 2** se apresenta a distância das estações pluviométricas em relação ao bairro Pequiá de Baixo localizado no município de Açailândia na parte norte da bacia. Para a escolha das estações pluviométricas se avaliou a consistência dos dados e a localização das mesmas em relação a bacia em estudo.

Tabela 1: Localização das estações pluviométricas utilizadas no levantamento de dados

Código da Estação	Estações	Zona	Coordenadas UTM - E	Coordenadas UTM - N
447004	Açailândia	23M	223114,175	9454466,180
447002	Reta Km 32	23M	248320,133	9465740,576
547000	Ligação do Pará	23M	217227,335	9544521,699
547005	Buritirana	23M	276330,948	9381246,680
446002	Vale do Pindaré	23M	284894,982	9480408,884

Fonte: Autoria própria, 2021.

Tabela 2: Distâncias das estações pluviométricas consideradas no estudo.

Estação	Distância (km)
Açailândia	12,17
Reta km 32	13,84
Ligação do	87,91
ParáBuritirana	87,39
Vale do Pindaré	54,24

Fonte: Autoria própria, 2020.

2.4. Fator R

Para o cálculo do fator de erosividade da chuva (R) foram utilizados os dados obtidos na Agência Nacional de Águas (ANA), constituindo-se da série histórica pluviométrica com duração de 23 anos distribuídas no raio médio de 51 km de distância de um ponto de referência no bairro Pequiá de baixo. Foram calculadas as médias mensais para determinar a erosividade da chuva (R) recomendada por Bertoni e Lombardi Neto (2012), como observado na **Equação 2**, que estima, com pertinente precisão, os fatores de erosividade para longos períodos de vinte anos ou mais.

$$R = \sum_{i=1}^{12} 67,355 \left(\frac{r_i^2}{P} \right)^{0,85} \quad \text{Eq. 2}$$

Sendo:

R - o Fator de Erosividade da Chuva (MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹);

r_i - a Precipitação média mensal (mm);

P - a Precipitação média anual (mm)

2.5. Fator K

O fator de erodibilidade do solo (K) foi obtido de forma indireta através do mapa pedológico extraído da base solos da amazônia legal na escala de 1:250.000 disponibilizado através do Portal Brasileiro de Dados Abertos e das demais bases cartográficas disponíveis no portal LABGEO/UEMA, CPRM, EMBRAPA e TOPODATA/INPE para os municípios estudados.

Para a obtenção dos resultados do fator k para três tipos de solo existentes no local estudado, foram compilados valores dos trabalhos de Moraes e Sales (2017) e Mannigel *et al.* (2002) realizados a partir de experimentos de campo, em solos brasileiros, que se encontravam disponíveis na literatura e posteriormente extraída a média em relação aos valores listados na **Tabela 3**. Para os tipos de solo encontrados na bacia, todos apresentam horizonte B bem definidos, sendo o latossolo constituído de material mineral em avançado estágio de intemperização, conforme Jacomine (2008), o que diferencia dos argissolos.

Tabela 3: Fator de Erodibilidade (k) para os diferentes tipos de solo encontrados na bacia.

Classificação	Tipo de Solo	Fator K (thMJ-1 mm-1)	Fonte
PVAd	Argissolo Vermelho	0,0466	MANNIGEL <i>et al.</i> , 2002
	amarelo distrófico	0,0592	MORAIS e SALES, 2017.
	Média	0,0529	
LAd	Latossolo-Amarelo	0,0570	MANNIGEL <i>et al.</i> , 2002
	Distrófico	0,02777	MORAIS e SALES, 2017.
	Média	0,0424	
LVAd	Latossolo Vermelho	0,0112	MANNIGEL <i>et al.</i> , 2002.
	Amarelo Distrófico	0,0264	MORAIS e SALES, 2017.
	Média	0,0188	

Fonte: Autoria própria, 2020.

Posteriormente foram obtidos os arquivos *shapefile* em polígonos de solos, das sub-bacias, através da imagem raster que contempla o córrego Pequiá e na sequência a elaboração do mapa do Fator K, onde se considerou a classificação da imagem raster com a tabela contendo os valores médios para cada tipo de solo, e posterior associação do mapa de solos e a atribuição de valores de erodibilidade, correspondentes a cada classe de solo, resultando no mapa final de erodibilidade.

2.6. Fator LS

Para estimar a erosão hídrica laminar foram utilizados Modelo Digital de Elevação (MDE) Shuttle Radar Topograph Mission (SRTM) e suas derivações locais básicas para os municípios de Açailândia e São Francisco do Brejão, através das cartas 04S48, 05S48 disponibilizadas em formato geotiff pelo site Topodata/INPE (banco de dados morfométricos do Brasil).

Foram utilizados ainda arquivos vetoriais como pontos, linhas e polígonos, em formato shapefile, representativos das rodovias, limite político administrativo do Estado do Maranhão e municípios, e shapefile do mapa de solos obtido pelo Map Biomas escala 1:250.000 para a coleção Amazônia contemplando os municípios de açailândia e São Francisco do Brejão.

O fator topográfico (LS) foi calculado através da **Equação 3** recomendada por Bertoni e Lombardi Neto (2012).

$$LS = 0,00984 \times L^{0,63} \times S^{1,18} \quad \text{Eq. 3}$$

Sendo:

LS é o fator topográfico (adimensional);

L é o comprimento de rampa (vertente) em m;

S é a declividade (%).

2.7. Fator L

As cartas topográficas foram obtidas por acesso público pelo site da DSG/IBGE EMBRAPA, que possibilitaram a visualização do relevo através das curvas de nível com equidistância de 40 metros, sendo possível a observação da rede hidrográfica principal, vias de circulação e limites municipais existentes na época de execução do mapa, além de fornecer alguns elementos gerais da vegetação na escala 1:100.000.

A informação do comprimento de rampa e declividade do terreno foi gerado a partir do Modelo Digital do Terreno (DEM), calculando-se separadamente o fator L (comprimento da encosta) e S fator grau de declividade) por intermédio da equação Desmet e Govers (1996) utilizada no estudo de Souza *et al.* (2019).

Para a obtenção do percentual de declividade, foram utilizadas imagens orbitais obtidas através do site TOPODATA disponibilizadas pelo INPE. Para determinação do fator de comprimento de rampa (L) o algoritmo de Desmet e Govers (1996) foi utilizado, baseado nas equações de Foster e Wischmeier (1974) expresso pela **Equação 4**.

$$L_{i,j} = \frac{[(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}]}{[D^{m+2} \times x_{i,j}^m \times (22,13)^m]}$$

Sendo:

$L_{i,j}$ é o fator de comprimento de rampa de uma célula com coordenadas (i, j) em m;

$A_{i,j-in}$ é a área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j) em m²;

D é o tamanho da célula (*pixel*) em m;

$x_{i,j}$ é o valor da direção de fluxo;

M é o coeficiente da declividade que assume os valores: $S \geq 5\% = 0,5$; $3\% < s < 5\% = 0,4$; $1\% < s < 3\% = 0,3$; $S < 1\% = 0,2$.

2.8. Fator S

Para o cálculo do fator de declividade S se utilizou a relação desenvolvida por McCool *et al* (1987): $S = 10,8 \times \sin \Theta + 0,03$, quando declividade $< 9\%$; $S = 16,8 \times \sin \Theta - 0,5$, quando declividade $> 9\%$. Onde Θ é o ângulo de declividade.

Para o cálculo foi utilizado o software Qgis na função watershed.r, onde através do arquivo raster da bacia se calculou diretamente o fator LS

2.9. Mapa de uso de solo

Para a elaboração do mapa de uso foi utilizado a base do uso do solo do Map Biomas coleção 5 (1985-2019) para o bioma Amazônico. A escala utilizada foi de 1:250.000, onde foram considerados temas de corte cruzado como formação florestal, formação savânica, formação campestre, infraestrutura urbana, rio, plantios de soja e lavouras temporárias.

2.10. Fator C

O fator C está representado como a relação entre a perda de solo em local com cobertura florestal e manejo do solo e a perda ocorrida em área com mesma pedologia, declividade e erosividade, porém com o solo descoberto. Foram considerados os valores obtidos na literatura para cada classe de solo observados em diferentes estudos conforme a **Tabela 4**.

Tabela 4: Classe de uso do solo.

Classe de Uso	Ação	Fator C	Fonte
Formação Florestal	Natural	0,0004	SILVA <i>et al.</i> , 2017
Formação Savânica (cerrado)	Natural	0,0091	FROTA <i>et al.</i> , 2020
Floresta Plantada	Antrópica	0,0470	SILVA <i>et al.</i> , 2017
Formação Campestre (pastagem nativa)	Antrópica	0,005	DEMARCHI; PIROLI; ZIMBACK, 2019.
Pastagem	Antrópica	0,0500	SILVA <i>et al.</i> , 2017.
InfraEstrutura Urbana	Antrópica	0,0000	BARROS <i>et al.</i> , 2017
Rio	Mosaico	0,0000	PARANHOS <i>et al.</i> , 2003.
Soja	Antrópica	0,1437	BERTOL; SCHICK; BATISTELA, 2001.
Lavouras Temporárias	Antrópica	0,1893	SILVA <i>et al.</i> , 2017.

Fonte: Autoria própria, 2020.

2.11. Fator P

O fator P estabelece a associação entre a perda de solo em áreas com prática conservacionista e uma outra sem a utilização de nenhuma prática.

Para o fator P foi adotada a metodologia proposta por Aziz *et al.* (2012) e Silva *et al.* (2017), que recomendam para as áreas que não possuam práticas de conservação de solo, se atribua o valor 1, enquanto que onde há existência dessas práticas se atribui valores intermediários entre 0 a 1 dependendo da prática adotada.

Na bacia do córrego Pequiá, considerando que na maior parte da área não existe a utilização de técnicas conservacionistas que auxiliem na diminuição de processos erosivos, o fator P foi igual a 1 para toda a bacia, conforme metodologia adotada por Rodrigues *et al.* (2017) e Dias e Silva (2015).

Os fatores C e P são intrínsecos as atividades antrópicas, pois se relacionam às formas de uso e ocupação do solo, não sendo dependentes apenas nas condições naturais como os fatores R, K e LS.

2.12. USLE

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) estabelecida como expressão empírica possibilita calcular a perda média anual de solo por erosão hídrica, como afirma Prochnow *et al.* (2005), através da observação e conhecimento dos fatores locais que induzem ao processo erosivo.

Para a estimativa de perda de solo foi utilizado o Software Arcgis 10.6 e para a elaboração dos mapas do fator CP juntamente com planilha EXCEL, trackmaker 4.9 e QGIS 2.8.

3. Resultados e discussões

Para análise da erosividade das chuvas na bacia do córrego Pequiá, observa-se que o valor médio foi de 7697,74 MJ.mm/ha.h.ano para área estudada. Uma vez que para a estação Buritirama foi observado o menor valor entre as estações de 7.444 MJ.mm/ha.h.ano variando até 9.101 MJ.mm/ha.h.ano para a estação Ligação do Pará.

A precipitação ocorrida no período chuvoso, definida entre os meses de novembro a abril correspondeu a 95,09 % do total de erosividade (**Tabela 5**), comprovando ser esse período o de maior risco a processos erosivos na área de estudo.

Dos valores médios de chuva analisados demonstraram que o período mais chuvoso concentrou-se nos meses de dezembro a abril e contribuiu com 81,8 % do volume total de chuva da bacia; os meses de maio a agosto contribuíram apenas com 8,3 % e os meses de setembro a novembro com 9,9 % do total.

No mês de agosto se observou o menor índice de erosividade na região, tendo os meses de julho e junho uma semelhança na distribuição de chuvas no período seco.

Tabela 5: Valores médios mensais e valor total anual da precipitação e de erosividade para a Bacia do Córrego Pequiá – Açailândia Maranhão, entre os anos de 1996 a 2018.

Mês	Precipitação (mm)	Erosividade		
		%	MJ mm h ⁻¹ ha ⁻¹ mês ⁻¹	%
Janeiro	220 ± 24,36	16	1406,495 ± 39,8	17,58
Fevereiro	232 ± 25,58	17	1547,995 ± 53,4	19,35
Março	283 ± 27,35	21	2172,204 ± 221,53	27,15
Abril	233 ± 27,39	17	1559,898 ± 144,24	19,50
Maio	84 ± 15,57	6	277,0148 ± 52,46	3,46
Junho	16 ± 3,43	1	17,33516 ± 6	0,22
Julho	7 ± 2,06	1	4,00888 ± 0,71	0,05
Agosto	5 ± 1,69	0	2,225659 ± 0,22	0,03
Setembro	16 ± 4,38	1	18,53785 ± 5,52	0,23
Outubro	37 ± 8,56	3	73,07528 ± 22,24	0,91
Novembro	81 ± 12,06	6	262,4261 ± 30,3	3,28
Dezembro	140 ± 17,86	10	658,1795 ± 82,83	8,23
Total	1.354 ± 76,10	100	7999,394 ± 300,74	100

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Silva *et al.* (2009).

Com base na classe de interpretação da erosividade da chuva citado por Souza *et al.* (2009), observa-se fator de erosividade forte na bacia do córrego Pequiá, devido aos valores alcançados para erosividade no período, sendo semelhante aos valores encontrados por Batista *et al.* (2021) em uma região com chuva mais abundante no Vale do Ribeira quando comparada a bacia do córrego Pequiá.

Um estudo sobre a erosividade da chuva no médio Solimões mostrou que a partir do mês de outubro ocorre o aumento das chuvas e se considera o mês de novembro como a transição entre o período seco e chuvoso, com valores mensais de 200mm, apresentando erosividade superior anual a 7000 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ correspondendo a classe muito alta e alta (SILVA NETO; ALEIXO, 2020).

No município onde se encontra a bacia do Pequiá no mês de outubro a precipitação média foi de 37 mm passando a 81mm em novembro e a erosividade superior anual foi de 7999,34 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹, situação de transição que se assemelha ao estudo realizado na região do médio Solimões.

3.1. Fator de erodibilidade

Para o estudo foram identificadas 10 associações de solos para as três ordens, subordens e grande grupo encontrados sendo Argissolo Vermelho Amarelo distrófico; Latossolo Amarelo Distrófico e Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico.

Dos valores de K obtidos através da análise bibliográfica foram considerados os obtidos em pesquisas realizadas em campo nas diversas regiões de ocorrência das manchas dos solos **Figura 2**.

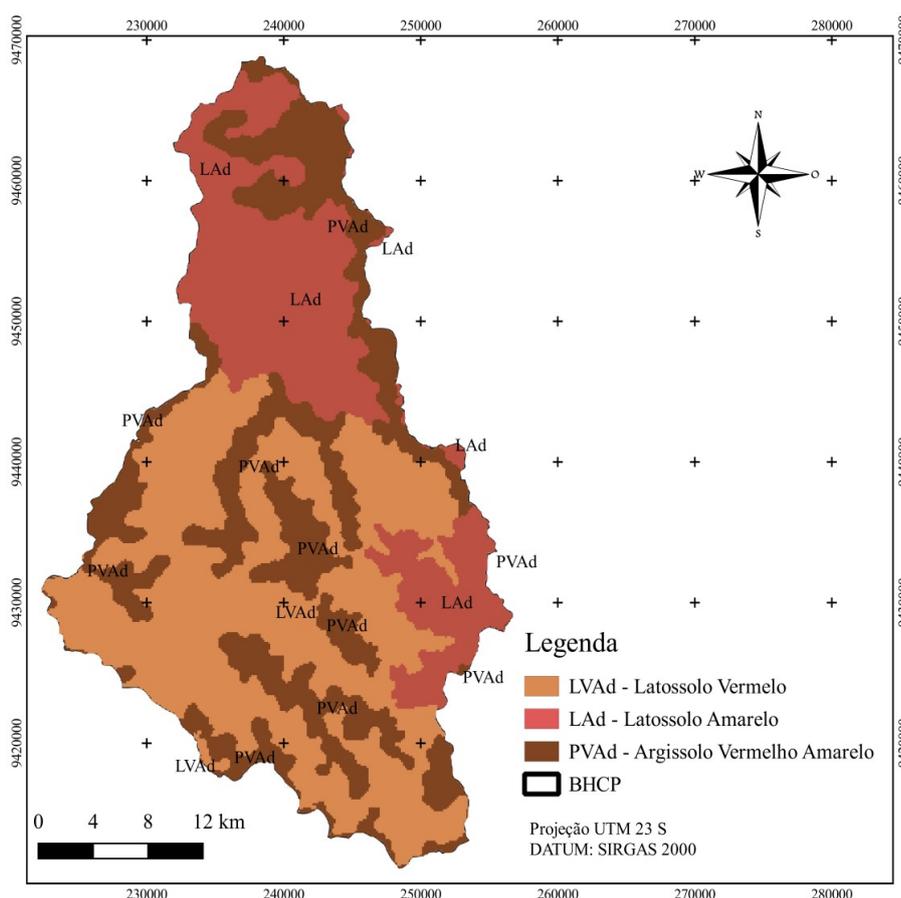


Figura 2: Fator K encontrado para os solos bacia do córrego Pequiá. Fonte: Autoria própria, 2021.

Na região existem superfícies dissecadas em escarpas que representam áreas de elevada susceptibilidade erosiva (CORREIA FILHO *et al.*, 2011; AÇAILÂNDIA, 2017). A maioria dos solos encontrados se enquadram em grupos areno-argilosos apresentando texturas que condicionam o comportamento erosivo (MARÇAL; GUERRA, 2003; CPRM, 2017).

Os Latossolos são formados por material intemperizado, com horizonte B latossólico que se apresenta embaixo ao horizonte superficial de qualquer tipo, sendo desprovidos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo (JACOMINE, 2008).

Na bacia do córrego Pequiá se observa que 30.226,78 hectares possuem solos classificados como Argissolos Vermelho Amarelo, 27.181,43 hectares possuem Latossolo Amarelo e 44.049,14 hectares possuem Latossolo Vermelho Amarelo, correspondendo respectivamente a 29,8%, 26,8 % e 43,42% do total da bacia.

Dependendo da classificação, os solos podem ser eutróficos que propiciam maior produtividade agrícola, álicos e distróficos que podem possuir maior acidez e conseqüentemente baixa fertilidade sendo utilizados para pequenas áreas cultivadas (CALDERANO FILHO *et al.*, 2018).

Na bacia, os três solos identificados foram considerados como eutróficos levando a entender que processos erosivos tenham se formado a partir do aumento das áreas convertidas sem o adequado manejo no solo.

O maior valor de erodibilidade $0,0529 \text{ T ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ foi considerado para o Latossolo Amarelo demonstrando que 70% da área da Bacia do Córrego Pequiá poderá apresentar alguma susceptibilidade à erosão laminar, porém no estudo realizado no estado do Piauí para área suscetíveis a desertificação, os autores relataram que solos classificados como latossolo apresentaram baixa erodibilidade, onde foram encontrados 40,5% da área com Latossolos amarelo e 12,7 Argissolos vermelho amarelo (SANTOS; AQUINO, 2015).

Considerando a chave de interpretação de Mannigel (2002), podemos inferir que a bacia está classificada por solos com fatores de erodibilidade médio, alto e muito alto conforme, sendo estes para os Latossolos Amarelos, Argissolos e Latossolos Vermelho Amarelos respectivamente .

3.2. Fator LS

Com base na **Figura 3** o fator LS é mais influente na parte oeste da bacia, região que possui mais divisores de água portanto maiores altitudes e declives estando mais próxima da cidade de São Francisco do Brejão, sendo possível observar pontos de deposição de material particulado próximo ao córrego e pontos de erosão nas áreas com maior declividade na bacia.

Um estudo que analisou a perda de solo na bacia do Rio Una no interior do Estado de São Paulo verificou que áreas com os menores valores para o Fator Topográfico como sendo da região norte da bacia, onde se localiza a área urbana e as menores altitudes e declividades, de acordo com Silva *et al.* (2017), semelhante a observação realizada para fator topográfico na bacia do córrego Pequiá.

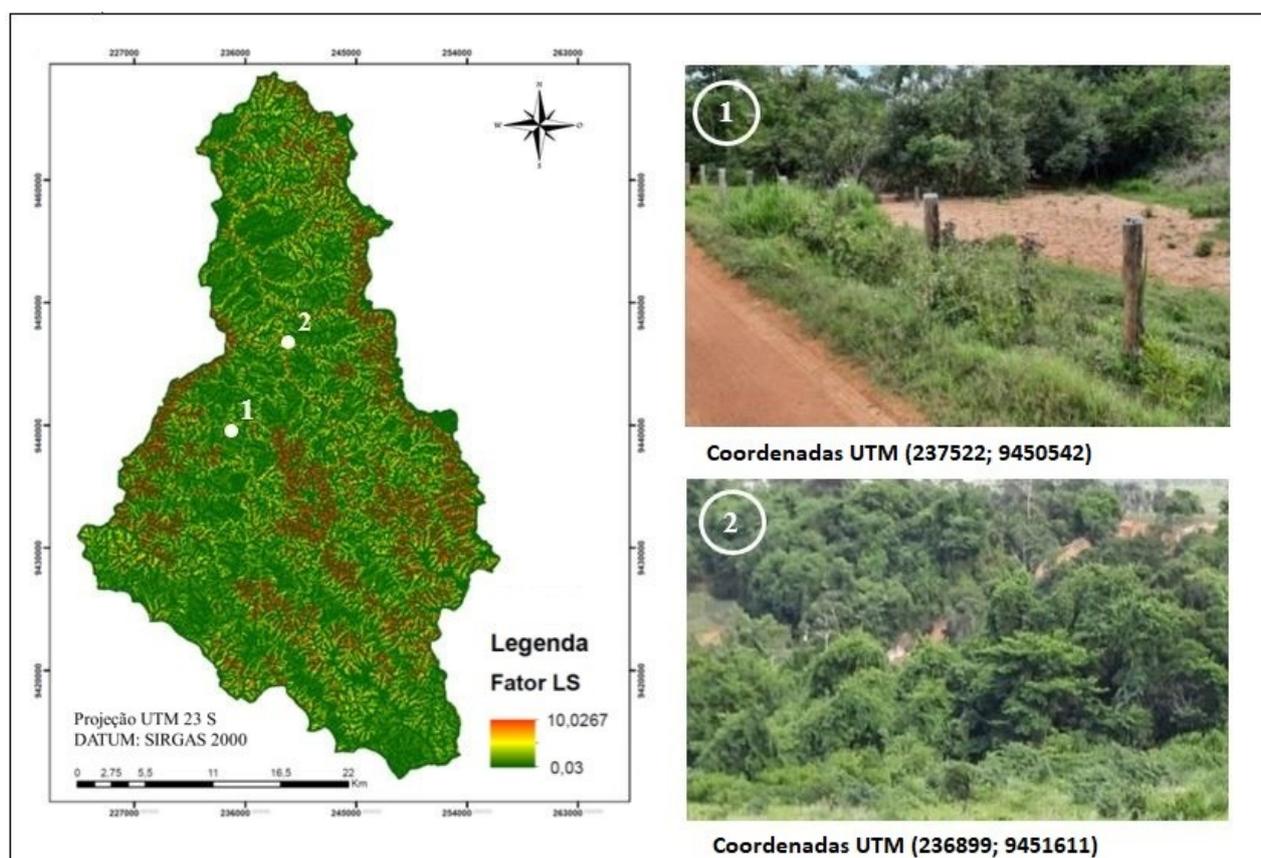


Figura 3: Mapa do fator topográfico da bacia do Pequiá com ponto de erosão e deposição de solo na bacia. Fonte: Autoria própria, 2021.

Para o estudo realizado na bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão no município de São Carlos – SP, os autores demonstraram que o fator LS na bacia estudada teve em 40% da área maior deposição do que carreamento de sedimentos por terem encontrado o fator LS < 1, e que o relevo atuou como amenizador do processo erosivo (SOUZA *et al.*, 2019a).

Observa-se que na bacia do córrego Pequiá a porção superior a leste apresenta valores abaixo de 1 o que nos permite inferir que os processos erosivos sejam menores devido a declividade e vegetação secundária existente.

3.3. Fator CP

A erosão hídrica pode aumentar, caso não ocorra manejo e práticas conservacionistas adequados ao tipo de solo elevando as taxas anuais de perda de solo na área caso ocorra a supressão de vegetação nativa e alteração das áreas de preservação permanente (LUZ *et al.*, 2020; TAKIKAWA *et al.*, 2021).

Durante a realização desta pesquisa foram observados os diferentes usos do solo dentro da bacia do Pequiá, representada na **Figura 4**, estando algumas consideradas como ações antrópicas de impacto ambiental relevante para o curso d'água Córrego Pequiá.

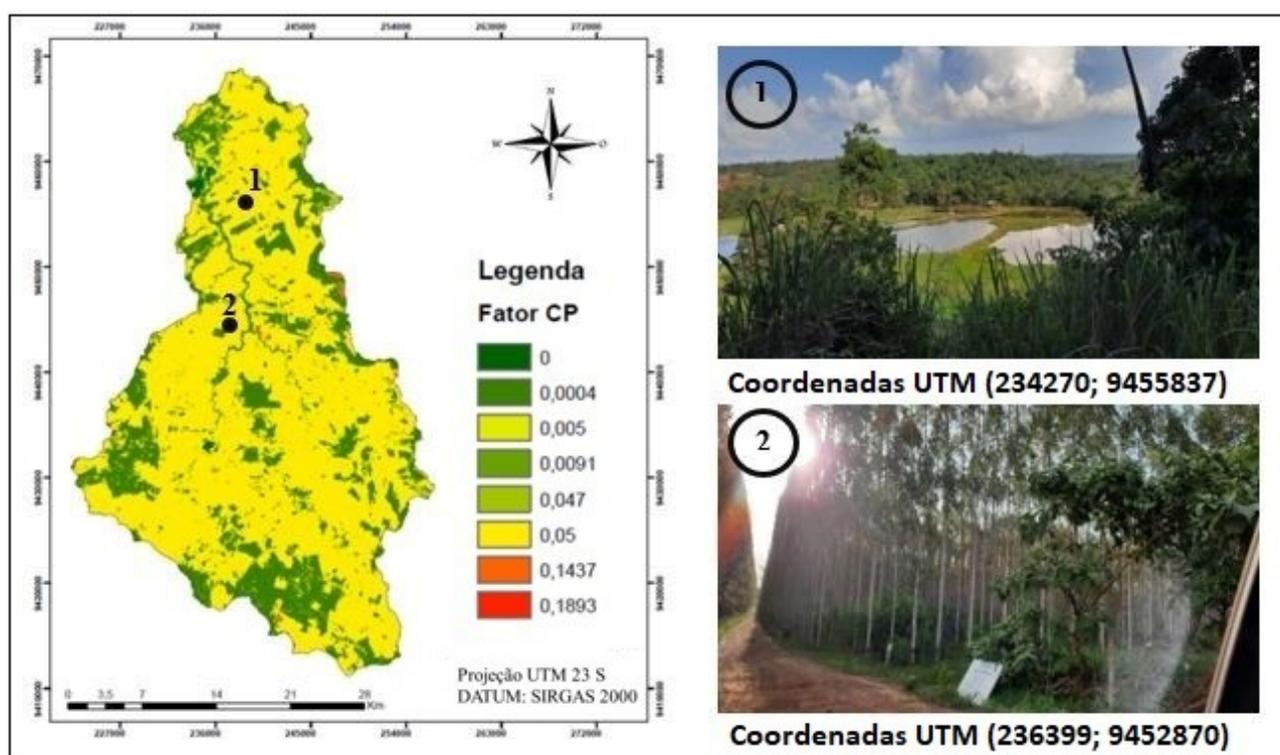


Figura 4: Mapa do Fator CP e área de açudes e plantios de Eucalyptus. Fonte: Autoria própria, 2021.

Na bacia do córrego pequiá através do mapa de uso de solos se observa que 73,75% da área total foi convertida em pastagens e que somadas a outras áreas antropizadas como florestas plantadas, formação campestre (áreas já alteradas), infraestrutura, soja e lavouras temporárias correspondem a 75,49% da bacia.

Atualmente áreas naturais somam apenas 24,48 %, e por tratar-se de Bioma Amazônico a formação florestal nativa deveria estar com 80% de vegetação, conforme a legislação ambiental vigente.

Áreas pontuais de encosta que apresentaram valor CP 0,05 e fator LS 2,37 vem sofrendo perda de solo podendo apresentar potencial erosivo na Bacia do Córrego Pequiá, o que também é demonstrado pelo estudo desenvolvido por Miguel *et al.* (2021) na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, localizada no Rebordo do Planalto do estado do Rio Grande do Sul (RS) de lavouras com CP 0,29 apresentaram áreas onde a erodibilidade do solo foi maior variando entre 0,05 a 0,06 t h MJ⁻¹ mm⁻¹ e o fator LS com intervalo menor entre 0,03 a 1.

3.4. USLE

A equação universal de perdas de solo estabelecida como modelo empírico possibilita estabelecer a perda média anual de terra por erosão hídrica (PROCHNOW *et al.*, 2005), através da observação e conhecimento dos fatores locais que induzem ao processo erosivo (TONIOLO *et al.*, 2021).

No mapa com os resultados da equação USLE **Figura 5** os valores médios anuais potenciais de perda de solo para a bacia hidrográfica do Pequiá, foi de 17.180,83 t/ha/ano que variou de 12,6546 t/ha/ano nas áreas de menor declividade até 34.349,4 t/ha/ano nos terrenos acidentados da bacia. Na bacia do córrego Pequiá observou-se que a porção oeste da bacia em alguns pontos foi superior a 15.590 t/ha/ano.

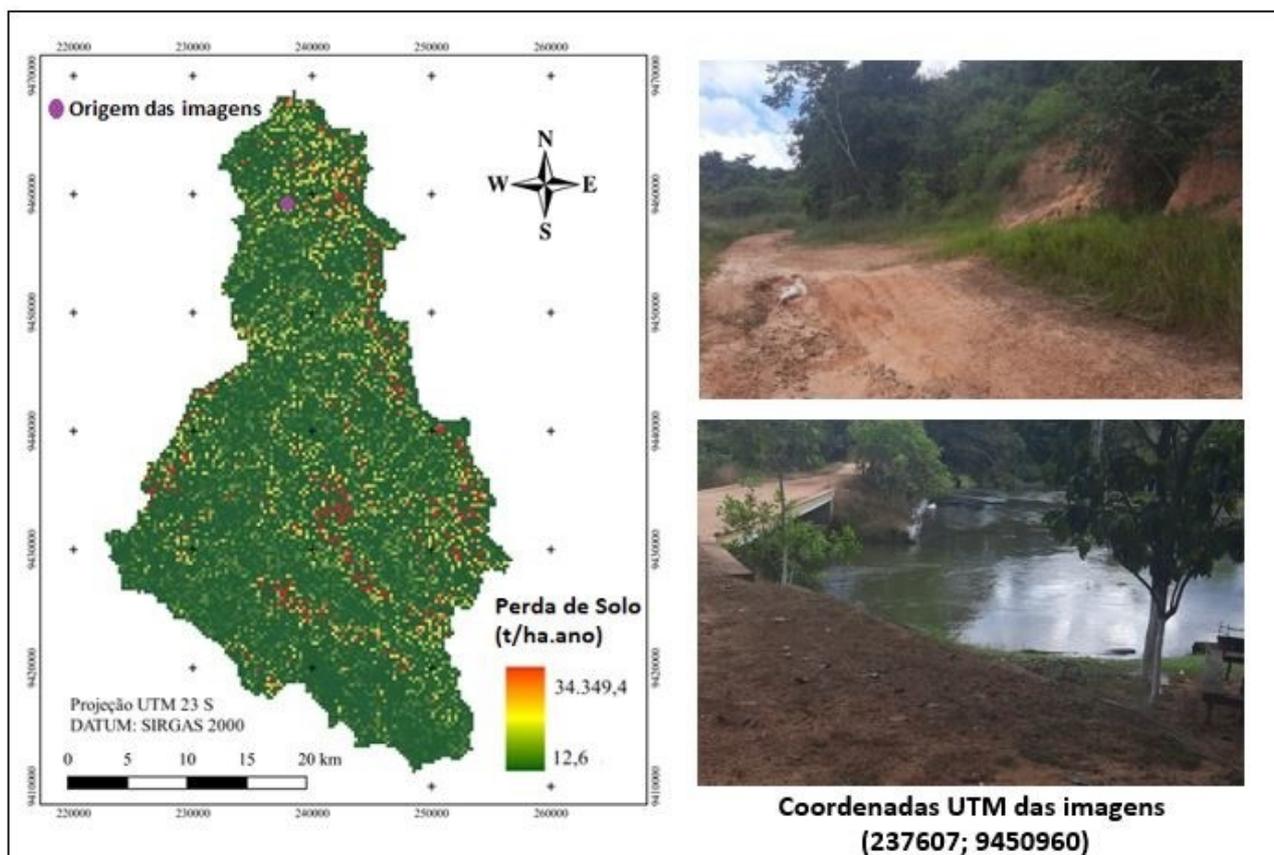


Figura 5: Mapa da perda de solo anual com fotografias identificando ponto de erosão próximo a estrada e a margem esquerda de um curso de água. Fonte: Autoria própria, 2021.

Na sub-bacia localizada na fazenda experimental Canchim da Embrapa no município de São Carlos, no Estado de São Paulo, os pesquisadores Silva *et al.* (2010) observaram que o menor valor de perda de solo foi de 0,39 t/ha/ano em vegetação nativa e os maiores valores foram de 32,50 t/ha/ano para cultura de cana e 42 t/ha/ano para milho.

Na bacia hidrográfica do córrego Pequiá grande parte da área encontra-se com gramíneas degradadas e considerando que o fator topográfico (LS) em áreas de encosta chegou a 2,75, ocorre a possibilidade de sofrer erosão. Foram observados valores elevados de perda de solo nas sub-bacias do alto Pequiá que foi de 19.640 t/ha/ano onde se observou áreas com pastagens e os maiores valores foram encontrados nas sub-bacias do médio Pequiá e Mosquito que variaram respectivamente de 34.349 t/ha/ano e 27.509 t/ha/ano.

4. Conclusão

Os resultados mostraram que a severidade da erosão pode ocorrer devido à formação e renovação de pastagens em declive e a ausência de medidas de práticas conservacionistas em alguns trechos da bacia, onde foi observada a supressão da vegetação nativa.

Estando a bacia no processo contrário ao que recomenda a legislação ambiental para o bioma Amazônico, nota-se que existe a necessidade de ação imediata de conservação do solo e dos rios, considerando que atualmente 73,75 % da área encontra-se com pastagens em sua maioria degradadas.

Tal resultado de perda de solo pode ser atribuído a inadequadas práticas conservacionistas aplicadas a bacia, afetando diretamente a paisagem devido à intensidade das chuvas locais.

Referências

AÇAILÂNDIA. Prefeitura municipal de Açailândia. **Relatório final da política local de saneamento básico e do plano municipal de saneamento básico**. Açailândia, MA, 2017. 135p.

AZIZ, S. A.; STEWARD, B. L.; KALEITA, A. L.; KARKEE, M. Assessing the effects of DEM uncertainty on erosion rate estimation in an agricultural field. **Transactions of the ASABE**, v. 55, n. 3, p. 785, 2012.

BARROS, E. N.; VIOLA, M. R.; RODRIGUES, J. A. M.; MELLO, C. R.; AVANZI, J. C.; GIONGO, M. Modelagem da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, Tocantins. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, 2018.

BATISTA, R. A. W.; NERY, L. M.; MATUS, G. N.; SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C. Estimativa do fator de erosividade do solo da região do Vale do Ribeira Paulista, Brasil. **Formação**, v. 28, p. 441-460, 2021.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator c para as culturas de soja e trigo em três sistemas de preparo em um cambissolo húmico aluminico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 451-461, 2001.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355p.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental**. Brasília, DF: Grafimaq, 2006. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011024510.pdf. Acesso: 10 dez. 2020.

CALDERANO FILHO, B.; BACA, J.; FREITAS, A. C. R.; COSTA, B.; FONTANA, A.; BALIEIRO, F. D. C.; DONAGEMMA, G. Caracterização de pedoambientes da mesorregião oeste maranhense, microrregião de Pindaré sob diferentes níveis de pastagens. **Embrapa Cocais-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2018.

CARVALHO, A. P. P.; GUERRERO, J. V. R.; SILVA, E. V. E.; PINTO, M. J. R.; VAZ, R. M. G. F. C.; PEREIRA, C. T.; MOSCHINI, L. E. Fragilidade Ambiental à Erosão em uma Bacia Hidrográfica Antropizada no Nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, São Paulo, v. 42, n. 3, p. 07-18, 2020.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Projeto Cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, Estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Açailândia**. Brasília, DF: Serviço Geológico do Brasil, 2011, 31p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Açailândia - Maranhão**. Brasília, DF: Serviço Geológico do Brasil, 2017, 38p.

CORREIA FILHO, F. L.; GOMES, É. R.; NUNES, O. O.; LOPES FILHO, J. B. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Açailândia**. - Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011. 31 p. Disponível em: <https://trigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/15425/1/rel-carolina.pdf> Acesso em: 17 set. 2021.

COUTINHO, L. M.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; XAVIER, A. C.; ZANETTI, S. S.; MOREIRA, M. C. Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. **Revista Agro@mbiente On-line**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 01-09, 2014. Disponível em: <https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/1454>. Acesso em: 06 out. 2021.

- DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Kansas, v. 51, n.5, p. 427-433, 1996.
- DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Estimativa de perda de solos por erosão na bacia hidrográfica do ribeirão das perobas (SP) nos anos 1962 e 2011. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, [S.l.] v. 46, n. 1, p. 110-131, 2019.
- DIAS, E. R.; SILVA, R. M. Estimativa do risco à erosão do solo no município de Lucena – Paraíba. **Caminhos de Geografia**. v. 16, n. 54, p. 192–204, 2015.
- FIGLIARESE, C.; CARVALHO, J.; BATISTA, A.; BATISTA, J.; TORRES, H. Levantamento da perda de solo atual por erosão hídrica do município de Cachoeiro de Itapemirim (ES). **Cadernos Camilliani**, v.16, n. 3, p. 1525-1546, 2021.
- FOSTER, G. R.; WISCHMEIER, W. H. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, n. 12, 305-309, 1974.
- FROTA, N. V. S.; SONE, J. S.; WENDLAND, E. C. Variação espaço-temporal do fator cobertura e manejo do solo (fator c) para principais usos do solo no Cerrado. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 14., 2020, Campinas, **Resumos...** Campinas: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2020. p. 8.
- JACOMINE, P. K. T. A nova classificação brasileira de solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 5, p. 161-179, 2008.
- JEMAI, S.; KALLEL, A.; AGOUBI, B.; HABIB, A. Soil Erosion Estimation in Arid Area by USLE Model Applying GIS and RS: Case of Oued El Hamma Catchment, South-Eastern Tunisia. **J Indian Soc Remote Sens**, n. 49, p. 1293–1305, 2021.
- LAMANA, M. S. Aplicação da equação universal de perda de solo (usle) em uma microbacia hidrográfica urbana. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 14., 2020, Campinas, **Resumos...** Campinas: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2020. p. 8.
- LOURENÇO, R. W.; SALES, J. C. A.; ARANTES, L. T.; SILVA, C. V.; SILVA, D. C. C. Reflexos ambientais do desenvolvimento e expansão das atividades humanas sobre a qualidade da água. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, p. 176-198, 2022.
- LUZ, C. C. S., NEVES, S. M. A. S., RAMOS, A. W. P.; FREITAS, L. E. Avaliação da degradação ambiental a partir da perda de solo por erosão hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Jauru-MT. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 1, 2020.
- MANNIGEL, A. R. CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, p. 1335-1340, 2002.
- MARÇAL, M. S.; GUERRA, A. J. T. Indicadores Ambientais Relevantes para a Análise da Suscetibilidade à Erosão dos Solos em Açailândia (MA). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, n. 2, 2003.
- MARÇAL, M. S.; RAMALHO, R. S.; GUERRA, A. J. T. Análise multitemporal do Município de Açailândia – Maranhão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 10, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos, INPE. CD-ROM, p. 1-8.
- MCCOOL, D. K., BROWN, L. C., FOSTER, G. R., MUTCHLER, C. K., MEYER, L. D. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the ASAE**, v. 30, n. 5, p. 1387-1396, 1987.
- MIGUEL, P., DALMOLIN, R. S. D., MOURA-BUENO, J. M., SOARES, M. F., CUNHA, H. N. D., ALBERT, R. P., LEIDEMER, J. D. Mapeamento da erodibilidade e erosão potencial do solo em uma bacia hidrográfica de encosta. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 26, 01-09, 2021.

MIRANDA, A. C. D. S. **Erosões urbanas para percepção de risco: o caso das voçorocas na cidade de Açailândia-MA.** 2019. 111f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

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, n. 1, p. 84-105, 2017.

SILVA NETO, J. C. A. S.; ALEIXO, N. C. R. Erosividade da chuva na região do médio Solimões, Amazonas, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 77, p. 01-17, 2020.

PARANHOS FILHO, A. C.; FIORI, A. P.; DISPERATI, L.; LUCCHESI, C.; CIALI, A.; LASTORIA, G. Multitemporal evaluation of soil loss in the Taquarizinho Basin, Mato Grosso do Sul–Brazil. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 52, p. 49-59, 2003.

PROCHNOW, D.; DECHEN, S. C. F.; MARIA, I. C.; CASTRO, O. M. D.; VIEIRA, S. R. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 91-98, 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832005000100010&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 20 jan. 2021.

RODRIGUES, J. A. M.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; RODRIGUES M. C. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Cervo–MG. **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 531-542, 2017.

SANTOS, F. A.; AQUINO, C. M. S. Estimativa da erodibilidade dos solos em área suscetível à desertificação, no estado do Piauí: o caso dos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí. **Revista GeoPantanal**, v. 10, n. 19, p. 101-111, 2015.

SILVA, D.C.C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SALES, J.C.A; LOURENÇO, R. W. Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.l.], v. 42, p. 72 - 85, 2017.

SOUZA, A. R.; DUPAS, F. A.; DRUMMOND, I. N.; COSTA, C. W. Zoneamentos da vulnerabilidade ambiental e expectativa de perda de solo: é possível usar a usle na determinação de vulnerabilidade ambiental? **Geociências (São Paulo)**, v. 38, n. 4, p. 1105-1119, 2019a.

SOUZA, F. L. P.; LEME, M. C.; SARTORI, A. A. C.; MANZATO, C.L.; CAMPOS, S. Geotecnologias na avaliação de perdas de solo. **Irriga**, v. 24, n. 3, p. 624-644, 2019b.

TAKIKAWA, B. Y.; SILVA, D. C. C.; LOURENÇO, R. W. Proposta metodológica para elaboração de um indicador de fragilidade ambiental para fragmentos florestais. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 41, p. e170587, 2021.

TONIOLO, B. P.; PAIXAO, B. M.; SILVA, D. C. C.; MEDEIROS, G. A.; PECHE FILHO, A.; RIBEIRO, A. I. . Análise Espacial de Perda de Solo por Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim - SP. **Guaju**, v. 7, p. 209-236, 2021.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning.** Washington: USDA, 1978. 58p.



Este artigo é distribuído nos termos e condições do *Creative Commons Attributions/Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual (CC BY-NC-SA)*.