



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Recife

Departamento de Ambiente, Saúde e Segurança- DASS

Licenciatura em Geografia

DEYSE FERREIRA DA SILVA

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE PERDA DE SOLO NA ÁREA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO JABOATÃO-PE**

Recife

2021

DEYSE FERREIRA DA SILVA

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE PERDA DE SOLO NA ÁREA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO JABOATÃO-PE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, campus Recife, como requisito para obtenção do título de Licenciada em Geografia.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Manuella Vieira Barbosa Neto

Recife

2021

Ficha elaborada pela bibliotecária Maria do Perpétuo Socorro
Cavalcante Fernandes CRB4/1666

S586a

2021 Silva, Deyse Ferreira da

Análise do potencial de perda de solo na área da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão - PE. /
Deyse Ferreira da Silva. --- Recife: O autor, 2021.

65f. il. Color.

TCC (Curso de Licenciatura em Geografia) – Instituto Federal de Pernambuco, Departamento
Acadêmico de Ambiente, Saúde e Segurança - DASS, 2021.

Inclui Referências.

Orientador: Professora Dra. Manuella Vieira Barbosa Neto.

1. Solos – Erosão. 2. Bacia hidrográfica. 3. Geoprocessamento. 4. Modelagem
ambiental. 5. rio Jaboatão. I. Barbosa Neto, Manuella Vieira (orientadora). II. Instituto

Federal de Pernambuco. III. Título.

CDD 631.45 (22 ed.)

DEYSE FERREIRA DA SILVA

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE PERDA DE SOLO NA ÁREA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO JABOATÃO – PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – *Campus* Recife, como requisito para a obtenção do título de Licenciada em Geografia.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e **APROVADO** em 27 de maio de 2021 pela Banca Examinadora:

Manuella Vieira Barbosa Neto (IFPE/CGEO) – Orientadora
Doutora em Geografia – UFPE

Oswaldo Girão da Silva (UFPE/PPGEO) – Examinador Externo
Doutor em Geografia - UFRJ

Enildo Luiz Gouveia (IFPE/CGEO) – Examinador Interno
Doutor em Geografia – UFPB

Recife – PE

2021

Dedico esse trabalho a Deus e a todos que de alguma forma contribuíram para tornar esse sonho real.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me guiado a escolher a Geografia, me instruído e cuidado de mim durante toda essa jornada.

Agradeço a todo corpo docente que compõe o curso de Licenciatura em Geografia do IFPE, campus Recife, por todo aprendizado ao longo desses quatro anos, em especial a professora Dr^a. Manuella Vieira Barbosa Neto, que desde cedo me acolheu, me ajudou e orientou cada passo da minha formação, sou grata por ter acreditado em mim. Ao Instituto Federal de Pernambuco – Campus Recife, agradeço pelo ambiente propício à minha evolução pessoal e crescimento profissional por todas as oportunidades de participar dos programas e pela concessão das bolsas.

Agradeço a minha família por me oferecer segurança e apoio enquanto busco por meus sonhos, a minha mãe, que nunca me deixou desistir. Aos meus parceiros do maralto Deivid Roque, Izabelly Oliveira, Diogo Silva, que sempre estavam dispostos a me ajudar, em especial José Fernando que caminhou comigo no PIBEX, PIBIC e TCC, compartilhando alegrias e tristezas.

Por fim, vou ser eternamente grata a todos que direta ou indiretamente me ajudaram a chegar até aqui.

*“Eu o instruirei e o ensinarei no caminho que
você deve seguir; eu o aconselharei e cuidarei
de você.”*

Bíblia Sagrada – Salmos 32:8

RESUMO

A erosão hídrica é um dos problemas ambientais mais frequentes, causando diversos danos materiais e humanos. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a dinâmica da erosão a partir de uma análise do potencial de perda de solos na bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco. Com este propósito utilizou-se a Equação Universal de Perda de Solos – EUPS, que integra os seguintes fatores: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), fator topográfico (LS) e fator de uso e conservação do solo (CP), com a utilização de recursos de Geoprocessamento. Realizou-se uma análise comparativa do que foi indicado no mapeamento de perda de solo com informações observadas em campo. O maior potencial de ocorrência de erosão está no médio e alto curso da bacia, com valores acima de 10 toneladas por hectare ao ano, apresentando uma condição de erosão muito problemática, totalizando 45,83% da área. No entanto, os valores vão diminuindo à medida que se aproxima do seu baixo curso, com potencial a perda de solo de ligeira ou nenhuma, somando 54,17% da área. Dentre os fatores da EUPS, o comprimento de rampa e a declividade do terreno (Fator topográfico), assim como, o uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (Fator CP), possuem grande contribuição no aumento do valor da perda de solo anual da bacia. Com a análise comparativa entre o uso da terra aplicado na área e o mapeamento de perda de solo anual da bacia, foi possível observar que a Equação Universal de Perdas de solo (EUPS) é uma ferramenta de boa aplicabilidade e estimativa, fornecendo dados que coincidem com a realidade, visto que, foi observado nos dados de campo forte presença de processos erosivos e mau uso do solo com remoção da vegetação natural, encostas, estradas e margens do rio expostas à erosão e construções irregulares em áreas de declive. Por fim, foi possível concluir que a utilização integrada da EUPS em ambiente SIG se mostrou uma técnica eficiente para a representação espacial das perdas de solo e a identificação das áreas suscetíveis à erosão pluvial na área de estudo em tela.

Palavras-chave: Erosão hídrica. EUPS. Modelagem ambiental. Geoprocessamento. Bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE.

ABSTRACT

Water erosion is one of the most frequent environmental problems, causing several material and human damages. The objective of this research was to evaluate an erosion dynamic based on an analysis of the potential for soil loss in the hydrographic basin of the Jaboatão river, located on the coast and forest zone, center of Pernambuco. For this purpose, the Universal Soil Loss Equation - USLE was used, which integrates the following factors: rain erosivity (R), soil erodibility (K), topographic factor (LS) use and management of the soil and conservation practices (CP), with the use of Geoprocessing resources. A comparative analysis of what was indicated in the mapping of soil loss with information observed in the field was carried out. The greatest potential for erosion to occur is in the medium and high course of the basin, with values above 10 tons per hectare per year, changing a very problematic erosion condition, totaling 45.83% of the basin area. However, the values are decreasing as it approaches its low course, with potential for slight or no soil loss, totaling 54.17% of the basin area. Among the factors of the USLE, the length of the ramp and the slope of the terrain (Topographic factor), as well as the use and management of the soil and conservation practices (Factor CP), have a great contribution in increasing the value of the annual soil loss of the basin. With a comparative analysis between the land use applied in the area and the annual soil loss mapping of the basin, it was possible to observe that the Universal Equation of Soil Losses (USLE) is a tool of good applicability and estimation, data that coincide with the reality, since, in the field data there was a strong presence of erosion processes and the bad use of the soil with removal of natural vegetation, slopes, roads and river banks exposed to erosion and irregular constructions in sloping areas. Finally, it was possible to conclude that the integrated use of USLE in a GIS environment proved to be an efficient technique for the spatial representation of soil losses and the identification of areas susceptible to rain erosion in the study area on screen.

Keywords: Water erosion. USLE. Environmental modeling. Geoprocessing. Basin of the Jaboatão river.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco	28
Figura 2 – Mapa de classificação dos solos da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco	29
Figura 3 – Representação da metodologia usada para obtenção do fator LS.....	35
Figura 4 – Fluxograma metodológico para aplicação da EUPS para área da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco	38
Figura 5 – Erosividade da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco	40
Figura 6 – Erodibilidade da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.....	42
Figura 7 –Fator LS da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.	45
Figura 8 –Fator CP na bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.	47
Figura 9 –Perda de solo anual da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco	48
Figura 10 – Pontos de campo para descrição e análise do uso do solo em áreas com potencial de perda de solo anual da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de erosividade da chuva média anual e mensal	31
Tabela 2 – Dados de granulometria e matéria orgânica dos perfis representativos: Latossolo e Argissolo da bacia do Rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco (2020)	32
Tabela 3 – Código de permeabilidade das classes texturais dos horizontes de solo	33
Tabela 4 – Classes de erodibilidade do solo	34
Tabela 5 – Classes de declividade	34
Tabela 6 – Classes do fator topográfico (LS)	35
Tabela 7 – Categorias de ocupação e valores correspondentes a CP e C (2020)	36
Tabela 8 – Classes de susceptibilidade do solo à erosão pluvial	39
Tabela 9 – Valores de pluviosidade média mensal e anual e erosividade dos municípios da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão-PE, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco	41
Tabela 10 –Valores de erodibilidade para os horizontes A e B e para as classes de solo com maior área na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão-PE, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.....	43
Tabela 11 –Classes de LS na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco (2020).....	44
Tabela 12 –Classes de uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão-PE, e valores correspondentes de CP e sua porcentagem na bacia.....	46
Tabela 13 –Classes de perda anual do solo na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição dos pontos de campo utilizados na análise comparativa entre o potencial de perda de solo e o uso da terra praticado na bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.....	51
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

- APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima
- APP – Área de Preservação Permanente
- CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente
- CTR – Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária
- EUA – Estados Unidos da América
- EUPS – Equação Universal de Perdas de Solo
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IFPE – Instituto Federal de Pernambuco
- MDE – Modelo Digital de Elevação
- PR – Ponderação Regional
- SAGA – Sistema para Análises Geocientíficas Automatizadas
- SIG- Sistemas de Informações Geográficas
- TauDEM – Terrain Analysis Using Digital Elevation Models
- VCANs – Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
- ZAPE – Zoneamento Agroecológico de Pernambuco
- ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 Erosão.....	16
2.2 Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS.....	18
2.2.1 Erosividade (FATOR R).....	19
2.2.2 Erodibilidade (FATOR K).....	21
2.2.3 Fator topográfico (FATOR LS).....	22
2.2.4 Uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (FATOR CP).....	23
2.3 Importância da avaliação de perda de solo.....	24
2.4 Geoprocessamento aplicado ao estudo da erosão.....	25
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 Localização e caracterização da área de estudo.....	28
3.2 Metodologia.....	30
3.2.1 Erosividade (FATOR R).....	30
3.2.2 Erodibilidade (FATOR K).....	31
3.2.3 Fator topográfico (FATOR LS).....	34
3.2.4 Uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (FATOR CP).....	36
3.2.5 Perda de solo anual.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1 Erosividade (FATOR R).....	40
4.2 Erodibilidade (FATOR K).....	42
4.3 Fator topográfico (FATOR LS).....	44
4.4 Uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (FATOR CP).....	45
4.5 Perda de solo anual.....	47
4.5.1 Análise detalhada do uso da terra aplicado em áreas com potencial de perda de solo.....	50
5 CONCLUSÕES.....	56
6 REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

Erosão é o processo de remoção de partículas do solo causado pela água e pelo vento (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; GUERRA *et al.*, 2015; LAL, 2001), e ocorre geralmente quando o solo está sem cobertura vegetal, que funciona como uma capa protetora, uma vez o solo desnudo torna-se mais susceptível ao impacto direto das gotas das chuvas e a ação dos ventos (CARMO *et al.*, 2015).

A erosão pode ser classificada, quanto ao agente causador, como eólica ou hídrica. No primeiro tipo, o principal agente responsável pelo desprendimento e transporte das partículas do solo é o vento e, no segundo tipo, a água (PEREIRA *et al.*, 2015). A erosão pluvial é uma das maiores causas de depauperamento de solo no mundo, principalmente em locais de clima tropical, como o Brasil que, diferente de outras regiões do planeta, possui índices pluviométricos elevados na maior parte do seu território. Além disso, as chuvas tendem a se concentrar em certas estações do ano, potencializando ainda mais o processo de erosão (GUERRA *et al.*, 2015; DECHEN *et al.*, 2015). De acordo com a FAO (2015), 33% dos solos do mundo estão degradados, e a erosão está entre as principais causas, eliminando de 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano, reduzindo significativamente a produtividades das culturas. As taxas médias globais de erosão estão entre 12 a 15 toneladas por hectare ao ano. Essas taxas são mais altas do que as taxas de formação de solo, portanto, representam uma ameaça global de longo prazo desse recurso.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2014), os primeiros trabalhos para desenvolver equações que avaliassem as perdas de solo de uma área datam de 1940, em Corn Belt, nos Estados Unidos, e até hoje vários estudiosos tentaram aprimorá-la a fim de que fosse possível abranger outras regiões. Em consequência de diversas modificações, o modelo aperfeiçoado, com aplicação generalizada passou a denominar-se Equação Universal de Perdas de Solo- EUPS (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A EUPS é um modelo muito utilizado para estimativa de perda de solo por erosão, pois é prática e utiliza variáveis de fácil obtenção. A Equação considera os parâmetros erosividade da chuva (Fator R), erodibilidade do solo (Fator K), comprimento de rampa e declividade (Fator LS), uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (Fator CP). Com a análise desses parâmetros é possível obter dados que contribuam para o planejamento do uso e ocupação do

solo, pois verifica-se as áreas que apresentam maior potencial para perda de solo e qual ou quais fatores estão contribuindo mais para o processo de perda de solo (LOPES *et al.*, 2011).

A aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) com técnicas de geoprocessamento especializadas, por meio de ambientes SIGs, permite estimar a perda de solo em bacias hidrográficas, favorecendo assim, o planejamento ambiental da área estudada, pois, identifica quais os principais fatores que influenciam na erosão. O uso de ferramentas de geoprocessamento pode ser considerado o melhor aliado para identificar, mensurar, interpretar, projetar, classificar e avaliar os fatores mais pertinentes para mapeamento das áreas de risco a desastres pela erosão (SOUZA *et al.*, 2019; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; CORDEIRO, 2018).

A bacia hidrográfica do rio Jaboatão localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco, apresenta susceptibilidade erosiva elevada, sobretudo nos períodos de maior intensidade pluviométrica, onde são observados, principalmente nos municípios de Jaboatão dos Guararapes e Moreno, eventos relacionados a deslizamentos em áreas de encosta. Esses eventos podem estar associados a ocupação não planejada da área da bacia que vem provocando a perda de solos continuamente, o que ocasiona prejuízos sociais, econômicos e ambientais (SOUZA, 2019; OLIVEIRA, 2019)

Diante disso, faz-se de grande importância a aplicação de modelos que visem compreender a dinâmica erosiva e a perda de solos. Nesse sentido, o trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica da erosão hídrica na área da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, através de uma análise do potencial de perda de solo, para assim contribuir com ações que visem evitar prejuízos sociais, econômicos e ambientais associados a perda de solo. Como objetivos específicos: 1. Analisar o impacto da erosividade da chuva para perda dos solos na área estudada; 2. Avaliar as características pedológicas da área para quantificar a erodibilidade e seu impacto para perda de solos na área estudada; 3. Verificar como as características geomorfológicas, referentes a declividade e comprimento de rampa influenciam na perda de solo na área estudada; 4. Analisar como a cobertura do solo influencia no aumento ou na redução da perda de solo na área estudada, e; 5. Sistematizar as informações dos atributos da Equação Universal de Perda de Solo para elaboração de um mapeamento do potencial de perda de solo para área estudada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Erosão

O termo erosão é derivado do termo *erodere* de origem latina, que significa roer, escavar. Foi usado pela primeira vez na geologia, em 1894, por Penk, para descrever o processo de remoção de materiais sólidos pela água, nas margens dos rios (BORGES, 2009). Bertoni e Lombardi Neto (2014, p. 68), descrevem erosão como “[...] o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento”.

Bennett (1939), distingue duas classes de erosão, denominadas geológica e acelerada. A geológica, mais conhecida como natural, é a que ocorre gradativamente, em um processo cíclico e equilibrado responsável pelo modelado na paisagem na superfície terrestre. Uma vez que esse ciclo é acelerado, a erosão passa a ser problemática, pois o volume de perda de solo é muito superior ao de reposição, que só pode ser feito a partir erosão geológica (RIBEIRO *et al.*, 2016). Segundo Guerra *et al.* (2015), atualmente, a erosão acelerada dos solos, tanto pela água, quanto pelos ventos, é responsável por 56% e 28%, respectivamente, da degradação dos solos no planeta.

Do ponto de vista pedogênico, a erosão eólica e pluvial, em que os agentes são o vento e água respectivamente, são as mais importantes, pois afetam grandes áreas e causam mais prejuízo. A erosão acontece em três estágios: desprendimento, transporte e deposição; embora seja um processo natural, a erosão é acelerada pelas políticas de uso e ocupação do solo, desmatamento e urbanização (LAL, 2001; ANACHE *et al.*, 2015, BORGES *et al.*, 2018).

Existem vários fatores que influenciam na intensidade do processo erosivo, dentre eles estão as chuvas, as características físico-químicas do solo, a topografia do terreno, e o uso e a cobertura vegetal do solo. A erosão do solo, portanto, é um processo complexo que envolve vários fatores, de forma e magnitude variáveis, conforme o local de ocorrência (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; CARVALHO *et al.*, 2006). Entretanto, os solos erodem não apenas por processos meramente físicos, mas porque foram desmatados e cultivados de maneira incorreta (GUERRA *et al.*, 2015).

A degradação do solo acarreta declínio de longo prazo na produtividade do solo e na capacidade de manutenção do ecossistema saudável, isso implica dizer que o declínio na qualidade do solo, ou redução nos atributos do solo tem total relação a funções no cotidiano dos

seres humanos, seja social ou economicamente (TRINDADE *et al.*, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2016).

De acordo com Lal (2001), essa problemática tem atormentado o globo desde o estabelecimento da agricultura, em tempos antigos, a degradação do solo causou a queda de várias civilizações antigas que eram prósperas. Algumas estatísticas mostram que a área de terra sujeita à degradação do solo é estimada em cerca de 2 bilhões de hectares por ano. Ainda segundo Lal (1997), as principais consequências da degradação do solo é o declínio de sua qualidade e a redução da biodiversidade.

A erosão pluvial é uma das maiores causas de depauperamento de solo no mundo, principalmente em locais de clima tropical, como o Brasil que, diferente de outras regiões do planeta, os índices pluviométricos são elevados. Além disso, as chuvas tendem a se concentrar em certas estações do ano, potencializando ainda mais o processo de erosão (GUERRA *et al.*, 2015).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2014) a erosão hídrica é o tipo de erosão responsável por 56% da degradação dos solos do mundo. O processo erosivo tende a se agravar em solos desprotegidos de vegetação, que funciona como uma capa protetora do solo, diminuindo o impacto das gotas da chuva diretamente na superfície do solo (CARMO *et al.*, 2015).

Para evitar a erosão, é preciso que se conheça a dinâmica erosiva, desde seu início, a partir do instante que as gotas da chuva caem no solo. Nesse momento, ocorre a erosão por salpicamento (*splash*), provocando a ruptura dos agregados, quebrando-os em tamanhos menores. A quantidade de partículas destacadas e a distância que são arremessadas depende de diversos fatores, tais como: tamanho e velocidade da gota da chuva e a disposição do relevo. Nesse processo também pode ocorrer a formação de crostas, que provocam a selagem do solo, impedindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial (LAL, 1999).

Quando o solo fica saturado, ou seja, todos os seus poros são preenchidos por água, tem início ao processo de escoamento superficial (*runoff*). Carvalho *et al.*, (2006) entende que a erosão superficial provocada pelo escoamento está associada ao transporte, seja das partículas ou agregados desprendidos do maciço pelo impacto de gotas da chuva, seja das partículas ou agregados arrancados pela força trativa entre água e solo. A água inicialmente acumula-se em irregularidades existentes na superfície do solo, formando poças (*ponds*) e, conseqüentemente, escoam pela superfície do solo (BORGES, 2009; CHUQUIPIONDO, 2007).

Dessa forma, a erosão pluvial pode evoluir nos seguintes estágios e formatos: laminar, ravinas e voçorocas ou boçorocas. A erosão laminar consiste na remoção de uma lâmina

homogênea de solo pelo escoamento difuso, difícil de ser detectado, que retira os nutrientes das camadas superiores do solo, prejudicando agricultores. Quando a velocidade do fluxo aumenta, ocorre a concentração do escoamento, formando ravinas. O estágio mais avançado desse processo dá origem as voçorocas, mais complexa e de difícil contenção (GUERRA *et al.*, 2015).

2.2 Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS

Os primeiros trabalhos para desenvolver equações que avaliassem as perdas de solo de uma área datam de 1940, em Corn Belt, nos Estados Unidos, e até hoje vários estudiosos tentaram aprimorá-la a fim de que fosse possível abranger outras regiões (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014). Em consequência de diversas modificações, o modelo aperfeiçoado, com aplicação generalizada passou a denominar-se Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A EUPS foi desenvolvida em 1954 no *Nacional runoff and Soil Loss Data Center* pela *Agricultural Research Service* com a colaboração da Universidade de Purdue (EUA), revisada por Wischmeier e Smith em 1965 e posteriormente em 1978, sendo essa última difundida. Esse modelo empírico é mais usado em planejamentos conservacionistas, pela simplicidade e disponibilidade de dados, também é a que possui maior divulgação (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; BORGES, 2009).

O modelo da EUPS foi desenvolvido e pensado inicialmente para avaliação da perda de solo em áreas agrícolas em trabalhos experimentais desenvolvidos no Meio Oeste dos EUA (BARBOSA *et al.*, 2015; PRUSKI, 2009), no entanto, com a avanço da urbanização em âmbito mundial, assim como no Brasil, vários trabalhos apresentam adaptações que permitem estimar o impacto das ocupações urbanas para perda de solos (CORRÊA *et al.*, 2017; GURGEL *et al.*, 2011; MIQUELONI *et al.*, 2012).

Essa equação é um instrumento valioso, uma vez que indica quais fatores estão influenciando o potencial erosivo, servindo como guia para o planejamento de uso do solo e determinação de práticas conservacionistas apropriadas para cada área (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014). A equação desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) é expressa na equação:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Onde:

A= Índice que representa a perda de solo por unidade de água;
R= Índice de erosividade (chuva);
K= Índice de erodibilidade (solo);
L= Índice relativo ao comprimento da encosta;
S= Índice relativo à declividade da encosta;
C= Índice relativo ao fator de uso e manejo do solo;
P=Índice relativo à prática conservacionista adotada.

A EUPS é um modelo muito utilizado para estimativa de perda de solo por erosão, pois é prática e utiliza variáveis de fácil obtenção (SALES, 2015; GARCÍA-RUIZ *et al.*, 2015). A Equação considera os parâmetros erosividade da chuva (Fator R), erodibilidade do solo (Fator K), comprimento de rampa (Fator L), declividade (Fator S), uso e manejo do solo (Fator C) e práticas conservacionistas (Fator P). Com a análise desses parâmetros é possível obter dados que contribuam para o planejamento do uso e ocupação do solo, pois verifica-se as áreas que estão apresentando maior perda de solo e qual ou quais fatores estão contribuindo mais para o processo de perda de solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; LOPES *et al.* 2011, CORRÊA *et al.*, 2017).

A utilização de modelos desse tipo requer boa de manipulação e cruzamentos de dados, e para isso, é essencial a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Para Desmet & Govers (1996), outro ponto a favor da EUPS é a fácil implementação em ambientes SIGs. Entretanto, de acordo com Oliveira (2004), a equação é pouco precisa para prognósticos de eventos específicos num curto espaço de tempo, pois há consideráveis flutuações das variáveis envolvidas, além de apresentar algumas limitações, tais como: (1) não considera a ocorrência simultânea dos processos de erosão e de deposição ao longo da vertente; (2) não considera a deposição nos pés das encostas; e (3) não incorpora a erosão por voçorocas, podendo causar uma subestimativa da perda de solos (BORGES, 2009).

2.2.1 Erosividade (FATOR R)

A erosão hídrica é uma das principais causas de perdas de solo na maioria das regiões do planeta, uma vez que o processo erosivo causado pela água das chuvas tem ocorrido em quase toda a superfície terrestre. Nas regiões tropicais e subtropicais estas perdas são maiores, devido ao elevado índice pluviométrico (HERNÁNDEZ *et al.*, 2018).

O índice numérico que expressa a capacidade da chuva de provocar erosão é chamado de erosividade, que revelando o potencial erosivo numa área sem proteção vegetal. A energia cinética total da chuva e sua intensidade máxima são características importantes para determinar

o índice de erosividade (TRINDADE *et al.*, 2016; PRUSKI, 2009; GUERRA, 2007). A erosividade, se não controlada, é considerada um problema sério a nível mundial do ponto de vista ambiental, econômico e social (LEE; LIN, 2015; WANG *et al.*, 2016; SADEGHI *et al.*, 2017).

O estudo da erosividade das chuvas é bastante realizado em escala de bacia hidrográfica, sendo a mesma suficientemente grande para que seja possível demonstrar a variabilidade espacial de tal fenômeno. Dentre os índices de erosividade mais utilizados na literatura encontram-se o índice EI₃₀ proposto por Wischmeier e Smith (1978), e é o que apresenta melhor correlação com a perda de solo no Brasil (LOMBARDI NETO, 1977; CARVALHO *et al.*, 1989; SILVA *et al.*, 2010).

O índice EI₃₀ multiplica a intensidade da chuva aos 30 minutos pela energia cinética, método depois desenvolvido para a determinação do fator R do modelo da EUPS, que necessita de pelo menos 20 anos de séries históricas de precipitação para ser calculado. A energia cinética atua diretamente na desagregação das partículas de solo e no seu transporte, já a intensidade é a quantidade de chuva que atinge a superfície por unidade de tempo, quanto maior a intensidade, maior a possibilidade de perda de solo por erosão (ANGULO-MARTÍNEZ; BARROS, 2015). A relação entre intensidade da chuva e energia cinética tem sido desenvolvida nos últimos anos por diferentes autores, tais como Angulo-Martínez e Barros (2015), Lim *et al.*, (2015), Meshesha *et al.*, (2016), entre outros.

O conhecimento da erosividade, no espaço- tempo é fundamental para o planejamento de práticas de manejo e de conservação do solo e da água visando minimizar os efeitos causados pela erosão hídrica. Neste sentido, a determinação do índice de erosividade, permite identificar os meses nos quais os riscos de perdas de solo são mais elevados, razão do porquê exerce papel imprescindível no planejamento de práticas conservacionistas fundamentadas na máxima cobertura do solo possível, no período de maior capacidade erosiva das chuvas (SILVA NETO *et al.*, 2020).

Diante da sua importância, estudos sobre a erosividade das chuvas vêm sendo desenvolvidos por diversos autores ao redor do mundo, tais como: Bertoni e Lombardi Neto (2014); Back e Poleto (2017); Labrière *et al.*, (2015); Ângulo-Martínez e Barros (2015); Matos *et al.*, 2017; Waltrick *et al.*, 2015; Batista *et al.*, 2015.

2.2.2 Erodibilidade (FATOR K)

Erodibilidade significa a suscetibilidade do solo à erosão, estando este fator intrinsecamente ligado às características de cada tipo de solo, sua maior ou menor resistência à erosão de acordo suas propriedades físicas (textura, estrutura, permeabilidade e densidade), químicas, biológicas e mineralógicas. Um solo com alta erodibilidade sofrerá mais erosão que um solo com baixa erodibilidade, mesmo estando em condições de chuva, declividade do terreno e cobertura e manejo do solo iguais, pois, a ocorrência da erosão depende das propriedades e características do solo (GUERRA *et al.*, 2015; GUERRA, 2007).

As características do solo que influenciam na erodibilidade dos solos pela erosão hídrica são aquelas que: afetam a infiltração da água no solo, resistem a degradação pelo impacto da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo em relação aos processos erosivos (DUARTE *et al.*, 2020).

O valor quantitativo desse fator é determinado experimentalmente em parcelas unitárias, sendo expressas, como perda de solo (A) e por unidade de índice de erosão da chuva (EI). A determinação das medidas de valor de K, conforme as normas estabelecidas pela EUPS são custosas e requerem muito tempo e trabalho para isolar os efeitos de outros fatores no solo. Tais motivos tornaram necessária a estimativa do fator K por outros meios mais fáceis, denominados métodos indiretos de determinação da erodibilidade (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; MANNIGEL *et al.*, 2002).

Existem três maneiras diferentes de determinar a erodibilidade de um solo. A primeira envolve a determinação do fator K em campo, sob chuva natural, o que torna o método demorado e oneroso. A segunda, se assemelha a primeira, porém, sob condições de chuva simulada. Esses dois métodos são considerados padrões e refletem a erodibilidade do solo como é recomendada pela EUPS (WISCHMEIER; SMITH, 1978). O terceiro e último método é classificado como indireto, e é bastante utilizado por sua fácil aplicação. Ele se baseia em regressões múltiplas de variáveis independentes de atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo, correlacionados com o fator K, e obtido pelos métodos padrões (BORGES, 2009).

Dentro do método indireto, pode-se destacar autores como Wischmeier *et al.*, (1971), que propôs monograma com os dados dos solos dos Estados Unidos e Dernadim (1990) desenvolveu uma equação para determinar a erodibilidade dos solos brasileiros a partir de

parâmetros físicos (silte, areia, argila, permeabilidade, diâmetro médio ponderado das partículas menores que 2 mm) e químico (teor de matéria orgânica) (DUARTE *et al.*, 2020).

É de suma importância a identificação das áreas cujos solos sejam suscetíveis a erosão, sobretudo, em regiões onde não existem planejamentos de conservação do solo, bem como o estudo das características do solo que são mais vulneráveis a esse fenômeno, visando a obtenção de uma metodologia de controle da erosão, e conseqüentemente evitar voçorocas que possam não ser mais controladas ou estabilizadas, inutilização de áreas aptas à agricultura, assoreamento de rios, lagos e reservatórios (ARRAES *et al.*, 2010).

2.2.3 Fator topográfico (*FATOR LS*)

As características do relevo influenciam diretamente na intensidade de erosão da chuva. Os fatores que representam o relevo na EUPS são o comprimento de rampa (L) e a declividade (S). Esses dois efeitos são pesquisados separadamente L e S, e na equação são considerados em conjunto como fator topográfico LS (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014). O fator L, adimensional, adota a distância em metros do ponto de origem do caimento da água até um canal definido, enquanto o fator S, que é expresso em porcentagem, caracteriza-se como o ângulo ou índice da inclinação do terreno (GUERRA *et al.*, 2015).

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), quanto maiores os valores desses dois fatores, maiores podem ser as perdas de solo na área. Dentre os dois fatores, o fator L é considerado o de mais difícil obtenção, pois, manualmente é trabalhosa e onerosa, e em ambientes de Sistema de Informações Geográficas- SIG, requer a execução de vários processos para obtê-lo (DESMET; GOVERS, 1996; FORNELOS; NEVES, 2007; SILVA, 2003).

Inicialmente a EUPS foi desenvolvida apenas para a predição de erosão em trechos de declives mais uniformes. Como geralmente as vertentes são mais heterogêneas, novos procedimentos foram criados para a determinação do comprimento de rampa. A atribuição de pesos para trechos das vertentes côncavas ou convexas, por Wischmeier e Smith (1978), tornou o cálculo ainda mais complexo, tornando métodos manuais insuficientes e modelos computacionais mais viáveis para sua execução (BORGES, 2009).

Para análise do fator LS é comum utilizar ambiente SIG, a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT) que apresenta maior facilidade de manuseio dos dados e conseqüentemente

uma otimização do cálculo nessa variável da EUPS (BUENO *et al.*, 2011). Softwares como o Qgis, é um mecanismo valioso na obtenção desse fator, uma vez que contém ferramenta que gera cálculo automático de forma gratuita, o LS-Factor do Sistema para Análises Geocientíficas Automatizadas (SAGA).

Processos superficiais de perda de solo, transporte e deposição de materiais, processos pedogenéticos e climáticos atuam na variabilidade das propriedades dos solos, condicionados em grande parte pelo relevo, uma vez se encontra na paisagem em diferentes formas, o que resulta no direcionamento e velocidade de fluxo do escoamento superficial (MIQUELONI *et al.*, 2012).

É de suma importância o planejamento ambiental levando-se em consideração as características das vertentes, uma vez que, diferentes formas de vertentes influenciam no escoamento hídrico superficial e o estabelecimento das atividades em seu uso pode ser comprometido. Diversos estudos salientam a ampliação da participação do relevo na aceleração do processo de perda de solo, em função do aumento do valor do fator topográfico (PEREIRA *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2018; SOARES *et al.*, 2017; GRAÇA *et al.*, 2015; CARVALHO *et al.*, 2019; VIEL *et al.*, 2017; DJOUKBALA *et al.*, 2018; BUENO *et al.*, 2011).

A aplicação do fator topográfico na modelagem erosiva assume, assim, fundamental importância, pois, permite a prever e prevenir impactos ambientais. Nessa perspectiva, a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) tem sido amplamente utilizada e adaptada para as diferentes regiões do globo e surge como contribuição para o planejamento ambiental (PINHEIRO *et al.*, 2014).

2.2.4 *Uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (FATOR CP)*

Um dos fatores de influência na perda de solos é o seu uso e manejo e a proteção oferecida a terra, pois solos em condições desfavoráveis de cobertura apresentarão as consequências deste mau uso. São inúmeros efeitos positivos que a presença da cobertura vegetal apresenta ao solo, por ser considerada uma proteção natural contra a ação erosiva, tais como: dispersão da água; interceptação e evaporação das gotas de chuvas; proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; aumento da capacidade de retenção de água; decomposição das raízes das plantas, que aumentam a infiltração da água e reduzem a velocidade do escoamento superficial (RUTHES *et al.*, 2016).

O fator C, uso e manejo solo, é um valor adimensional e obtido de forma empírica. Consiste na relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em determinadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente coberto. A vegetação auxilia na redução do impacto das gotas da chuva na superfície, sendo, uma proteção natural ao solo contra os efeitos negativos da erosão acelerada (BASSO, 2018).

Os fatores R, K e LS dependem do C, uso e manejo do solo, pois se uma área estiver cultivada perdas de solo podem ser reduzidas ou ampliadas, a depender de como o solo estiver sendo manejado. Devem ser consideradas algumas combinações: cobertura vegetal, sequência de cultura, práticas de manejo e, do estágio de crescimento durante o período de chuvas. O fator C será obtido da relação entre as perdas de solo de um terreno com dadas condições de cultivo e outro totalmente desprotegido (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

O fator de práticas conservacionistas (P), por sua vez, representa o efeito de práticas de conservação do solo, expressando a relação entre a perda de solo com determinada prática conservacionista e a correspondente perda quando a cultura está implantada no sentido do declive (morro abaixo) (WISCHMEIER; SMITH, 1978; EDUARDO *et al.*, 2013). As práticas conservacionistas mais comuns são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

O fator C, está diretamente ligado com a proteção do solo, podendo interferir no aumento ou diminuição do processo erosivo. Logo, as práticas conservacionistas (fator P) de uso do solo são importantes para estimar as perdas de solo de acordo com diferentes tipos de culturas (BORGES, 2009). Segundo Wischmeier e Smith (1978), os fatores C e P, representados pelo fator CP, estão consideravelmente interligados, por isso devem ser analisados em conjunto. Stein *et al.*, (1987), consideram que os fatores C e P só devem ser tratados separadamente quando objetivo for definir novas formas mais adequadas de produção agrícola, porém, quando o enfoque for a perda de solos por erosão, essas variáveis estão muito correlacionadas para serem analisadas separadamente.

2.3 Importância da avaliação de perda de solo

As atividades de exploração intensiva de recursos naturais, são classificadas como de alto potencial de impacto ambiental, social e econômico (VALLE JÚNIOR *et al.*, 2010). A ocupação urbana acelerada e o manejo agropecuário inadequados têm contribuído para desencadear a exaustão dos recursos naturais. Tendo-se em vista o grande impacto causado na

qualidade e quantidade destes recursos, ações de mitigação da perda de solo e sua conservação são necessárias, para isso, a estimativa dos processos erosivos é uma ferramenta valiosa de contenção e prevenção desse e demais recursos essenciais (MIQUELONI *et al.*, 2012).

Segundo Lal (1997), estatísticas mostram que a área de terra sujeita à degradação do solo é estimada em cerca de 2 bilhões de hectares por ano, e as principais consequências da degradação do solo é o declínio de sua qualidade e a redução da biodiversidade. Atualmente, a erosão acelerada dos solos, tanto pela água, quanto pelos ventos, é responsável por 56% e 28%, respectivamente, da degradação dos solos no planeta (GUERRA *et al.*, 2015). No Brasil, são perdidos cerca de 500 milhões de toneladas de terra anualmente, correspondendo ao desgaste de 15 cm de espessura numa área de 280.000 hectares (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

A erosão acelerada é uma das formas mais prejudiciais de degradação do solo. Além de reduzir o potencial produtivo das culturas, pode causar sérios danos ambientais, como poluição dos meios hídricos, com a consequente alteração dos ecossistemas aquáticos e assoreamento dos cursos de água. Contudo, se o solo for utilizado adequadamente e se forem empregadas boas práticas agrícolas, os problemas de erosão hídrica podem ser mitigados. Planos de conservação dos solos em áreas de alta erosão necessitam de mapas de risco de ocorrência do fenômeno, que geralmente são criados a partir de modelos de erosão (BARBOSA *et al.*, 2015).

Diante disso, Bertoni e Lombardi Neto (2014), consideram a Equação Universal de Perdas de solo (EUPS) e seus fatores como uma ferramenta de boa aplicabilidade e estimativa, que fornece parâmetros para o planejamento do uso e ocupação do solo, por isso, ela vem sendo amplamente utilizada desde a sua primeira aplicação em 1940, em Corn Belt - EUA. Com as adaptações para diferentes regiões, a equação se tornou ainda mais viável e relevante para a urgência da conservação desse recurso natural não renovável tão importante que é o solo.

2.4 Geoprocessamento aplicado ao estudo da erosão

Geoprocessamento é um conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. Dentre técnicas de geoprocessamento, podemos destacar: Sistemas de Informação Geográfica (SIG), cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global e a topografia. Com a crescente demanda em busca de soluções para impactos ambientais como a erosão hídrica acelerada, houve um aumento no desenvolvimento de técnicas de geoprocessamento para a mensuração quantitativa de tais ocorrências nas últimas décadas. Modelos numéricos para a estimativa da

perda de solo existem desde a década de 1940, e se consolidaram com a criação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) na década de 1970 (D'ALGE, 2013).

De acordo com Rosa (2011), os SIG podem ser caracterizados como um sistema destinado à aquisição, armazenamento, análise, manipulação, simulação, modelagem e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre, integrando diversas tecnologias. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), relativamente mais recentes, se tornaram então, uma ferramenta sólida para o auxílio na tomada de decisão por profissionais de diversas áreas de estudo (SOUZA FILHO, 2017).

A disponibilidade de imagens capturadas por satélites também cresceu consideravelmente nos últimos anos, apresentando produtos com boa precisão e acesso facilitado. Todavia, para os produtos de alta resolução, condição necessária para estudos em escalas mais detalhadas, ainda existem limitações em disponibilidade e valor de mercado para sua obtenção (PETRI; BOURSCHEIDT, 2017).

O uso de ferramentas de geoprocessamento é muito relevante nos estudos acerca de processos erosivos e movimentos de massa, uma vez que ajudam na compreensão da gênese de muitos distúrbios que ocorrem sobre os processos geomorfológicos, auxiliando assim na reversão ou contenção de determinados impactos ambientais. Dessa forma, o uso do sistema de informações geográficas- SIGs é uma alternativa eficaz para mapeamento dos processos erosivos visando a diminuição dos riscos (SIMON; CUNHA, 2008). Segundo Steink (2003, p. 18), as técnicas de Geoprocessamento podem ser entendidas como:

[...] uma tecnologia destinada ao armazenamento e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas de aplicações envolvendo a cartografia digital, o processamento digital de imagens e os SIGs.

A utilização de modelos quantitativos foi intensamente simplificada com o desenvolvimento dos SIGs. A aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) e de técnicas de geoprocessamento especializadas, por meio do SIG, quando utilizadas em conjunto na avaliação permitem estimar a perda de solo em bacias hidrográficas. Favorecendo assim, o zoneamento ambiental e orientando o planejamento ambiental da área (PRUSKI, 2006; SOUZA *et al.*, 2019). Segundo Cordeiro (2018), o uso de ferramentas de geoprocessamento pode ser considerado o melhor aliado para identificar, mensurar, interpretar, projetar, classificar e avaliar os fatores mais pertinentes para mapeamento das áreas de risco a desastres pela erosão.

A aplicação da EUPS, em diversas escalas, tem sido facilitada pelo uso de SIGs, os quais têm se mostrado eficientes na integração de diferentes dados temáticos que cada parâmetro da

equação necessita na geração de produtos cartográficos, especialmente em estudos sobre perda de solo (BARBOSA *et al.*, 2015).

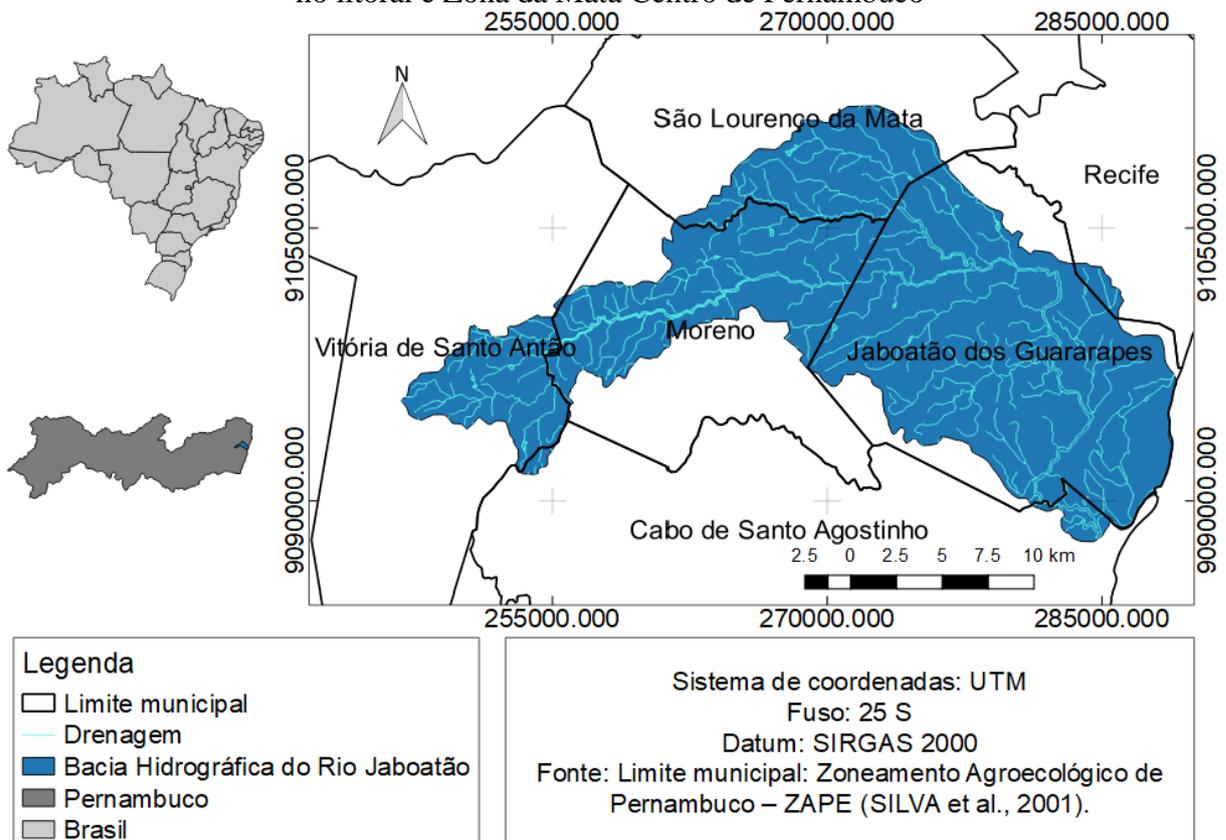
Atualmente, existe uma variedade de SIGs disponíveis de forma gratuita na rede, os quais vem gerando ótimos resultados, tornando-se assim excelentes ferramentas na execução de atividades cartográficas. Diversos autores adotam ambientes SIGs para a aplicação da EUPS e consideram uma ferramenta útil e confiável para estimativas de perda de solo, tais como: Bertoni e Lombardi Neto (2014); Barbosa *et al.*, (2015); Nicolete *et al.*, (2015); Desmet e Govers (1996); Ramalho Filho (1994), Souza *et al.*, (2019), dentre outros.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Jaboatão (Figura 1) se localiza no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco e drena uma área de 422 km², que abrange áreas dos seguintes municípios: Cabo de Santo Agostinho (27 km²), Jaboatão dos Guararapes (225 km²), Moreno (98 km²), Recife (4 km²), São Lourenço da Mata (46 km²) e Vitória de Santo Antão (42 km²). A nascente está localizada no município de Vitória de Santo Antão em terras a montante do Engenho Pereira, estando sua foz localizada em Barra de Jangada, bairro do município de Jaboatão dos Guararapes. Estima-se uma população de 450.000 habitantes que residem em maior parte em áreas urbanas (CPRH, 2016).

Figura 1– Mapa de localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco



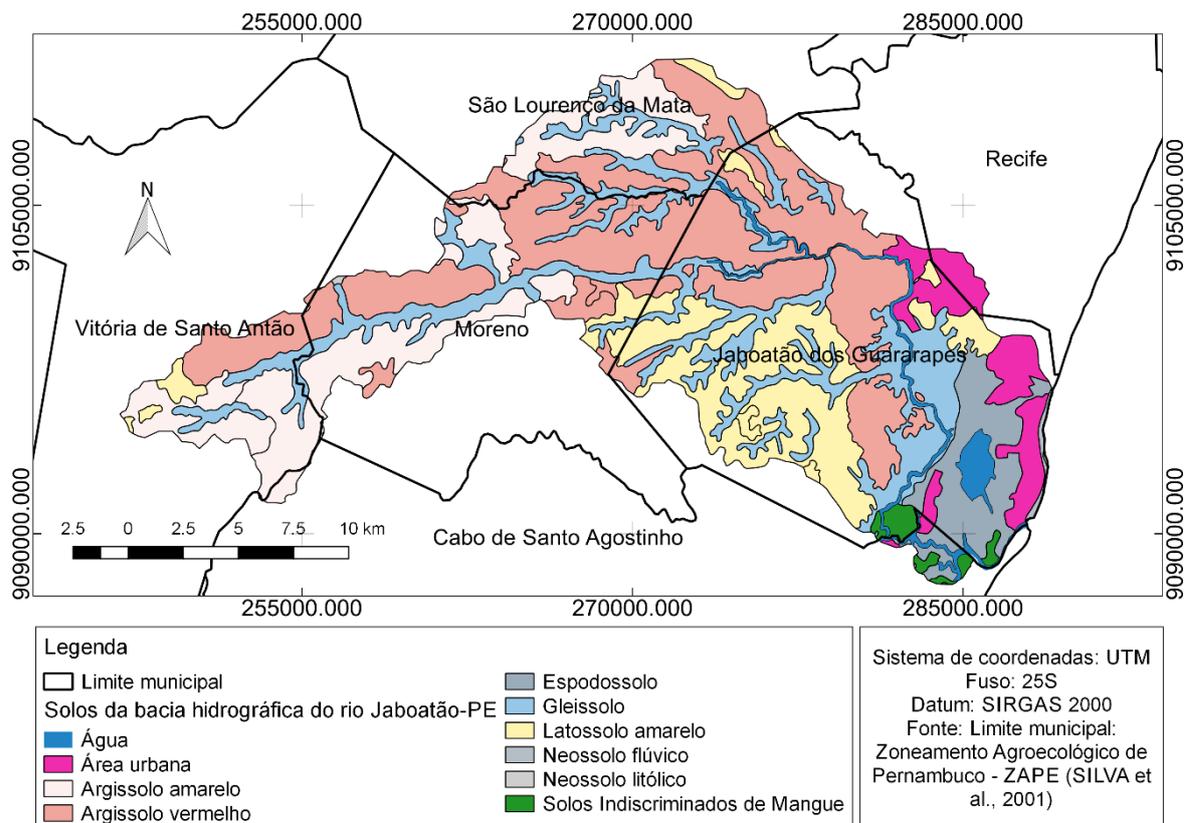
Elaboração: a autora, 2020

Apresenta susceptibilidade erosiva elevada, sobretudo nos períodos de maior intensidade pluviométrica, onde são observados, principalmente nos municípios de Jaboatão dos

Guararapes e Moreno, eventos relacionados a deslizamentos em áreas de encosta. Esses eventos podem estar associados a ocupação desordenada da área da bacia que vem provocando a perda de solos continuamente, o que ocasiona prejuízos sociais, econômicos e ambientais (SOUZA, 2019; OLIVEIRA, 2019).

Possui clima Tropical quente e úmido, com chuvas concentradas principalmente no outono-inverno, que decorrem da influência dos Distúrbios Ondulatórios de Leste e da Frente Polar Atlântica. Também recebe a ação de sistemas atmosféricos que provocam chuvas no verão-outono, como a ZCIT e os VCANs (CAVALCANTI *et al.*, 2009). Segundo dados do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE) os solos predominantes na área em estudo são: Gleissolo, Espodossolo, Latossolo Amarelo, Argissolo Vermelho, Argissolo Amarelo, Neossolo Litólico, Neossolo Flúvico e Solos Indiscriminados de Mangue (SILVA *et al.*, 2001) (Figura 2).

Figura 2 – Mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco



Elaboração: a autora, 2020

A área de estudo é predominantemente constituída por rochas pré-cambrianas de embasamento cristalino, e secundariamente por sedimentos terciários (Formação de Barreiras)

e quaternários (aluviões e sedimentos de praia). Entre as unidades geomorfológicas destacam-se: modelo cristalino, tabuleiros costeiros, faixa litorânea, e formas marinhas. Sua cobertura vegetal é composta principalmente por cana-de-açúcar, e manchas isoladas de culturas de subsistência. A vegetação nativa, mata Atlântica, encontra-se bastante devastada, em algumas áreas marginais ao rio Jaboatão, encontra-se vegetação do tipo arbórea e manguezais (GOMES, 2005; SILVA; GIRÃO, 2020).

3.2 Metodologia

Para análise do potencial de perda de solo da área de estudo optou-se pela utilização da Equação Universal de Perda de Solos – EUPS, de Wischmeier e Smith (1978) com adaptações de Bertoni e Lombardi Neto (2014); Denardin (1990); e Desmet e Govers (1996).

3.2.1 Erosividade (FATOR R)

O Fator Erosividade da chuva (R), foi calculado de acordo com o modelo proposto por Bertoni e Lombardi Neto (2014) presente na equação 1:

$$(EI) = 67,355 * (r^2 / P)^{0,85} \quad (1)$$

Onde: (EI)= média mensal do índice de erosão em MJ.mm/ha.h.ano; r = precipitação média mensal (mm) P= precipitação média anual (mm).

Para o cálculo desse parâmetro foram necessários dados da precipitação média mensal e anual que foram obtidos através do acesso ao banco de dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC, <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/>. Foram utilizados dados dos últimos 21 anos (1997 a 2017) dos postos pluviométricos existentes na área da bacia. Tais décadas foram escolhidas conforme os dados disponíveis, que iam até 2017.

Foram escolhidos os postos mais próximos dos limites de cada município que a bacia abrange, que fornecia a maior quantidade de dados, uma vez que existiam estações pluviométricas que não registraram por anos os dados de pluviosidade. A falta de registro de dados de precipitação em estações pluviométricas relativa a problemas com os aparelhos de coleta e a ausência do operador em determinadas épocas, comprometem a continuidade das informações. Para que se possa aplicar um tratamento estatístico em uma série histórica de precipitação deve-se proceder ao preenchimento das falhas existentes. Para o preenchimento de

dados pluviométricos em falta do banco da APAC, empregou-se o método da Ponderação Regional (PR) de Bertoni e Tucci (2001), expressa na equação 2:

$$Y = 1/3. (x1/xm1 + x2/xm2 + x3/xm3). Ym \quad (2)$$

Onde: Y é a precipitação do posto a ser estimado; x1, x2 e x3 são as precipitações correspondentes ao mês ou ano que se deseja preencher, observadas em três estações vizinhas; xm1, xm2 e xm3 são precipitações médias nas três estações vizinhas; e ym como a precipitação média do ponto a ser estimado.

Após o preenchimento das falhas com o método de PR, foi calculada a precipitação média mensal e anual dos meses dos últimos 20 anos das estações escolhidas, uma para cada município. Os resultados de precipitação média mensal e anual (mm) obtidos foram aplicados na equação (1) de (EI)= média mensal do índice de erosão em MJ.mm/ha.h.ano. Todas as equações foram calculadas no programa de ferramentas de visualização e análise de dados, o LibreOffice.

Para analisar os resultados de erosividade da chuva foi utilizada a classificação adotada por Santos (2008) (apud BACK; POLETO, 2017), conforme indica a tabela 1.

Tabela 1– Classes de erosividade da chuva média anual e mensal

Classe de erosividade	Valores de erosividade	
	(MJ.mm/ha.h.ano)	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ mês ⁻¹
Muito baixa	R < 2.500	R < 250
Baixa	2.500 < R < 5.000	250 < R < 500
Média	5.000 < R < 7.000	500 < R < 700
Alta	7.000 < R < 10.000	700 < R < 1.000
Muito alta	R > 10.000	R > 1.000

Fonte: Santos (2018)

3.2.2 Erodibilidade (FATOR K)

O fator Erodibilidade do solo (K), foi obtido pelo modelo proposto por Denardin (1990) e para isso foram utilizados os dados dos perfis representativos das unidades de mapeamento de solos de Pernambuco, que foram elaborados através do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (SILVA *et al.*, 2001). Para a área, devido a escala de mapeamento ser de 1:100.000 só existem disponibilizados dados de análises laboratoriais dos Latossolos e Argissolos.

Analisou-se os dados considerando de modo separado as informações dos horizontes superficiais e subsuperficiais de cada solo (Tabela 2).

Tabela 2– Dados de granulometria e matéria orgânica dos perfis representativos: Latossolo e Argissolo da bacia do Rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco (2020)

	Horizontes	Areia fina	Areia grossa	Silte	Argila	Mat. Orgânica
Latossolo	Ap, AB	15	22	13	50	27,6
	BA,Bw1,Bw2,Bw3	11,5	11,75	9	67,75	10,55
Argissolo	Ap1,Ap2,AB	26,6	12,3	26,3	34,67	27,2
	BA, Bt1,Bt2,BC1,BC2	14,6	7,4	25,4	52,6	6,32

Fonte: Silva *et al.* (2001) adaptado pela autora (2020)

Para as demais classes de solo que ocorrem na bacia: Gleissolo, Espodossolo, Neossolo Flúvico, Neossolo Quartzarenico foi extrapolado o valor da menor erodibilidade na busca de não superestimar os valores em função da baixa disponibilidade de informações. Admite-se que, o Latossolo e Argissolo abrangem maior parte da bacia, possuindo o Argissolo 48,5% da área da bacia e o Latossolo 15,2%, somando 63,7%, o que explica apenas os dois possuírem dados, devido a isso optou-se pela extrapolação do fator K para as demais classes de solo presentes na bacia.

Os Solos Indiscriminados de Mangues são solos halomórficos muito pouco desenvolvidos, lamacentos, escuros e com alto teor de sais provenientes da água do mar, formados em ambientes de mangues a partir de sedimentos fluviomarinhas recentes misturados com detritos orgânicos, de natureza e granulometria variada (EMBRAPA, 2009). São, portanto, ambientes de fundamental importância para o equilíbrio ecológico, sendo recomendados para preservação da flora e da fauna, caracterizados como Área de Preservação Permanente (APP), diante disso os solos de mangue não entraram na avaliação.

Denadin (1990) indica a realização do cálculo da erodibilidade de acordo com a equação 3:

$$K = (7,48 * 10^{-6} * M) + (4,48059 * 10^{-3} * VP) - (6,3117 * 10^{-2} * DMP) + (1,039567 * 10^{-2} * VR) \quad (3)$$

Onde: M (%) = (areia muito fina + silte) × [(areia fina + silte) + areia grossa]; VP é o valor da permeabilidade (determinado pelos valores: 1, rápida; 2, moderada a rápida; 3, moderada; 4,

lenta a moderada; 5, lenta; 6, muito lenta); DPM é o diâmetro médio ponderado das partículas de solo menores que 2 mm; e VR = [areia grossa * (Teor de matéria orgânica/100)]

Para cálculo de M (%), utilizou-se o modelo proposto por Dernadin (1990) (apud DEMARCHI *et al.*, 2014; ARRAES *et al.*, 2010; SALIS *et al.*, 2019), conforme a equação 4:

$$M (\%) = (\text{areia fina} + \text{silte}) * [(\text{areia fina} + \text{silte}) + \text{areia grossa}] \quad (4)$$

Onde: M (%): Relação granulométrica do solo

Para obter os valores de VP (valores de permeabilidade), utilizou-se a relação entre classe textural e permeabilidade, conforme Wishmeier *et al.*, (1971), expressa na tabela 3:

Tabela 3 – Código de permeabilidade das classes texturais dos horizontes de solo

Classe textural ¹	Classe de permeabilidade ²	Permeabilidade
Muito argilosa, Argilosa e Argilo-siltosa	6	muito lenta
Franco-argilo-siltosa e Argilo-arenosa	5	lenta
Franco-argilo-arenosa e Franco-argilosa	4	lenta a moderada
Franca, Franco-siltosa e Siltosa	3	moderada
Areia-franca e Franco-arenosa	2	moderada a rápida
Arenosa	1	rápida

Fonte: ¹United States Department of Agriculture (1983); ²Wischmeier *et al.* (1971), apud Demarchi *et al.* (2014)

Para descobrir a classe textural de cada tipo de solo foi utilizado o triângulo textural do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e a partir do resultado, foi diagnosticada a classe de permeabilidade de acordo a classificação de Wischmeier *et al.* (1971).

Para o cálculo do DMP foi utilizada a equação 5 proposta por Arraes *et al.*, (2010) (apud SALIS *et al.*, 201); Demarchi *et al.*, (2014), com valores indicados na tabela 2.

$$DMP: [(0,65*\text{areia grossa}) + (0,15*\text{areia fina}) + (0,0117*\text{silte}) + (0,00024*\text{argila})]/100 \quad (5)$$

Para cálculo de VR foi utilizada a equação 6 proposta por Denardin (1990) (apud SALIS *et al.*, 2019):

$$VR = [\text{areia grossa} * (\text{Teor de matéria orgânica}/100)] \quad (6)$$

Para analisar os resultados de erodibilidade do solo foi utilizada a classificação adotada por Bertoni e Lombardi Neto (1999) (apud ARRAES *et al.*, 2010), conforme indica a tabela 4:

Tabela 4 – Classes de erodibilidade do solo

Classe de erodibilidade	Valores de K (Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹mm⁻¹)
Muito baixa	< 0,010
Baixa	0,010 a 0,020
Moderada	0,020 a 0,030
Alta	0,030 a 0,040
Muito alto	> 0,040

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1999)

3.2.3 Fator topográfico (*FATOR LS*)

O fator topográfico foi obtido através de uma modelagem das altimetrias e declividades da área de estudo, através da utilização dos dados do programa TOPODATA (VALERIANO, 2008), que foram processados através da utilização do software gratuito Qgis.

Foi utilizado a metodologia de Desmet e Govers (1996), que desenvolveram um algoritmo para calcular o fator L (comprimento de rampa), a qual é considerado o fluxo acumulado como estimativa do comprimento de rampa, denominada área de contribuição, indicando o grau de confluência do escoamento. É uma variável complexa, tanto manual quanto computacional, pois reúne características do comprimento de rampa e da curvatura horizontal (VALERIANO, 2008).

Para gerar a direção de fluxo e a área de contribuição, utilizou-se um conjunto de ferramentas para construção de análises hidrológicas com base no Modelo Digital de Elevação (MDE) e no software TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models), que pode ser instalado no Qgis gratuitamente.

Para esta metodologia, o fator S (declividade) foi obtido pelo tratamento do MDE de altimetria, o algoritmo gera automaticamente os dados referentes à declividade. Para analisar os resultados, foi utilizada a classificação adotada por Ramalho Filho (1994), como indica a tabela 5:

Tabela 5 – Classes de declividade

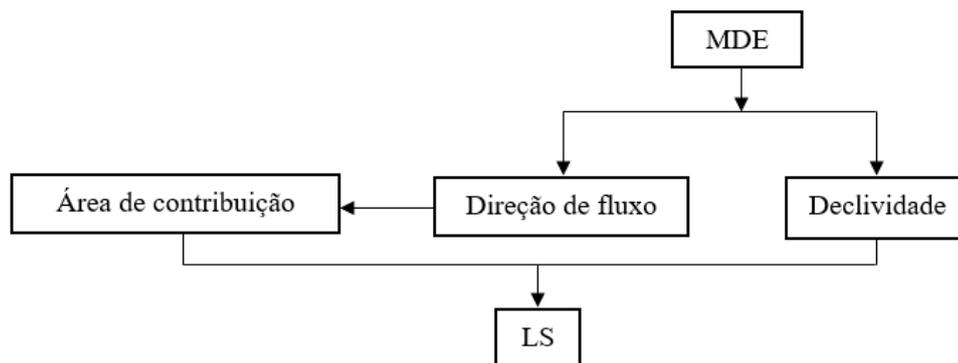
Classificação	Classes
Plano/ Praticamente plano	0-3
Suave ondulado	3-8
Moderadamente ondulado	8-13

Ondulado	13-20
Forte ondulado	20-45
Montanhoso	45-100
Escarpado	>100

Fonte: Ramalho Filho (1994)

Finalmente, o fator topográfico (LS) foi obtido com a ferramenta LS - Factor do Sistema para Análises Geocientíficas Automatizadas (SAGA), no Qgis, onde foram processados os arquivos referentes a declividade e a área de contribuição, distribuindo o fluxo proporcionalmente entre as células vizinhas. O método escolhido, como já dito anteriormente foi o de Desmet e Govers (1996). Após disposto esses dados, o algoritmo gera o fator LS automaticamente. A figura 2 trata-se da representação em fluxograma do processo metodológico, utilizado para obtenção do fator LS.

Figura 3 – Representação da metodologia usada para obtenção do fator LS



Fonte: Farinasso *et al.* (2004), adaptado pela autora (2020)

Para analisar os resultados do fator topográfico (LS) foi utilizada a classificação adotada por Fornelos e Neves (2007), conforme indica a tabela 6:

Tabela 6 – Classes do fator topográfico (LS)

LS	Classificação
0-1	Muito baixo
1,1-2	Baixo
2,1-5	Moderado
5,1-10	Moderadamente forte
10,1-50	Forte
>50	Muito forte

Fonte: Fornelos; Neves (2007)

3.2.4 Uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (FATOR CP)

O Fator uso e manejo do solo (C) e o fator práticas conservacionistas (P) foram determinados utilizando as recomendações de Bertoni e Lombardi Neto (2014) e as adaptações propostas por Stein *et al.*, (1987) e Silva (2004). Para isso, foram utilizados os dados produzidos pelo Zoneamento do uso do solo da área de estudo elaborado por Souza (2019). Utilizou-se os valores integrados de CP propostos por Stein *et al.*, (1987) pois, de acordo com os autores, as duas variáveis só devem ser tratadas separadamente quando o objetivo for definir formas adequadas para a prática agrícola, entretanto o foco do trabalho em tela é analisar a estimativa de perda de solo.

Com base nas diferentes classes de uso do solo, o fator CP foi determinado para cada classe, adaptando-se os valores propostos por Stein *et al.*, (1987) (Tabela 7) e para mineração um valor de C sugerido por Silva (2004), uma vez que, as classes de ocupação antrópicas da bacia não são influenciadas à primeira vista pelas práticas conservacionistas, como é o caso da mineração, atividade extremamente agressiva ao solo.

Tabela 7 – Categorias de ocupação e valores correspondentes a CP e C (2020)

Uso do solo	Valores CP (adimensionais)	Autores
Área urbana	0,00	Stein, et al., 1987
Água	0,00	Stein, et al., 1987
Mangue	0,00	Stein, et al., 1987
Mata	0,00004	Stein, et al., 1987
Pasto	0,01	Stein, et al., 1987
Lavoura temporária	0,20	Stein, et al., 1987
Mineração	1	Silva, 2004
Solo exposto	1	Stein, et al., 1987
Aterro sanitário	1	Stein, et al., 1987

Fonte: a autora (2020)

De acordo com Botelho (2015), a classe corpos d'água recebe valor nulo de fator CP, uma vez que áreas com água não podem perder solo. O valor nulo também foi considerado para as áreas de manguezais pois, apesar de possuírem áreas com solo, a maior parte da sua extensão encontra-se constantemente inundada, e a escala de abordagem nessa pesquisa não permite um detalhamento para esse ambiente. Nas áreas urbanas asfaltadas não se considera a aplicação e o efeito de práticas conservacionistas, obtendo um valor nulo. Entretanto, optou-se por criar

uma shape de polígonos em ambiente SIG, para classificar solo exposto dentro da área urbana, que recebeu o valor 1. O Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) recebe valor 1, por entrar nessa classificação de área urbana com solo exposto.

A partir do Zoneamento do uso do solo da bacia estudada, produzido por Souza (2019), foi realizada a mesclagem das shapes de uso do solo e solo exposto. Sendo então possível a distinção de área urbana e área urbana com solo exposto para melhor determinação dos valores de CP. A partir do arquivo vetorial elaborado e da sua reclassificação utilizando-se os valores presente na tabela 07, foi produzido o mapa do fator CP da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE.

3.2.5 Perda de solo anual

Para a estimativa das perdas anuais médias de solo, foi utilizado o modelo matemático proposto por Wischmeier e Smith (1978), conforme a equação (7):

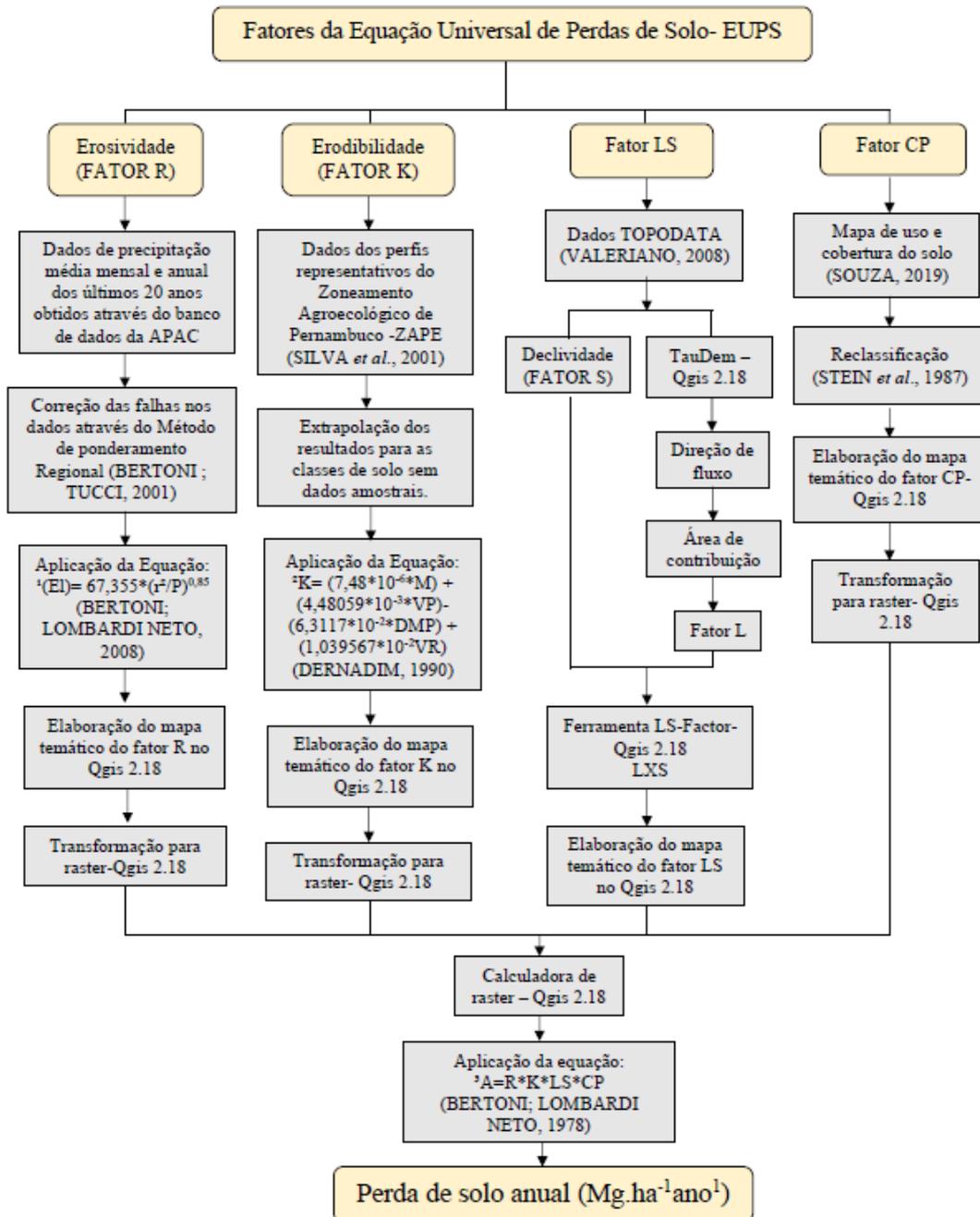
$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (7)$$

Onde A = perda de solo média anual ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), R = fator de erosividade da chuva ($\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{ano}$), K = fator de erodibilidade do solo ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$), LS = fator topográfico (adimensional), em função do fator de declividade da vertente (%) e o comprimento da rampa (m), C = fator de uso e manejo do solo (adimensional) e P = práticas de suporte ou de conservação do solo em áreas agrícolas (adimensional).

Nesse sentido, após a determinação dos parâmetros citados acima foi aplicado o cálculo da perda de solo para as unidades de mapeamento de solos da área estudada a partir do cruzamento dos fatores da EUPS utilizando - se a calculadora raster do Qgis 2.18, e após este procedimento foi elaborada a carta de perda de solo da bacia hidrográfica do rio Jaboatão - PE.

A figura 3 trata-se da representação em fluxograma do processo metodológico, utilizado para aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Contendo os métodos e procedimentos que foram necessários para o desenvolvimento do estudo e alcance de cada objetivo específico e geral.

Figura 4 – Fluxograma metodológico para aplicação da EUPS para área da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco



Fonte: a autora (2020)

Nota: ¹(El) = média mensal do índice de erosão em (MJ.mm/ha.h.ano); r = precipitação média mensal (mm); P = precipitação média anual (mm).

²M (%) = (areia muito fina + silte) * [(areia fina + silte) + areia grossa]; VP é o valor da permeabilidade (determinado pelos valores: 1, rápida; 2, moderada a rápida; 3, moderada; 4, lenta a moderada; 5, lenta; 6, muito lenta); DPM é o diâmetro médio ponderado das partículas de solo menores que 2 mm; e VR = [areia grossa * (Teor de matéria orgânica/100)].

³ A = perda de solo média anual (Mg.h⁻¹.ano⁻¹); K = fator de erodibilidade do solo (Mg.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹); LS = fator topográfico (adimensional), em função do fator de declividade da vertente (%) e o comprimento da rampa (m); C = fator de uso e manejo do solo (adimensional) e; P = práticas de suporte ou de conservação do solo em áreas agrícolas (adimensional).

Visando avaliar o enquadramento dos resultados obtidos de perda de solo com relação a intensidade da erosão (Tabela 8) adotou-se a classificação proposta por Galdino *et al.*, (2003):

Tabela 8– Classes de susceptibilidade do solo à erosão pluvial

Perda de solo (Mg.ha⁻¹ano⁻¹)	Grau de Erosão
<10	Nenhuma ou ligeira
10-50	Moderada
50-200	Alta
>200	Muito alta

Fonte: Galdino *et al.* (2003)

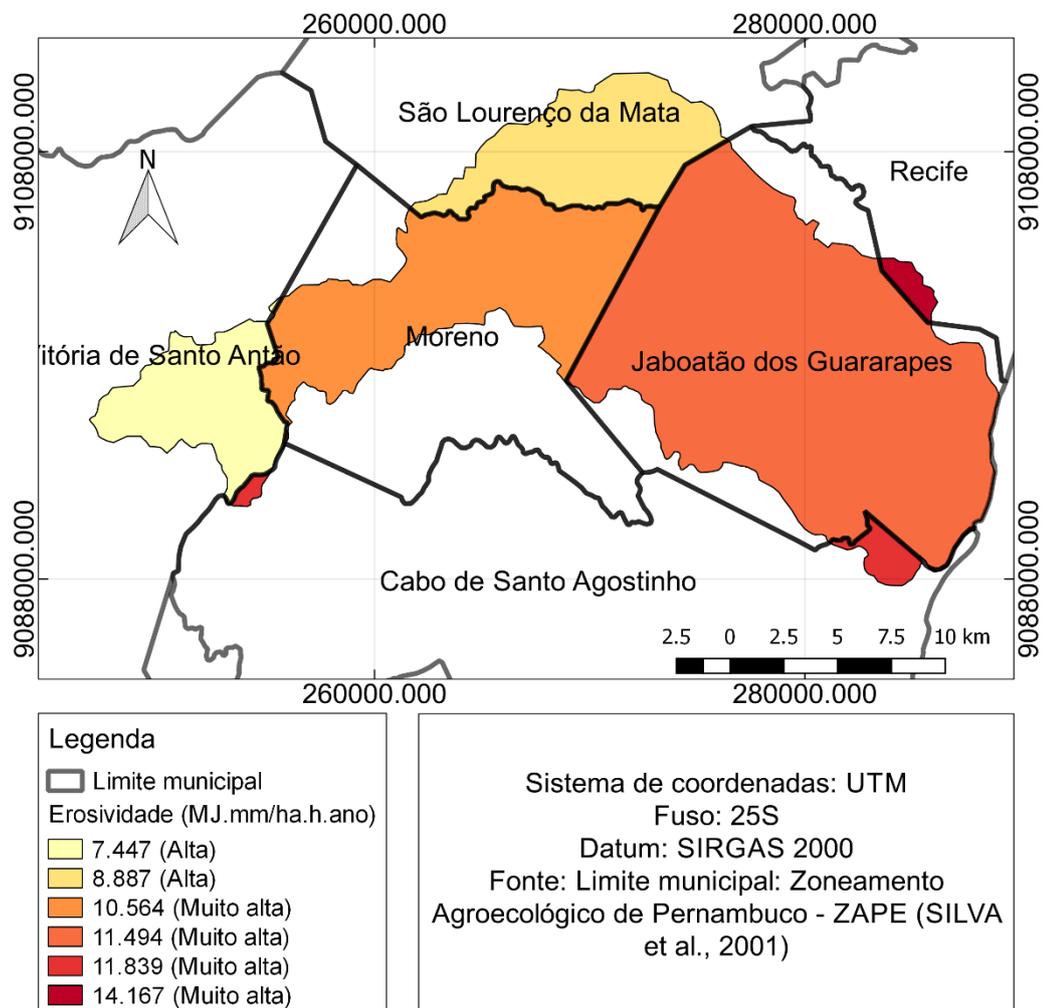
Por fim, foi realizada uma análise mais detalhada e pontual, através da utilização de dados de campo, voltada a comparar e compreender as relações existentes entre os dados obtidos no mapeamento de perda de solo com o uso aplicado nas áreas, para através de uma abordagem qualitativa recomendar possíveis práticas conservacionistas nas áreas que apresentaram potencial elevado para perda de solo. Para isso, além dos dados de trabalhos de campo, foram utilizadas imagens do acervo do Google Earth Pro, software gratuito, onde foi realizada a análise visual dessas áreas, pois de acordo com Silva *et al.*, (2016), as imagens possuem detalhamento espacial suficiente para a interpretação visual do usuário. Esta metodologia, tem se mostrado bastante útil para análises em áreas extensas, onde não se é possível serem efetuadas análises de campo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Erosividade (FATOR R)

Com a análise do parâmetro erosividade da chuva na bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE, verificou-se que os valores anuais variam de 7.7447 MJ.mm/ha.h.ano a 14.167 MJ.mm/ha.h.ano (Figura 5).

Figura 5 – Erosividade da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco



Elaboração: a autora, 2019

Em 77,8% da área total da bacia observou-se um índice numérico de erosividade classificado como muito alto, sendo assim, em áreas desprotegidas a chuva terá maior potencial de promover erosão no solo. Diminuindo para alto, em São Lourenço da Mata e Vitória de Santo Antão, este último com menor índice de erosividade, somando 22,2% de área (Tabela 9).

Tabela 9 – Valores de pluviosidade média mensal e anual e erosividade dos municípios da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão-PE, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco

Municípios	Média mensal (mm)	Média anual (mm)	Erosividade (MJ.mm/ha.h.ano)	Área (%)	Classe de erosividade
Vitória de Santo Antão	85,12063	978,8873	7.447	10	Alta
São Lourenço da Mata	104,8071	1205,282	8.887	12,5	Alta
Moreno	128,719008	1480,269	10.564	22,5	Muito alta
Jaboatão dos Guararapes	141,9127	1631,996	11.494	52,5	Muito alta
Cabo de Santo Agostinho	146,9587	1690,025	11.839	1,7	Muito alta
Recife	181,2516	2084,393	14.167	0,8	Muito alta

Fonte: Valores de pluviosidade média mensal e anual: APAC (2019). Erosividade, área e classe de erosividade: a autora (2019).

Os índices de precipitação mensal e anual dos municípios que a bacia abrange, justifica a média de erosividade de 10.733 MJ.mm/ha.h.ano, o que implica o fator R ficar entre muito alto e alto. De acordo com Labrière *et al.* (2015), a condição climática pode não ser favorável, em locais onde não existe a cobertura vegetal do solo, o deixando susceptível a erosão pluvial.

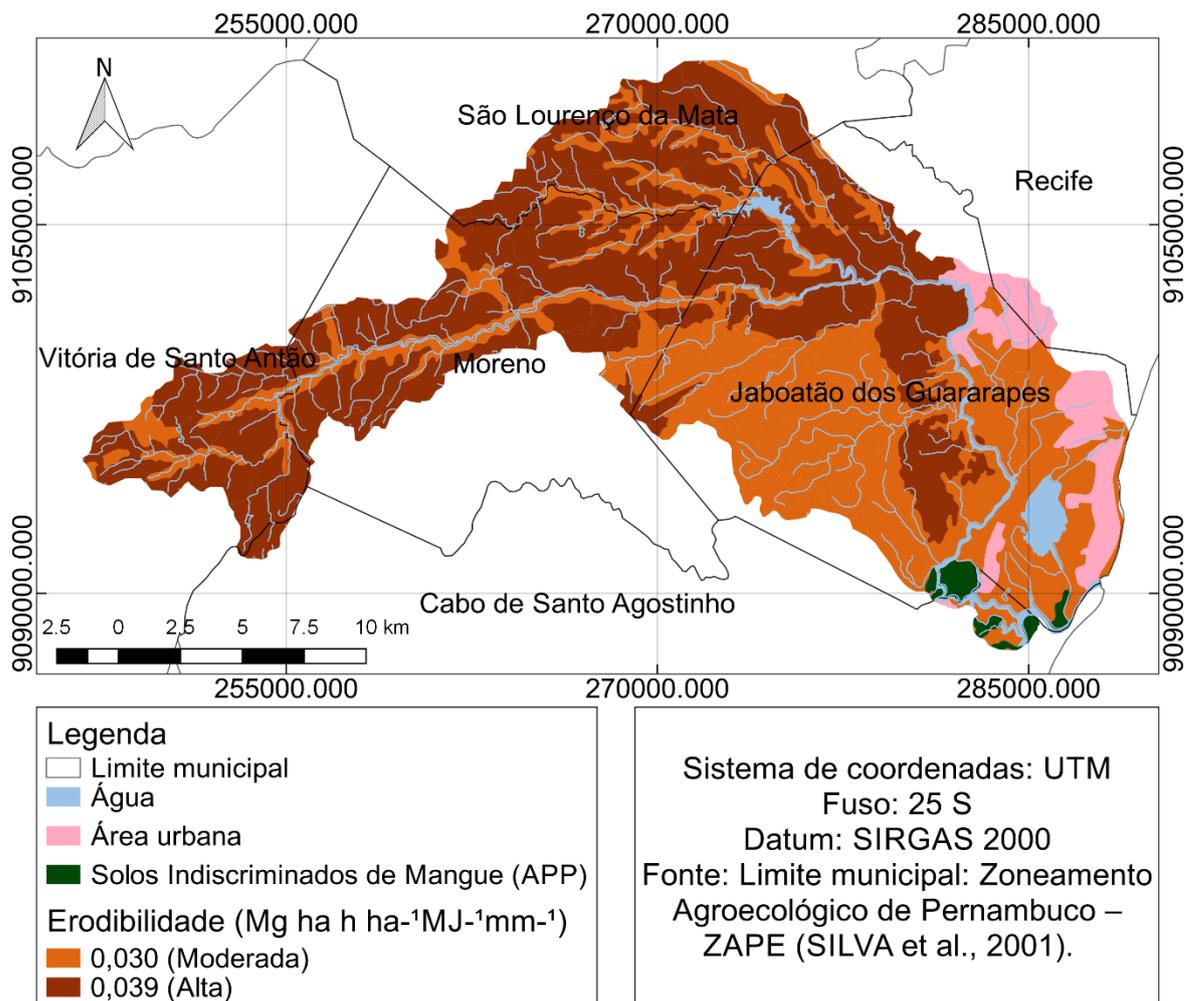
A bacia possui clima Tropical quente e úmido, com chuvas concentradas principalmente no outono-inverno, nessas condições, em locais que não possuem cobertura vegetal, é de suma importância o planejamento de práticas de manejo e de conservação do solo e da água visando minimizar os efeitos causados pela erosão hídrica. Diante disso, a porção leste (figura 5) no baixo curso da bacia, em que a taxa de erosividade é elevada, justificada pela abundância hídrica da região próxima ao litoral nordestino, merece mais atenção. A exemplo, temos o município de Recife, localizado nessa porção da bacia, onde possui média de pluviosidade mensal de 181mm (tabela 9), enquanto Vitória de Santo Antão que fica no alto curso da bacia possui apenas 85mm. Nesse caso, na medida que nos aproximamos do baixo curso da bacia maior será o impacto da erosão da chuva e maior a necessidade de práticas para conservação do solo (SILVA NETO *et al.*, 2020).

O negligenciamento do potencial de erosividade da bacia provocará diversos problemas ambientais, pois, além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que acarretam o empobrecimento gradativo dos solos agrícolas, geram voçorocas, assoreamento, poluição dos mananciais e deslizamentos em áreas urbanas (WANG *et al.*, 2016).

4.2 Erodibilidade (FATOR K)

Com a análise do parâmetro erodibilidade do solo na bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE, verificou-se que os valores variam de $0,030 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ a $0,039 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ aproximadamente para Latossolo e Argissolo, respectivamente (Figura 6).

Figura 6– Erodibilidade da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco



Elaboração: a autora, 2020

Aferiu-se que 42,3 % da área da bacia hidrográfica do rio Jaboatão apresenta o fator K de $0,030 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, e de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2014) classifica-se como um valor moderado de erodibilidade. Enquanto os outros 48,5% da bacia, possuem erodibilidade alta, com valor de $0,039 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

O horizonte A do Latossolo teve valor de erodibilidade de $0,038 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, classe alta, enquanto o B classe moderada com $0,023 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Tabela 10). Sendo

assim, apesar dos Latossolos da Zona da Mata apresentarem características físicas essenciais para serem menos susceptíveis a erosão é de suma importância que esse impacto seja minimizado (IBGE, 2015). Como já supracitado os valores de erodibilidade do Latossolo foram extrapolados para as áreas dos Gleissolo, Espodossolo, Neossolo Flúvico, Neossolo Quartzarenico, para os quais não existem dados de análises laboratoriais na base de dados utilizada.

Os Argissolos são solos naturalmente suscetíveis a ação dos processos erosivos, pois têm como característica marcante um aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textural (Bt) (GUERRA *et al.*, 2011), o que justifica que seu horizonte A tenha ficado com $0,046 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Tabela 10) classificado como erodibilidade muito alta.

Tabela 10—Valores de erodibilidade para os horizontes A e B e para as classes de solo com maior área na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão-PE, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco

Solo	Área* (%)	Hor.	Fator K** por hor.	Classe de erodibilidade do horizonte	Fator K** do solo	Classe de erodibilidade do solo
Latossolo	42,3	A	0,038	Alta	0,030	Moderada
		B	0,023	Moderada		
Argissolo	48,5	A	0,046	Muito alta	0,039	Alta
		B	0,032	Alta		

Fonte: a autora (2020).

Nota: * O Latossolo possui área de 15,2 %, entretanto, o seu Fator K foi extrapolado para as demais áreas de Gleissolo, Espodossolo, Neossolo Flúvico, Neossolo Quartzarenico; 9,2 % da área restante é de área urbana, Solos Indiscriminados de Mangue e água. **($\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)

Grande parte dos Argissolos apresenta um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo, para baixo no perfil. São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, devido a isso, possuem forte suscetibilidade à erosão, da sua parte superior mais arenosa, o que justifica seu horizonte B possuir classe de erodibilidade $0,032 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Tabela 10), classificada como alta, sendo consideravelmente menos susceptível a erosão que o horizonte A (ARAGÃO, 2011).

4.3 Fator topográfico (FATOR LS)

Aferiu-se que 28,25% da área da bacia está com o potencial erosivo entre moderado a forte no que se relaciona a influência do fator topográfico (LS) (Tabela 11).

Tabela 11–Classes de LS na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco (2020)

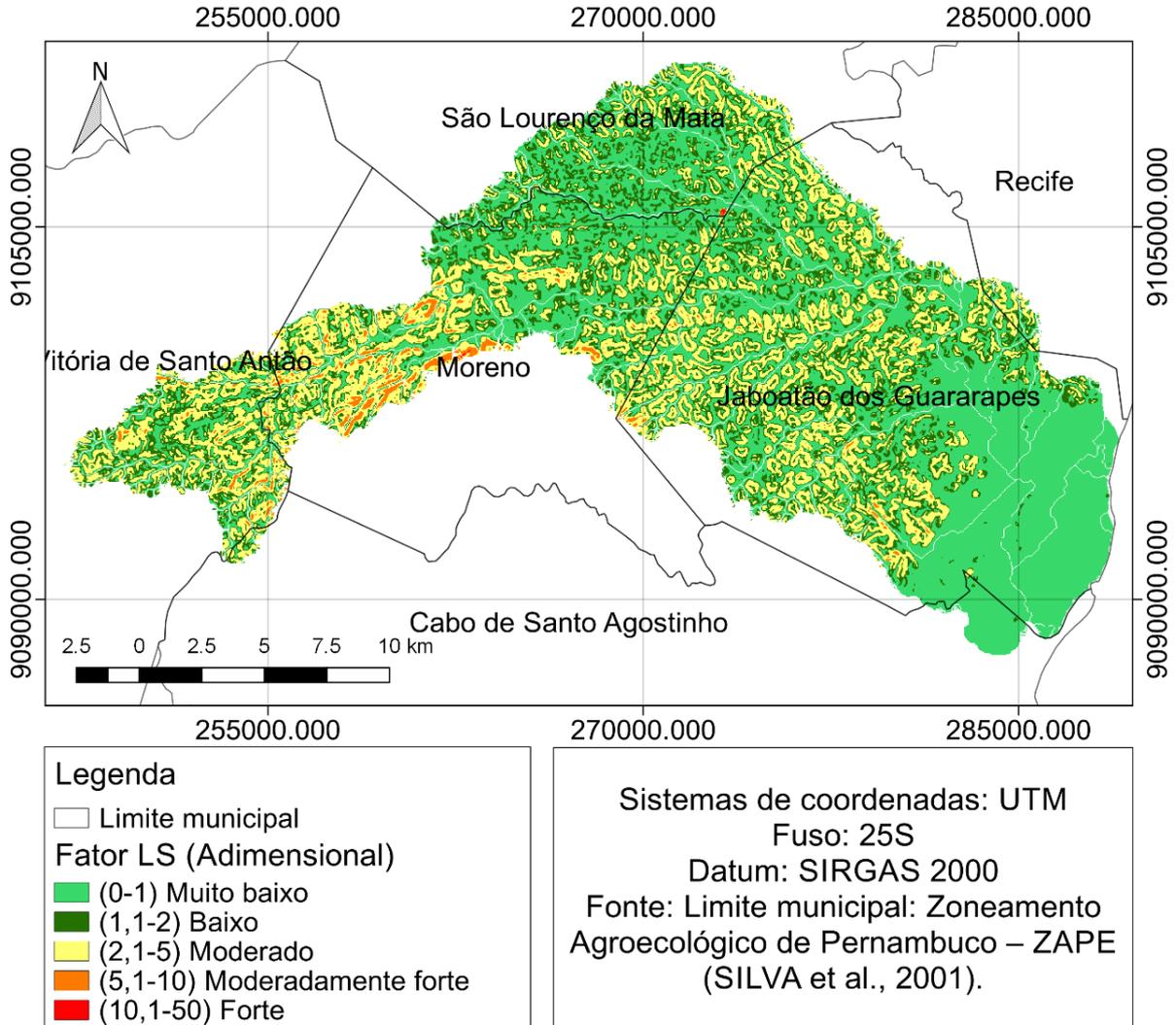
Classificação*	Classes*	Área	
		(km ²)	(%)
Muito baixo	0-1	187.935	48.49
Baixo	1,1-2	90.111	23.25
Moderado	2,1-5	104.338	26.92
Moderadamente forte	5,1-10	5.129	1.32
Forte	10,1-50	0.053	0.01

Fonte: a autora (2020);

Nota:* Baseada em Fornelos; Neves (2007)

Nos locais onde o fator LS apresentou valores significativos para o aumento da susceptibilidade erosiva (Figura 7), o grau de declive e o comprimento de rampa da encosta influenciam na velocidade de escoamento superficial, favorecendo a erosão em termos de tamanho e quantidade de material transportado (CARMO *et al.*, 2015). De acordo com Viel (2015), quanto maior a declividade, maior será a velocidade do escoamento, conseqüentemente maior será a ação de remoção e transporte de partículas. Essas áreas estão próximas ao alto curso da bacia, principalmente nos municípios de Vitória de Santo Antão e Moreno.

Figura 7–Fator LS da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.



Elaboração: a autora, 2020

Entretanto, de acordo com Fornelos e Neves (2007) (Tabela 11), 71,74% da bacia possui valor de LS que varia de muito baixo a baixo, o que indica que nesses locais, o fator LS exerce pouca influência no processo erosivo, o que pode ser associado a baixos valores de declividade nessas áreas (Figura 7), uma vez que, a perda de solo se mostra mais sensível em relação a declividade que em relação ao comprimento de rampa (SANTOS *et al.*, 2019).

4.4 Uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (FATOR CP)

Na tabela 12, verifica-se que a classe de uso do solo predominante na bacia do rio Jaboatão - PE é a de lavoura temporária, cobrindo 44% da área e, possui valor CP de 0,20. As classes mineração, solo exposto e aterro sanitário recebem o valor 1 de CP, sendo este o maior

da área estudada. Estas três classes somam 1,56% da bacia que está com o solo totalmente desprotegido, onde as perdas de solo são muito expressivas.

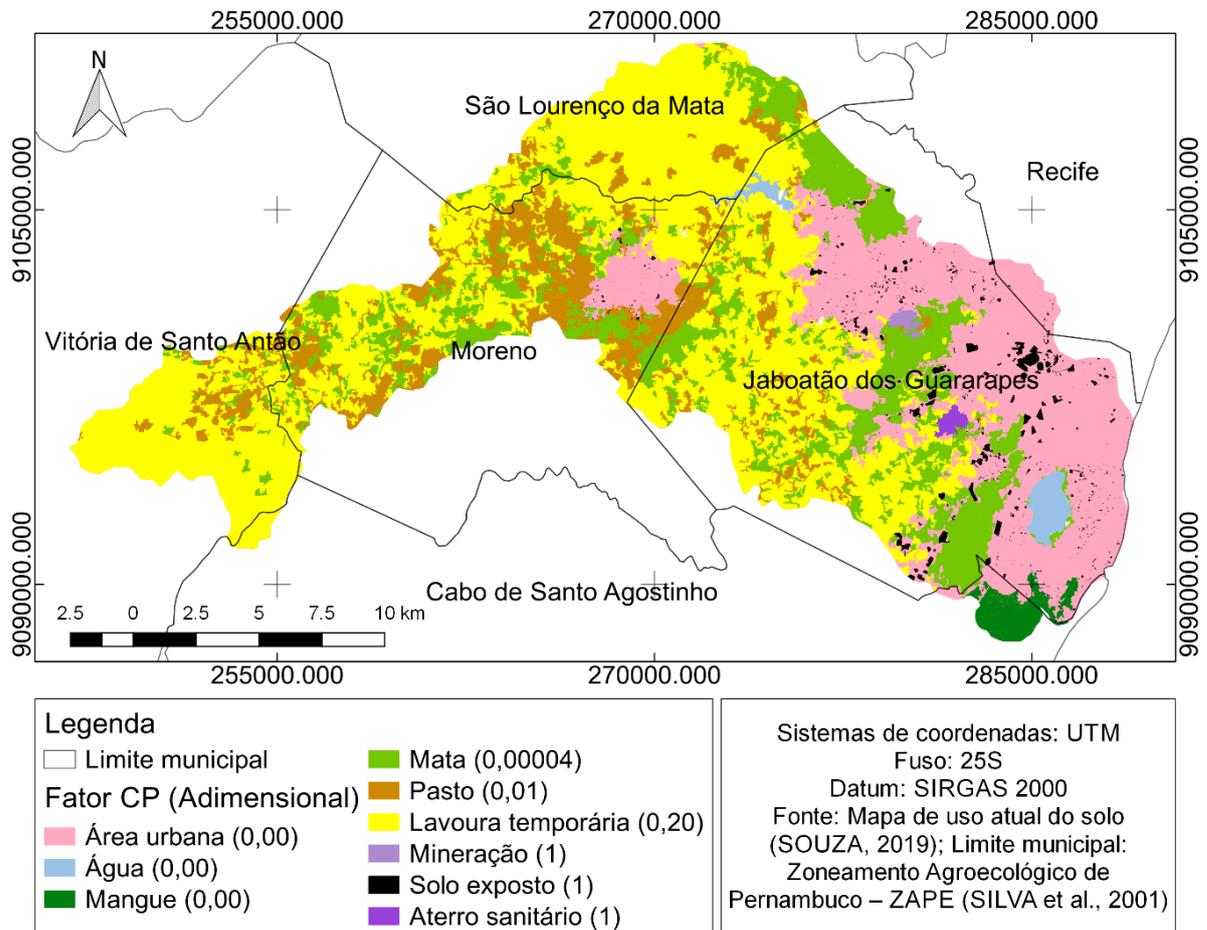
Tabela 12—Classes de uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão-PE, e valores correspondentes de CP e sua porcentagem na bacia

Uso do solo	Valores CP (adimensionais)*	Área (%)
Área urbana	0,00	24
Água	0,00	1,1
Mangue	0,00	1,34
Mata	0,00004	17
Pasto	0,01	11
Lavoura temporária	0,20	44
Mineração*	1	0,21
Área urbana: solo exposto	1	1,1
Aterro sanitário	1	0,25

Fonte: a autora (2020). Nota*: Baseado em Stein (1987) e Silva (2004)

As pastagens apresentam geralmente médio à baixo porte, o que confere baixa proteção do solo e risco à erosão, deste modo, recebem valor CP de 0,01. As classes de área urbana e água cobrem 26,44% da área da bacia, sendo a área urbana a maior delas com 24%, estando concentrada no baixo e médio curso da bacia (Tabela 12 e Figura 8).

Figura 8–Fator CP na bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.



Elaboração: a autora, 2020

A classe mata, por servir de proteção ao solo, tem valor de CP pequeno, de apenas 0,00004. A cobertura vegetal é a defesa natural de um solo contra a erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014), isso explica a redução do valor CP na área de mata, que abrange 17% da área estudada (Figura 8).

4.5 Perda de solo anual

Verifica-se que, 45,83% da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, apresenta potencial de perda de solo que varia de moderado a muito alto, que, de acordo com Salleh e Mousazadeh (2011), está acima do valor admissível de erosão, que é <math><10</math> megagrama por hectare ao ano ($\text{Mg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) acima disso a erosão é considerada por eles, muito problemática. No médio e alto curso, os valores de perda de solo aumentam consideravelmente, sendo 11,37% da área com potencial moderado de perda, 26,89% com potencial de perda de solo alta e 7,57% com a

classificação muito alta. No entanto, parte da bacia possui, segundo a classificação de Galdino et al., (2003), potencial a perda de solo de ligeira ou nenhuma, ocupando 54,17% da área (Tabela 13), localizando-se principalmente, no baixo curso da bacia.

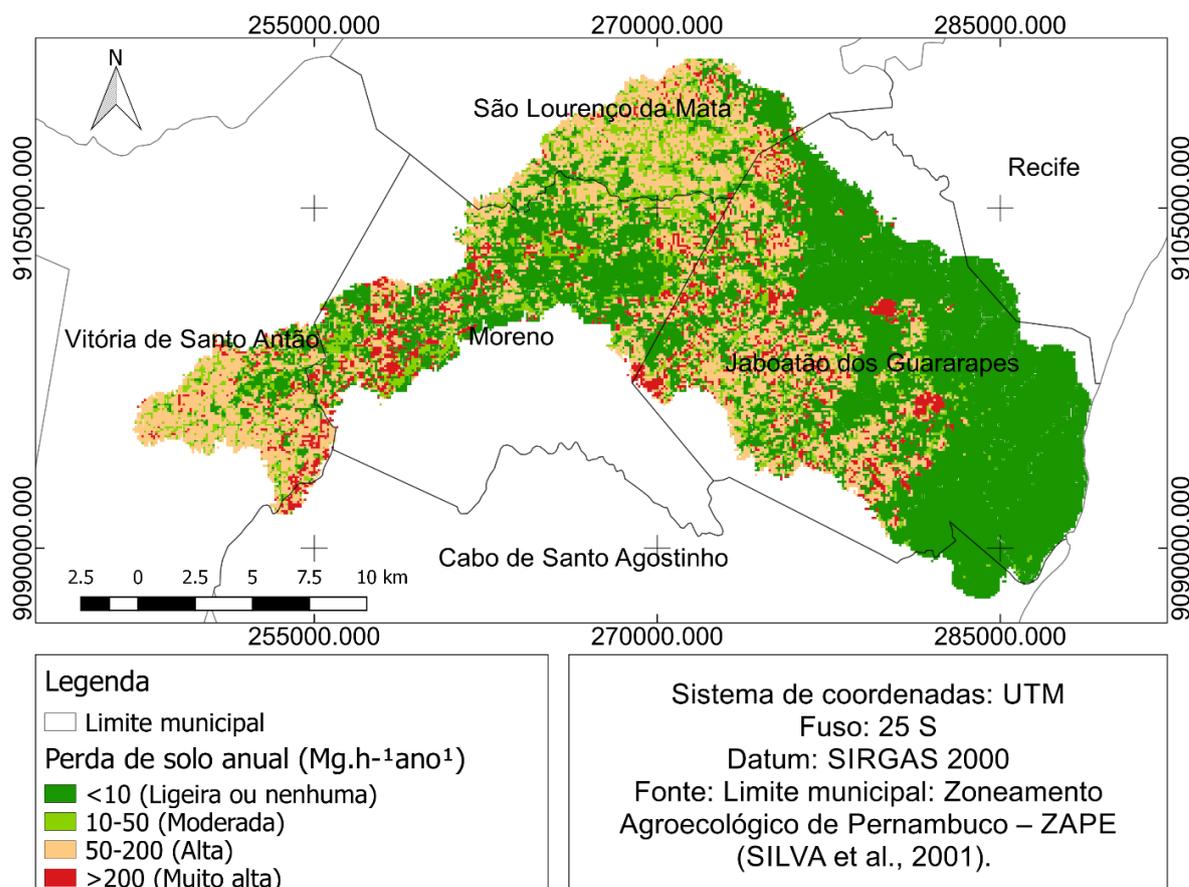
Tabela 13—Classes de perda anual do solo na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco

Classificação*	Classes* (Mg.h ⁻¹ .ano ⁻¹)	Área	
		(km ²)	(%)
Ligeira ou nenhuma	<10	209.763	54.17
Moderada	10-50	44.010	11.37
Alta	50-200	104.146	26.89
Muito alta	>200	29.317	7.57

Fonte: a autora (2020); Nota: *Baseada em Galdino *et al.* (2003)

A figura 9 exibe a distribuição espacial dos valores de perda de solo anual estimados para a área de estudo.

Figura 9—Perda de solo anual da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco



Elaboração: a autora, 2020

Foi possível identificar que os locais em que a perda de solo é $<10 \text{ Mg.h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (ligeira ou nenhuma), situam-se sobre o Latossolo, fator topográfico muito baixo a baixo e locais de área urbana. Também existem locais providos de cobertura vegetal ao longo do ano como pastagem e áreas de mata, que oferecem proteção ao solo, pois funcionam como um amenizador do impacto das gotas de chuvas (LABRIÈRE *et al.*, 2015). A cobertura vegetal nessas áreas aliadas às características do relevo e a erodibilidade moderada, favorece a dispersão e diminuição da velocidade do escoamento superficial, ocasionando as baixas perdas de solo por erosão laminar (LIMA *et al.*, 2018; LAL, 2001; 1997).

As perdas de solo compreendidas entre $10\text{-}50 \text{ Mg.h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (Moderada), associam-se a lugares com baixa declividade, onde o escoamento superficial é lento, não favorecendo a erosão hídrica, uma vez que, quanto maior a declividade, maior será a velocidade do escoamento, conseqüentemente maior será a ação de remoção e transporte de partículas (VIEL, 2015, CARVALHO *et al.*, 2019). Também se associa a lugares atribuídos a lavouras temporárias, que devido a sazonalidade da cultura, se encontra vulnerável a erosão com solo desnudo ou com cobertura incipiente. De acordo com Dechen *et al.* (2015) a taxa de cobertura do solo tem influência nas perdas, uma vez que o aumento da taxa de cobertura do solo controla tanto as perdas de terra como perdas de água.

Os locais onde ocorrem perdas de solo entre $50\text{-}200 \text{ Mg.h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (Alta), situam-se em áreas destinadas ao uso agrícola, de lavouras temporárias. Dependendo da velocidade e intensidade da água da chuva em culturas de pequeno porte, como as pastagens, ou as lavouras ainda incipientes, pode causar desagregação das partículas do solo (RIBEIRO *et al.*, 2016). Nesse caso, sabendo do grande potencial a erosão nessas áreas, pode-se traçar um planejamento de uso do solo e determinação de práticas mais adequadas para o terreno (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; GUERRA *et al.*, 2015).

O fator topográfico também influencia nessa alta perda de solo, nota-se que essas áreas possuem valor LS de moderado a moderadamente forte, em que, o grau de declive e o comprimento de rampa da encosta influenciam na velocidade de escoamento superficial (CARMO *et al.*, 2015). De acordo com Pinheiro *et al.* (2014), nas regiões com topografia acidentada, a melhor prática é a cobertura do solo com floresta, reduzindo as enxurradas que se formam na cabeceira do relevo, atenuando os problemas de controle a erosão nos terrenos situados mais abaixo.

As perdas de solo classificadas em $> 200 \text{ Mg.h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (Muito alta), encontram-se em regiões desprovidas de cobertura vegetal, em que o uso da terra é destinado a mineração e aterro

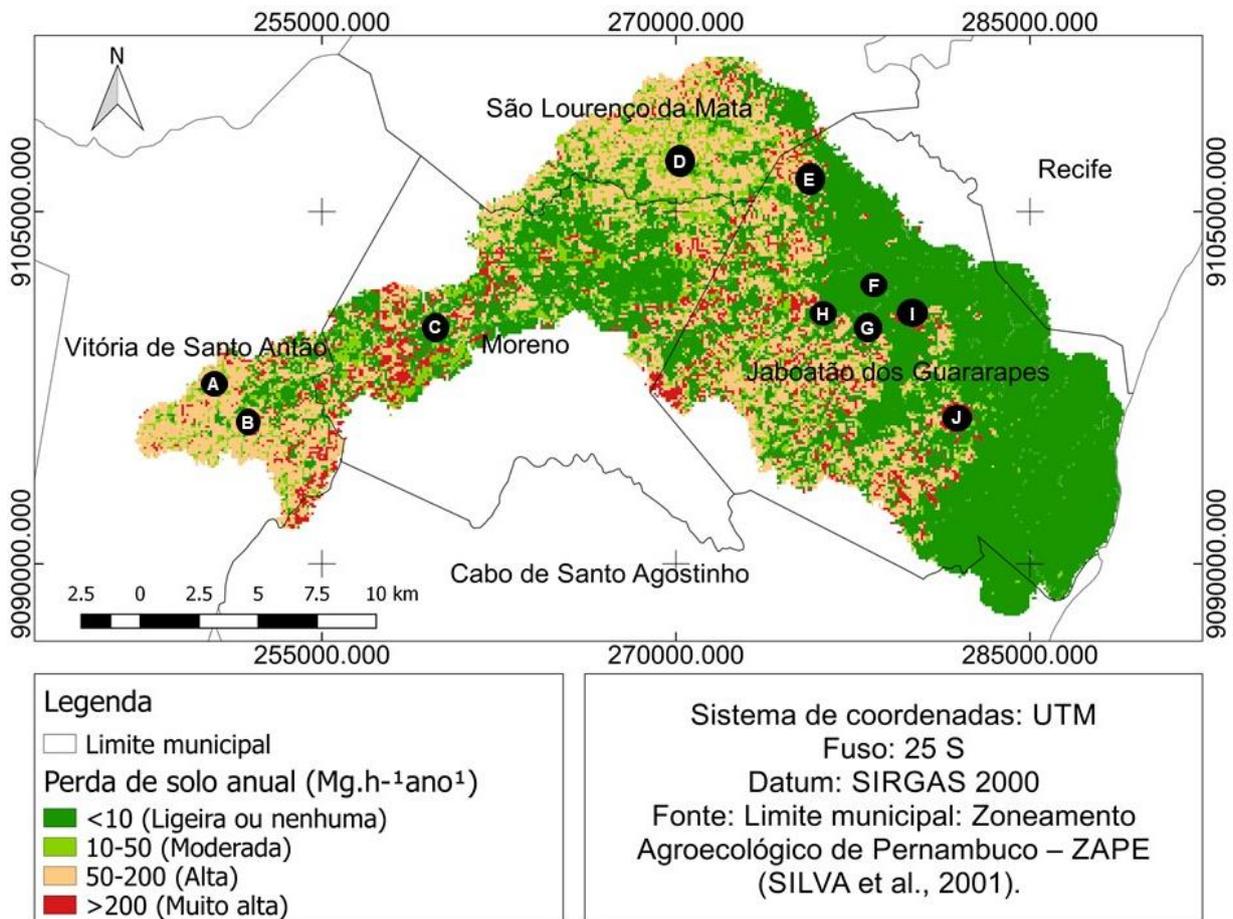
sanitário. Assim como, também são áreas de fator LS moderadamente forte a muito forte em que, o grau de declive e o comprimento de rampa da encosta são maiores, possibilitando um maior escoamento superficial, sendo recomendado a utilização desses terrenos para reflorestamento (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; GUERRA *et al.*, 2015).

Analisando e correlacionando os resultados da perda de solo anual (figura 9) com os fatores da EUPS gerados, é possível observar uma forte influência dos fatores LS e/ou CP para o aumento da perda de solo, assim como nos estudos de PEREIRA *et al.*, (2015); LIMA *et al.*, (2018); SOARES *et al.*, (2017); GRAÇA *et al.*, (2015); CARVALHO *et al.*, (2019); VIEL *et al.*, (2017); DJOUKBALA *et al.*, (2018), BUENO *et al.* (2011) que apresentam condições climáticas parecidas com a da área de estudo em tela.

4.5.1 Análise detalhada do uso da terra aplicado em áreas com potencial de perda de solo

Considerando que o uso da terra foi um fator com grande influência para o aumento do potencial de perda de solo no mapeamento da área estudada, foram escolhidos alguns locais, que apresentaram nas suas imediações potencial de perda, para realização de uma análise comparativa e mais pontual entre os resultados do mapeamento do potencial de perda de solo com o uso da terra (Figura 10).

Figura 10– Pontos de campo para descrição e análise do uso do solo em áreas com potencial de perda de solo anual da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco



Elaboração: a autora, 2020

A partir do cruzamento dos dados dos locais escolhidos com os do mapa de perda de solo, foi possível dimensionar os riscos de erosão presentes na bacia de estudo e verificar se procede o que foi indicado no mapeamento realizado com a utilização de ferramentas de Geoprocessamento (Figura 10) (Quadro 1).

Quadro 1– Descrição dos pontos de campo utilizados na análise comparativa entre o potencial de perda de solo e o uso da terra praticado na bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco

Ponto	Descrição	Foto
-------	-----------	------

A	Localizado em Vitória de Santo Antão de coordenadas UTM 0249830 9097568 e 339m de altitude. Observa-se no entorno do local, monocultura de cana de açúcar, com encostas e estradas expostas à erosão.	
B	Localizado em Vitória de Santo Antão de coordenadas UTM 0251866 e 9095622 e 292m de altitude. Observa-se no entorno do local monocultura de cana de açúcar em áreas de morro, e filete de rio com margens desprotegidas.	
C	Localizado no município de Moreno, de coordenadas UTM 0260147 e 9100196, 128m de altitude. Constata-se no entorno do local, área de encosta susceptíveis à erosão.	
D	Localizado na zona rural do município de São Lourenço da Mata, de coordenadas UTM 0270277 e 9106936, com 88m de altitude. Observa-se no entorno plantação de cana de açúcar, encostas e estradas susceptíveis a erosão.	
E	Localizado no município de Jaboatão dos Guararapes, de coordenadas UTM 0276119 e 9106126, com 81m de altitude. Percebe-se corte em área de declive e solo exposto.	

F	Localizado no município de Jaboatão dos Guararapes, de coordenadas UTM 0279103 e 9101592, com 52m de altitude. Verifica-se no entorno, área de morro com construções irregulares.	
G	Localizado em Jaboatão dos Guararapes, de coordenadas UTM 0278015 e 9100616, com 60m de altitude. Nota-se no entorno, encostas sujeitas a erosão.	
H	Localizado no bairro de Vila Rica no município de Jaboatão dos Guararapes, de coordenadas UTM 027637 e 9101149, com 82m de altitude. Verifica-se no entorno, construções irregulares, ruas sem pavimentação com solo desprotegido.	
I	Pedreira Polimix localizada próximo ao bairro de Muribequinha no município de Jaboatão dos Guararapes, de coordenadas UTM 280159 e 9100655. Observar-se grande porção de solo desprotegido.	
J	Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) Candeias localizado no município de Jaboatão dos Guararapes, de coordenadas UTM 281783 e 9096489. Nota-se grande extensão de área com solo desprotegido.	

Fonte: a autora (2021)

Nota: Imagens capturadas em trabalhos de campo do projeto Zoneamento Ecológico–Econômico da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE: Potencialidades e limitações do espaço natural (2017-2018), exceto as imagens dos pontos I e J, que são do Google Earth, (2020)

Através de análises partindo de montante do rio Jaboaão, no alto curso da bacia seguindo para o médio curso, nota-se a presença de plantações de cana-de-açúcar em áreas de declive, onde é possível verificar a existência de processos erosivos nos pontos A, B, C, D e E analisados, o mapeamento indica para esses locais as classes de perda de solo moderada ($10-50 \text{ Mg.h}^{-1}\text{ano}^{-1}$) e muito alta ($> 200 \text{ Mg.h}^{-1}\text{ano}^{-1}$). Nessas áreas é recorrente locais com solo descoberto em período de colheita (OLIVEIRA, 2019), além de que, a remoção de sua vegetação natural em áreas declivosas expõe o solo a uma série de fatores que tendem a depauperá-lo, e se a erosão acelerada não for controlada, o solo se abre em profundos sulcos ou voçorocas (LEPSCH, 2010).

Nesse contexto, seria de suma importância o planejamento adequado do uso desse solo, utilizando-se de técnicas de controle preventivo da erosão. A estruturação do escoamento superficial e proteção da área pela suavização da inclinação, redução no comprimento da vertente e aumento da rugosidade superficial são os princípios fundamentais em relação ao controle de processos erosivos por agente hídrico nessas áreas. O terraceamento é uma estrutura que atende a esse problema, uma vez que construído adequadamente de acordo com a declividade, reduz a velocidade do escoamento e permite maior infiltração de água no solo. Também, seria interessante utilizar cobertura morta para proteção do solo enquanto desnudo, sendo uma ótima opção para redução dos efeitos da erosão, produção de matéria orgânica e sombreamento do solo (VERDUM *et al.*, 2016).

Já na região do médio curso, sentido a foz da bacia, nos pontos G e H, se pode observar processo de desmatamento e corte de barreiras em áreas de encosta para construções de moradias irregulares, solo exposto em ruas sem pavimentação e/ou com pouca cobertura vegetal, fazendo com que, nessas áreas o mapa de perda de solo anual também apresente grau de perda de solo entre moderada ($10-50 \text{ Mg.h}^{-1}\text{ano}^{-1}$) e muito alta ($> 200 \text{ Mg.h}^{-1}\text{ano}^{-1}$). Entretanto no ponto F, observa-se que no mapa de perda apresenta classificação de ligeira ou nenhuma ($< 10 \text{ Mg.h}^{-1}\text{ano}^{-1}$), mesmo apresentando riscos eminentes.

Nesse contexto, é importante que se implemente práticas de conservação para que o processo erosivo seja minimizado, e previna futuros desastres, como deslizamentos de terra. Para isso, Toniazzo *et al.* (2018) cita algumas medidas estruturais que mitiguem tais efeitos, que constituem em obras de engenharia, como obras de contenção, implementação de sistemas de drenagem e reurbanização de áreas. Tais medidas são custosas, contudo, em alguns casos é a solução efetiva e mais segura. Existem também, medidas não estruturais, que são voltadas

para educação ambiental, apresentando ações para um correto gerenciamento do uso e ocupação do solo, assim como planos preventivos de defesa civil.

Nos pontos I e J, verifica-se grande extensão de área com solo desprotegido. Em função do seu uso, uma pedreira e uma Central de Tratamento de Resíduos (CTR), respectivamente, o mapa de perda de solo apresentou classe muito alta ($> 200 \text{ Mg.h}^{-1}\text{ano}^1$). Nessas áreas é indispensável a implementação de métodos de contenção, visando causar menos danos ao meio ambiente possível (TONIAZZO *et al.*, 2018; GOERL; KOBİYAMA, 2013). De acordo com Bacci *et al.*, (2006), os principais aspectos e impactos ambientais de pedreiras é a erosão, movimentação de terra e assoreamento de córregos, alteração da paisagem, fauna e flora locais. E assim como o CTR, é difícil a implementação de práticas conservacionistas nessas áreas, cujo a finalidade do uso do solo é degradante. Todavia, é preciso adotar medidas para um melhor uso, gestão e articulação dos recursos, que evitem ou atenuem os impactos ambientais (VERDUM *et al.*, 2016).

5 CONCLUSÕES

Observa-se que a capacidade de erosão da chuva (Fator R) na bacia do rio Jaboatão está entre alta e muito alta, sendo o potencial erosivo aumentado na medida que se aproxima do seu baixo curso. Já no parâmetro erodibilidade, constata-se que 48,5% da bacia possui alta suscetibilidade a erosão, e 42,3% moderada, sendo os Argissolos mais susceptíveis.

No fator topográfico (LS), 28,25% da área da bacia está com o potencial erosivo entre moderado a forte, enquanto 71,74% da bacia possui valor de LS que varia de muito baixo a baixo. Já no fator CP, maior parte da área da bacia possui uso de lavoura temporária, com 44% de sua extensão, apresentando risco erosivo, pois, devido a sazonalidade das culturas, pode se encontrar susceptível a erosão com solo desnudo ou com cobertura incipiente.

A bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE, possui 45,83% da área com valores de perda de solo acima do admissível de $10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, com classes de moderada a muito alta, apresentando uma condição de erosão muito problemática. No entanto, 54,17% da bacia está dentro desse valor, com potencial a perda de solo de ligeira ou nenhuma. O uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (CP), assim como o comprimento de rampa e a declividade do terreno (LS), são, dos fatores da EUPS, os que possuem mais influência no aumento do valor da perda de solo anual.

Com a análise do uso da terra aplicado ao mapa de perda de solo anual da bacia, a partir dos dados de campo, foi possível observar que existem áreas com forte presença de processos erosivos e mau uso do solo com remoção da vegetação natural, encostas, estradas e margens do rio expostas à erosão e construções irregulares em áreas de declive. Sendo assim, a Equação Universal de Perdas de solo (EUPS) e seus fatores é uma ferramenta de boa aplicabilidade e estimativa, fornecendo os parâmetros necessários para o planejamento do uso e ocupação do solo.

Foi essencial a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para aplicação dos modelos da EUPS, pois favoreceu e possibilitou a manipulação, cruzamentos e espacialização dos dados.

6 REFERÊNCIAS

- ANACHE, J. A. A. *et al.* Assessment of methods for predicting soil erodibility in soil loss modeling. **Geociências**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 32-40, 2015. Disponível em: http://revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/34/volume34_1_files/34-1-artigo-03.pdf. Acesso em: 05 jan. 2021
- ANGULO- MARTÍNEZ, M., BARROS, A.P. Measurement uncertainty in rainfall kinetic energy and intensity relationships for soil erosion studies: An evaluation using PARSIVEL disdrometers in the Southern Appalachian Mountains. **Geomorphology**, 228, 28-40, 2015.
- ARAGÃO, R. *et al.* Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japarutuba, SE, via SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n. 7, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n7/v15n07a12.pdf>. Acesso em 31 out. 2020.
- ARRAES, L. C; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do Tijuco, SP. **Bioscience Journal**, Uberlândia v. 26, n. 6, p.849-857, 2010. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7218>. Acesso em 10 abril 2021.
- BACCI, D. L. C; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. **Revista Escola de Minas**, v. 59, n.1, p. 47-54, 2006.
- BACK, Á. J.; POLETO, C. Avaliação temporal do potencial erosivo das chuvas de Florianópolis-SC. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.21, p.264-283, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/49018>. Acesso em: 04 mar. 2021.
- BARBOSA, A. F. *et al.* Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. In: ANUÁRIO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, UFRJ, 38, 2015, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro. p. 170-179, 2015. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/5823>. Acesso em: 07 ago. 2020.
- BASSO, B. T. **Estimativa de erosão utilizando a Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS): caso do alto curso do rio Chopim**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Francisco Beltrão, Centro de Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Geografia, 2018.
- BATISTA, C. T.; VERÍSSIMO, C. U. V.; SANTOS, M. P. Avaliação do cálculo de erosividade em escala regional com o auxílio de geoprocessamento na Serra de Baturité – CE. **Revista de Geociências do Nordeste**, vol. 1, n.1, p. 22-36, 2015.
- BENNETT, H. H. **Soil Conservation**. New York and London: McGraw-Hill Book Company, 1939.
- BERTONI, J. C.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, 10. ed. São Paulo: Ícone, 2014, p. 248-267.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

BERTONI, J. C.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, 4. ed. São Paulo: Editora Ícone, Coleção Brasil Agrícola, 335 p., 1999.

BORGES, A. S.; PINTO, W. E. A.; SILVA, F. N. Análise e proposta de recuperação de uma erosão do córrego Góis- Setor Bom Clima. **RECIEC- Revista Científica de Engenharia Civil**. v. 1, n. 1, 2018. Disponível em: <http://anais.unievangelica.edu.br/index.php/reciec/article/view/3327>. Acesso em: 07 out. 2020.

BORGES, K. M. R. **Avaliação da susceptibilidade erosiva da bacia do Rio Carinhonha (MG/BA) por meio da EUPS- Equação Universal de Perda de Solos**. 2009. 68 p. Dissertação (Mestrado em geografia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

BOTELHO, T. H. A. **Disponibilidade e aplicabilidade de dados espaciais na caracterização e quantificação de perdas de solo por erosão na bacia hidrográfica do Rio Samambaia, Goiás**. 2015. 129 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFG_9cc74b60e6afcf2ddb9d6d7e13f42806. Acesso em 16 set. 2020.

BUENO, C. R. P.; ARRAES, C. L.; MIQUELONI, D. P. Aplicação do sistema de informação geográfica para determinação do fator topográfico em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava- PR, v. 4, n. 2, p. 30-47, 2011.

CARMO, A. M. *et al.* Análise de Risco Ambiental à Erosão Gerada a partir de produtos de sensores remotos: MDE Topodata e Landsat 8. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2015, João Pessoa, **Anais [...]**. João Pessoa: INPE, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305809453_Analise_de_Risco_Ambiental_a_Erosao_Gerada_a_partir_de_produtos_de_sensores_remosos_MDE_Topodata_e_Landsat_8. Acesso em: 10 abril 2021.

CARVALHO, J. C. *et al.* (Org.). **Processos erosivos no Centro-oeste brasileiro**. Brasília: FINATEC, 2006.

CARVALHO, H. J. M. *et al.* Estimativa de perda de solo por erosão laminar em Lucena-PB. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 5, p. 57-68, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/17972>. Acesso em 05 dez. 2020.

CARVALHO, M. P. *et al.* Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico textura argilosa de Mococa (SP): Primeira aproximação do fator erodibilidade do solo. **R Bras Ci Solo**, 1989.

CAVALCANTI, I. F. A. *et al.* (Orgs.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009

CORDEIRO, M. W. S., *et al.* **Índice de risco a erosão e mapeamento das áreas de risco por erosão de solo em Natal-RN**. 2018. 117 f. Dissertação (Mestrado em uso Sustentável de

Recursos Naturais) – Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/1498?show=full>. Acesso em 11 de ago. 2020.

CORRÊA, E. A. *et al.* Perdas de Solo, Razão de Perdas de Solo e Fator Cobertura e Manejo da Cultura de Cana-de-Açúcar: Primeira Aproximação. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 32, p. 72-87, 2016. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/116671>. Acesso em: 10 abr. 2021.

CORRÊA, E. A. *et al.* Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MEUPS) na avaliação da erosão hídrica do solo em uma microbacia Hidrográfica com solos predominantemente Argilosos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 12, 2017, Campinas. **Anais [...]**. Campinas, 2017.

CPRH, Agência Estadual de Meio Ambiente. Grupo de pequenos rios litorâneos – GL2. In: **Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco**. Diretoria de gestão territorial e recursos hídricos, governo de Pernambuco, 2016.

CHUQUIPIONDO, I. G. V. **Avaliação da estimativa do potencial de erodibilidade de solos nas margens de cursos de água:** estudo de caso trecho de vazão reduzida capim branco I Araguari Minas Gerais. 2007. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUDB-8AUNNY>. Acesso em 10 set. 2020.

D'ALGE, J. C. L. Cartografia para Geoprocessamento. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; VIEIRA, Antônio Miguel (org.). **Introdução a ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2013.

DECHEN, S. C. F. *et al.* Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p.224-233, 2015.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do ribeirão das perobas. **Revista Energia na agricultura**, Botucatu, v. 29, n. 2, p. 102-114, 2014.

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, ESALQ, 1990.

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**, v.51, n.5, p.427-433, 1996.

DJOUKBALA, O. *et al.* Estimating of water erosion in semiarid regions using RUSLE equation under GIS environment. **Environmental Earth Sciences**, 2018.

DUARTE, M. L. *et al.* Determinação da erodibilidade do solo por meio de dois métodos indiretos em uma bacia hidrográfica na região sul do Estado do Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.21, n.2, p.329-341, 2020.

EDUARDO, E. N. *et al.* Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 796-803, 2013.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009.

FAO; 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, 2015.

FARINASSO, Miguel; et al. Determinação do fator topográfico da equação da USLE por meio de geoprocessamento- Bacia do Rio Gurguéia. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA*, 5, 2004, Rio Grande do Sul. **Anais [...]**. Rio Grande do Sul, p.1-12, 2004.

FORNELOS, L. F.; NEVES, S. M. A. S. Uso de modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de imagens de radar interferométrico (SRTM) na estimativa de perdas de solo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, 2007. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43962>. Acesso em 5 de dez. 2020.

GALDINO, S. et al. **Perdas de solo na bacia do alto Taquari**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/811022/1/BP44.pdf>. Acesso em: 10 de abr. 2021

GARCÍA-RUIZ, J.M. *et al.* **A meta-analysis of soil erosion rates across the world**. **Geomorphology**. v. 239, n.15, 2015, p. 160-173.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Redução dos desastres naturais: desafio dos geógrafos. **Ambiência Guarapuava**, v.9, n. 1, p.145-172, 2013.

GOMES, S. C. **Diagnóstico ambiental do meio físico da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE**. 2005. Dissertação (Mestrado em geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências Pós-graduação em Geociências, Recife, 2005. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6554/1/arquivo6827_1.pdf. Acesso em: 19 mar. 2021.

GRAÇA, C. H. *et al.* Análise multitemporal da perda de solo estimada para a bacia hidrográfica do rio Mourão, Paraná – Brasil. **Braz. J. Biol.**, v. 75, n. 4., 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1519-69842015000900120&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 21 out. 2020.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 229-265, 2015.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. *In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.) Erosão e conservação dos solos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. *In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (org.) Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GURGEL, R. S. et al. Identificação de áreas vulneráveis à erosão a partir do emprego da EUPS - Equação Universal de Perdas de Solos no município de Riachão das Neves – BA. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 15, n. 3, 2011.

HERNÁNDEZ, Y. A. *et al.* Erosividade das precipitações em ecossistemas tropicais: haverá diferença dentro de uma mesma zona climática? **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, n.2, p. 415-430, 2018.

IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de Pedologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

LABRIÈRE, N. *et al.* Soil erosion in the humid tropics: a systematic quantitative review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 203, p. 127-139, 2015.

LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land Degrad. Develop.**, 12:519-539, 2001.

LAL, R. Degradation and resilience of soils. **Phil. Trans. R. Soc. B**, 352:997-1010, 1997.

LAL, R. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/932356/metodos-para-avaliacao-do-uso-sustentavel-dos-recursos-solo-e-agua-nos-tropicos>. Acesso em 6 out. 2020.

LEE, Ming-Hsi. LIN. Huan-Hsuan. Evaluation of annual rainfall erosivity index bases on daily, monthly and annual precipitation data of rainfall station network in southern Taiwan. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/279223872_Evaluation_of_Annual_Rainfall_Erosivity_Index_Based_on_Daily_Monthly_and_Annual_Precipitation_Data_of_Rainfall_Station_Network_in_Southern_Taiwan. Acesso em: 9 dez. 2020.

LEPSCH, Igor F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LIM, Y.S. *et al.* Analysis of the relationship between the kinetic energy and intensity of rainfall in Daejeon, Korea. **Quaternary International**, p. 107-117, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/276299266_Analysis_of_the_relationship_between_the_kinetic_energy_and_intensity_of_rainfall_in_Daejeon_Korea. Acesso em: 18 de dez. 2020.

LIMA, G. S. A.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Modelagem da Perda Superficial de Solo para Cenários de Agricultura e Pastagem na Região Metropolitana de Goiânia. **Rev. Bras. de Cartografia**, v. 70, n. 4, p. 1510-1536, 2018.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil**. West Lafayette: Purdue University, 1977.

LOPES, F. B. *et al.* Uso de Geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Agro@ambiente**. v. 5, n.2, p. 88-96, 2011.

MANNIGEL, A. R. *et al.* Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MATOS, R. M. *et al.* Erosividade da chuva no período de 1973 a 2013 no município de Barbalha – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.10, n.3, p. 641-649, 2017.

MESHESHA, D.T. *et al.* Evaluation of kinetic energy and erosivity potential of simulated rainfall using Laser Precipitation Monitor. **CATENA**, v. 137, p. 237-243, 2016.

MIQUELONI, D. P.; BUENO, C. R. P.; FERRAUDO, A. S. Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes. **Pesq. Agropec. Brasileira**. v. 47, n. 9, p. 1358 – 1367, 2012.

NICOLETE, D. A. P. *et al.* Delimitação automática de uma bacia hidrográfica utilizando MDE TOPODATA: aplicações para estudos ambientais na região da Cuesta de Botucatu – SP. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 12, 2015, João Pessoa. **Anais [...]** João Pessoa: INPE, 2015.

OLIVEIRA, I. V. A. **Análise de riscos erosivos na bacia hidrográfica do Rio Jabboatão-PE**. 2019. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso em geografia) – Instituto Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

OLIVEIRA, A. M.M. **Aplicação de geotecnologias e do modelo EUPS como subsídio ao planejamento do uso da terra: estudo de caso no alto curso da microbacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, Iracemápolis, SP**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004. Disponível em:
https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100073/oliveira_amm_dr_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 21 set. 2020.

PEREIRA, T, S, R. *et al.* Determinação e espacialização da perda de solo da bacia hidrográfica do Córrego Cascavel, Goiás. **Rev. G-eogr. Acadêmica**, v.9, n.2. p. 76-96, 2015.

PETRI, C. A.; BOURSCHEIDT, V. Impactos da resolução espacial de modelos digitais de superfície no cálculo da perda de solo através da EUPS em ambiente urbano. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 13, 2017, Santos. **Anais [...]**. Santos: INPE, 2017.

PINHEIRO, L. S. *et al.* Geração do fator topográfico (LS) em bacia hidrográfica: análise de extensão de vertentes. **Revista Geografia Acadêmica**. v.8, p.50, 2014.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e da água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009.

RAMALHO FILHO, A. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. A. Ramalho Filho, K. J. Beek. (org). 3 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1994.

RIBEIRO, A. S. *et al.* Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 016-031, 2016.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2011.

RUTHES, J. M.; TOMAZONI, J. C.; GOMES, T. C. Influência do uso e ocupação do solo no processo erosivo laminar do município de Francisco Beltrão-Sudoeste do Paraná. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.5, n.2, p.264-274, 2016.

SADEGHI, S. H. *et al.* Spatiotemporal mapping of rainfall erosivity index for different return periods in Iran. **Nat Hazards**. DOI 10.1007/s11069-017-2752-3, 2017

SALLEH, O. M.; MOUSAZADEH, F. Gully erosion in semiarid regions. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, n.19, p. 651–661, 2011.

SALES, M. C. L. Potencial de erosão das terras no núcleo de desertificação de Irauçuba estimada por meio dos parâmetros da EUPS. *In: Monitoramento da desertificação em Irauçuba* / José Gerardo Beserra de Oliveira, Marta Celina Linhares Sales (org.). Fortaleza: Imprensa Universitária, 2015.

SALIS, H. H. C. DE; COSTA, A. M. DA; VIANA, J. H. M. Estimativa da perda anual de solos na bacia hidrográfica do Córrego Marinheiro, Sete Lagoas- MG, por meio da RUSLE. **Boletim de Geografia**, v. 37, n. 1, p. 101-115, 2019.

SANTOS, R. B.; ALMEIDA, A. Q.; SANTOS, W. A. Estimativas de Perdas de Solo para Diferentes Cenários de Cobertura Vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Piauitinga-SE. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. v. 42, n. 1, p. 672-681, 2019.

SILVA, D. G. *et al.* Análise Espaço-Temporal do Uso e Cobertura da Terra no Município de Exu, PE. **Clio Arqueológica**. v.31, n.3, 193-210, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/clioarqueologica/article/view/246547/0>. Acesso em: 31 mar. 2021.

SILVA, F. B. R. *et al.* **Zoneamento Agroecológico de Pernambuco - ZAPE**. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária). (Embrapa Solos. Documentos; no. 35). ZAPE Digital, CD-ROM. 2001.

SILVA, V. C. Estimativa da erosão atual da bacia do rio Paracatu (MG/GO/DF). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, n. 3, p. 147-159, 2004.

SILVA, M. A. *et al.* Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. **R. Bras Ci Solo**, v. 34, p. 1029-1039, 2010.

SILVA NETO, V. L. *et al.* Distribuição espacial da erosividade das chuvas na bacia do rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.32, p.161-175, 2020. ISSN 1982-4513.

SILVA, V. C. Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na bacia do rio Paracatu. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.33, n.1, p. 29-34, 2003.

SILVA, C. S.; GIRÃO, O. Análise morfométrica e caracterização geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão (BHRJ)- Pernambuco. **Geosul**, Florianópolis. v. 35, n. 75, p. 441-460, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/1982-5153.2020v35n75p441/43437>. Acesso em: 19 de março de 2021.

- SIMON, A. L. H.; CUNHA, C. M. L. Alterações Geomorfológicas Derivadas Da Intervenção De Atividades Antrópicas: análise temporal na Bacia do Arroio Santa Bárbara–Pelotas (RS). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 2, 2008.
- SOARES, L. S. *et al.* Potencial erosivo das sub-bacias hidrográficas do Baixo Curso do Rio Itapecuru, Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n. 4, p. 1027-1045, 2017.
- SOUZA, D. D. R. **Análise espaço-temporal do uso da terra da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão- PE**. 2019. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso em geografia) – Instituto Federal de Pernambuco, Recife, 2019.
- SOUZA, F. L. P. *et al.* Geoprocessamento na avaliação de perdas de solo. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 3, p. 624-644, 2019.
- SOUZA FILHO, L. A. Uso de ferramentas de geoprocessamento na análise de áreas suscetíveis a erosão em projetos de linhas de transmissão. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 13, 2017, São Paulo. **Anais [...]**. Santos: INPE, 2017.
- STEIN, D. P. *et al.* Potencial de erosão laminar, natural e antrópica na bacia do Peixe Paranapanema. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO*, 4, 1987, Marília-SP. **Anais [...]**. São Paulo. p. 105-135, 1987.
- STEINKE, V. A. **Uso Integrado de Dados Digitais Morfométricos (Altimetria e Sistema de Drenagem) na Definição de Unidades Geomorfológicas no Distrito Federal**. 2003. Dissertação (Mestrado em geologia) – Universidade de Brasília, 2003.
- TONIAZZO, F. *et al.* Escorregamento de solos na região oeste do estado de Santa Catarina: consequências sócio-ambientais. **Revisa Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 397-417, 2018.
- TRINDADE, A. L. F. *et al.* Variabilidade espacial da Erosividade das chuvas no Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 51, n. 12, p. 1918-1928, 2016.
- VALLE JÚNIOR, R. F. *et al.* Potencial de erosão da bacia do rio Uberaba. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.30, n.5, p.897-908, 2010
- VALERIANO, M. M.; Dados topográficos. *In: FLORENZANO, T. G. (Org) Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de textos, 2008.
- VERDUM, R. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. Roberto Verdum, Carmem Lucas Vieira e Jean Carlo Gessi Canappe (org.). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.
- VIEL, J. A. **Análise da erosão superficial do solo na região da denominação de origem vale dos vinhedos (RS) por meio da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e do geoprocessamento**. 2015. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso de bacharel em geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- VIEL, J. A.; ROSA, K. K.; HOFF, R. Estudo da erosão superficial do solo por meio de SIG na região da denominação de origem Vale dos Vinhedos (Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 3, 2017.

WALTRICK, P. C. *et al.* Estimativa da erosividade de chuvas no Estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **R. Bras. Ci. Solo**, v.39, p.256-267, 2015.

WANG, B.; ZHENG, F. GUAN, Y. Improved USLE-K factor prediction: A case study on water erosion areas in China. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 4, p. 168-176, 2016.

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

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 26, n. 5, p. 189-193, 1971.