



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

WAGNER SOARES DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL A EROSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
CUBATÃO DO SUL, SANTA CATARINA**

Palhoça

2019

WAGNER SOARES DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL A EROSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
CUBATÃO DO SUL, SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Gabriel Cremona Parma, Dr. Eng.

Palhoça

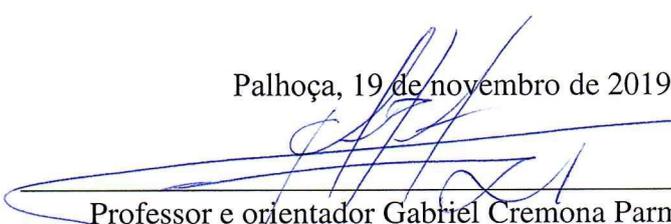
2019

WAGNER SOARES DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL À EROSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
CUBATÃO DO SUL – SANTA CATARINA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 19 de novembro de 2019.



Professor e orientador Gabriel Cremona Parma, Dr. Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Marina Medeiros Machado

Prof^a. Marina Medeiros Machado, Dr^a.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Alden Liuti Nascimento

Alden Liuti Nascimento, Eng. Agrônomo
Ecosfera Consultoria Ambiental

Dedico este trabalho à minha irmã, Andreza.

AGRADECIMENTOS

A meus pais, Osmar e Suzi, pelo carinho e apoio.

Aos meus tios, Osair e Tânia, e os seus filhos, Douglas e Diego, que me incentivaram a mudar de cidade para continuar os estudos e me deram todo o apoio necessário para que eu concluísse a graduação.

Aos meus tios, Gilberto e Nezita, pelo carinho e momentos de distração.

Ao professor Dr. Gabriel Cremona Parma, pelo grande auxílio e orientações que tornaram possível a realização deste trabalho.

À amiga Anádia Gaio, pela grande amizade e apoio.

À amiga Juliana Silveira, pela ajuda no estágio e nos estudos.

A todos os amigos da Unisul, por fazerem parte desta etapa tão importante da minha vida.

A todos os professores da Unisul, pelos ensinamentos passados.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar com mais inteligência.”
(Henry Ford)

RESUMO

A erosão, quando intensificada pelas interferências humanas, torna-se um grave problema ambiental, provocando impactos sobre a qualidade do solo e da água. A erosão hídrica é a forma mais importante de erosão no Brasil. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul, localizada em Santa Catarina. Para tanto, utilizou-se a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) integrada a um sistema de informações geográficas. Esta equação é composta por cinco fatores que representam a influência da erosividade da chuva, erodibilidade do solo, topografia, uso do solo e práticas agrícolas conservacionistas. Para a obtenção destes fatores, utilizou-se de dados secundários referentes a séries históricas de precipitação, tipos de solos, uso atual do solo, cartas topográficas e hidrografia. Somente o fator relativo a práticas conservacionistas não foi obtido, para o qual foi atribuído valor igual a 1 (neutro) em toda a área. O método utilizado mostrou-se satisfatório na identificação das áreas com maior potencial de erosão na bacia. A maior parte da bacia possui perda de solo enquadrada nas classes muito baixa e baixa, que correspondem juntas a 89,23 % da área total. Isto se deve às características do uso do solo na bacia, que apresenta grande parte coberta por vegetação natural. Os valores mais elevados de perdas de solo ocorreram em áreas de agricultura, pastagem e mineração, principalmente onde a declividade é mais acentuada e a erosividade da chuva é mais intensa. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o uso da EUPS é adequado para subsidiar a seleção de áreas prioritárias para investimentos em políticas e programas de conservação da água e do solo.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Sul. Erosão hídrica. Equação Universal de Perda de Solo. Sistemas de informações geográficas.

ABSTRACT

Erosion, when intensified by human interference, becomes a serious environmental problem causing impacts on soil and water quality. Water erosion is the most important form of erosion in Brazil. The present work aimed to evaluate the potential of water erosion in the Cubatão do Sul river basin, located in Santa Catarina. To this end, the Universal Soil Loss Equation (USLE) integrated into a geographic information system was used. This equation is composed of five factors that represent the influence of rainfall erosivity, soil erodibility, topography, land use and conservationist agricultural practices. To obtain these factors, secondary data referring to historical series of precipitation, soil types, current soil use, topographic charts and hydrography were used. Only the factor related to conservation practices was not obtained, for which a value equal to 1 (neutral) was assigned throughout the area. The method used was satisfactory in identifying the areas with the highest erosion potential in the basin. Most of the basin has soil loss in the very low and low classes, which together account for 89.23% of the total area. This is due to the characteristics of land use in the basin, which is largely covered by natural vegetation. The highest values of soil losses occurred in areas of agriculture, pasture and mining, especially where the slope is more pronounced and the erosivity of rain is more intense. From the results obtained, it was found that the use of USLE is adequate to support the selection of priority areas for investments in water and soil conservation policies and programs.

Keywords: Cubatão do Sul River Basin. Water erosion. Universal Soil Loss Equation. Geographic information system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas do processo de erosão hídrica.....	15
Figura 2 – Estruturas de dados vetoriais e matriciais	23
Figura 3 – Processo geral de manipulação de dados geográficos com geoprocessamento	24
Figura 4 – Implementação da EUPS em ambiente SIG	25
Figura 5 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul.....	26
Figura 6 – Hidrografia da bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul	27
Figura 7 – Relevo da bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul	28
Figura 8 – Distribuição espacial dos solos na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul	30
Figura 9 – Uso do solo na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul.....	32
Figura 10 – Fluxograma geral do método adotado.....	35
Figura 11 – Calculadora <i>raster</i> configurada para realizar a álgebra de mapas	35
Figura 12 – Localização das estações pluviométricas utilizadas.....	38
Figura 13 – Exemplo de área de contribuição específica	41
Figura 14 – Influência do relevo na configuração da área de contribuição.....	42
Figura 15 – Interface da ferramenta LS-TOOL.....	43
Figura 16 – Mapa do fator erosividade da chuva na bacia do Rio Cubatão do Sul.....	46
Figura 17 – Mapa do fator K na bacia do Rio Cubatão do Sul.....	48
Figura 18 – Mapa do fator LS na bacia do Rio Cubatão do Sul.....	50
Figura 19 – Mapa do fator C para a bacia do Rio Cubatão do Sul.....	52
Figura 20 – Mapa do potencial à erosão na bacia do Rio Cubatão do Sul	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Alguns fatores que influem na erodibilidade dos solos.....	17
Quadro 2 – Características gerais dos solos da bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de relevo existentes na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul.....	28
Tabela 2 – Tipos de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul	31
Tabela 3 – Estações pluviométricas utilizadas para obtenção do fator R.....	37
Tabela 4 – Valores do fator K obtidos da literatura	40
Tabela 5 – Valores do fator C obtidos da literatura.....	44
Tabela 6 – Valores do fator R obtidos nas estações utilizadas.....	46
Tabela 7 – Valores do fator K para o solos da bacia do Rio Cubatão do Sul e sua classificação	48
Tabela 8 – Valores do fator topográfico na bacia do Rio Cubatão do Sul	49
Tabela 9 – Valores do fator para os tipos de uso do solo na bacia do Rio Cubatão do Sul	51
Tabela 10 – Classes de perdas de solo na bacia do Rio Cubatão do Sul.....	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo geral	13
1.2.2	Objetivos específicos	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	EROSÃO.....	14
2.1.1	Processo físico de erosão hídrica.....	14
2.1.2	Fatores controladores dos processos erosivos.....	16
2.1.3	Consequências da erosão acelerada.....	19
2.2	O MODELO EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO	19
2.3	SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)	23
2.3.1	Geoprocessamento.....	24
3	ÁREA DE ESTUDO	26
3.1	LOCALIZAÇÃO	26
3.2	HIDROGRAFIA	26
3.3	RELEVO.....	27
3.4	CLIMA.....	29
3.5	SOLOS.....	29
3.6	USO E COBERTURA DO SOLO.....	31
4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	MATERIAIS.....	33
4.2	MÉTODOS	34
4.2.1	Implementação do modelo EUPS em ambiente SIG.....	34
4.2.2	Elaboração dos mapas dos fatores da EUPS	36
4.2.2.1	Mapa do fator erosividade da chuva.....	36
4.2.2.2	Mapa do fator erodibilidade do solo.....	39
4.2.2.3	Mapa do fator topográfico	40
4.2.2.4	Mapa do fator cobertura e manejo do solo	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45

5.1	MAPAS DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS FATORES DA EUPS	45
5.1.1	Mapa do fator erosividade da chuva	45
5.1.2	Mapa do fator erodibilidade do solo.....	47
5.1.3	Mapa do fator topográfico.....	49
5.1.4	Mapa do fator cobertura e manejo do solo	50
5.2	MAPA DO POTENCIAL A EROSÃO LAMINAR	52
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
	REFERÊNCIAS	58
	APÊNDICES	64
	APÊNDICE A – CURVAS DUPLA MASSA DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS .	65
	APÊNDICE B – PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS NA ÁREA DE ESTUDO	67

1 INTRODUÇÃO

A erosão é definida como o conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são desgastados e transportados de um ponto a outro por agentes como as geleiras, os rios, os mares, o vento ou a chuva (BASTOS, 1999). Quando o agente erosivo é a chuva, é chamada de erosão pluvial.

De acordo com Almeida Filho (2015), a erosão ocorre naturalmente e atua no desenvolvimento da paisagem, modificando o relevo de forma lenta e contínua. As interferências humanas intensificam e aceleram os processos erosivos, pela remoção da cobertura vegetal que protege os solos, levando a diversos danos ambientais e socioeconômicos.

Este mesmo autor destaca que entre os principais problemas decorrentes da erosão acelerada estão a perda da produtividade agrícola e o assoreamento dos cursos d'água e reservatórios. Este último está associado a danos como obstrução de canais de cursos d'água, destruição do habitat de espécies aquáticas, aumento da turbidez em mananciais, entre outros. Além disso, devido à taxa de formação do solo ser muito lenta, sendo frequentemente referidos valores médios de 0,1 a 1,0 mm de espessura por ano, ele é considerado um recurso não renovável e que, portanto, precisa ser gerido de forma adequada (CORTEZ; ABREU, 2008).

Diante deste contexto, verifica-se ser de grande importância ações como o diagnóstico e planejamento ambiental visando a implementação de ações para conservação do solo e da água em bacias hidrográficas. Dessa forma, o mapeamento do risco à erosão constitui uma importante ferramenta para o diagnóstico (BACK *et al.*, 2017).

Entre os diferentes métodos existentes para mapeamento de áreas mais suscetíveis a ocorrência de processos erosivos, a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) tem grande destaque. Esta equação consiste em um modelo matemático desenvolvido nos EUA em meados da década de 1960 para servir como suporte ao planejamento agrícola conservacionista. Devido à sua eficácia e simplicidade, é o modelo de predição de erosão mais utilizado no mundo (BASSO, 2018).

O uso da EUPS se torna mais fácil com o auxílio de um sistema de informações geográficas, pois permite a integração de dados temáticos de variadas fontes e formatos. Apesar de possuir limitações no aspecto quantitativo, a EUPS permite identificar as áreas com maior potencial a perdas de solo (BARBOSA *et al.*, 2015).

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial a erosão na bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul, utilizando a EUPS com o auxílio de um Sistema de Informações Geográficas.

1.1 JUSTIFICATIVA

A área escolhida para o mapeamento de erosão foi a bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul – SC. Localizam-se nesta bacia os principais mananciais utilizados no sistema de abastecimento de água da Região da Grande Florianópolis, os rios Cubatão do Sul e Vargem do Braço, que abastecem cinco municípios: Biguaçu, Florianópolis, Palhoça, Santo Amaro da Imperatriz e São José (RAMOS, 2005).

Esta bacia apresenta problemas ambientais, principalmente o Rio Cubatão do Sul, que é afetado por assoreamento e elevação da turbidez. A remoção da mata ciliar, a extração de areia e a agricultura são interferências que intensificam os processos erosivos nessa área, afetando tanto a quantidade como a qualidade das águas (PEREIRA; ZANIN, 2002). Análises de amostras coletadas nos pontos de captação da Casan, realizadas em 2014 pela Agesan (atual Aresc), mostrou valores de turbidez de 110,04 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez) e 1,71 NTU, para os rios Cubatão de Sul e Vargem do Braço, respectivamente. Esta diferença decorre, principalmente, pelo fato de o rio Vargem do Braço estar localizado dentro do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro (PEST), que possui em grande parte de sua área vegetação preservada.

O PEST ocupa aproximadamente 43% da área total da bacia, o que significa que essa área está mais protegida contra os processos erosivos, pois a cobertura vegetal protege o solo contra a ação erosiva da chuva. No entanto, determinadas regiões podem apresentar maior vulnerabilidade por características naturais da topografia e dos solos, que devem ser protegidas de usos inadequados.

Vale ressaltar que a turbidez elevada encarece o tratamento de água para abastecimento, pois a quantidade de produtos químicos para o processo de coagulação-floculação, através do qual as partículas são adensadas para posterior sedimentação nas ETAs, é maior.

A importância estratégica desta bacia para a região torna relevante o estudo dos fatores que implicam em risco para a qualidade ambiental e o bem-estar da população, como é o caso da erosão. Neste sentido, um mapeamento de erosão, objetivo deste trabalho, visa contribuir

para uma gestão ambiental adequada na área, fornecendo uma indicação das áreas mais vulneráveis à ocorrência de processos erosivos e que devem ser priorizadas quanto à aplicação de medidas de preservação da água e do solo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial a erosão laminar na bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul – SC utilizando o modelo Equação Universal de Perda de Solo – EUPS com o auxílio de um sistema de informações geográficas (SIG).

1.2.2 Objetivos específicos

- Revisar os princípios teóricos sobre a erosão hídrica, suas implicações ambientais e o seu mapeamento através do modelo EUPS;
- Elaborar mapas em formato *raster* da distribuição espacial de cada um dos fatores integrantes do modelo EUPS;
- Aplicar o modelo EUPS para a área em estudo, combinando os mapas *raster* dos fatores integrantes do modelo, pela aplicação de álgebra de mapas;
- Identificar as áreas com maior potencial a erosão laminar na área em estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 EROSÃO

O termo erosão vem do latim *erodere*, que significa “corroer”. A erosão pode ser definida como um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são degradados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto a outro pelos agentes erosivos, tais como as geleiras, os rios, os mares, o vento ou a chuva (BASTOS, 1999). De acordo com Lepsh (2010), no Brasil, a erosão causada pela água (erosão hídrica) é a mais importante.

Conforme Tavares *et al.* (2008), a erosão, quanto à sua origem, pode ser classificada em geológica e antrópica. A erosão geológica é um processo natural, oriunda da atividade geológica (água, vento e gelo), sem a interferência do homem. A erosão antrópica (ou acelerada), por sua vez, é oriunda da interferência do homem sobre o ambiente, intensificando a ação da chuva e/ou vento sobre o solo.

Para Bennett (1939, *apud* MAGRI, 2013) a erosão geológica reflete uma condição natural de equilíbrio ou como parte do ciclo geológico, ao passo que a erosão acelerada representa a quebra deste equilíbrio, ocasionando problemas ambientais e prejuízos econômicos.

2.1.1 Processo físico de erosão hídrica

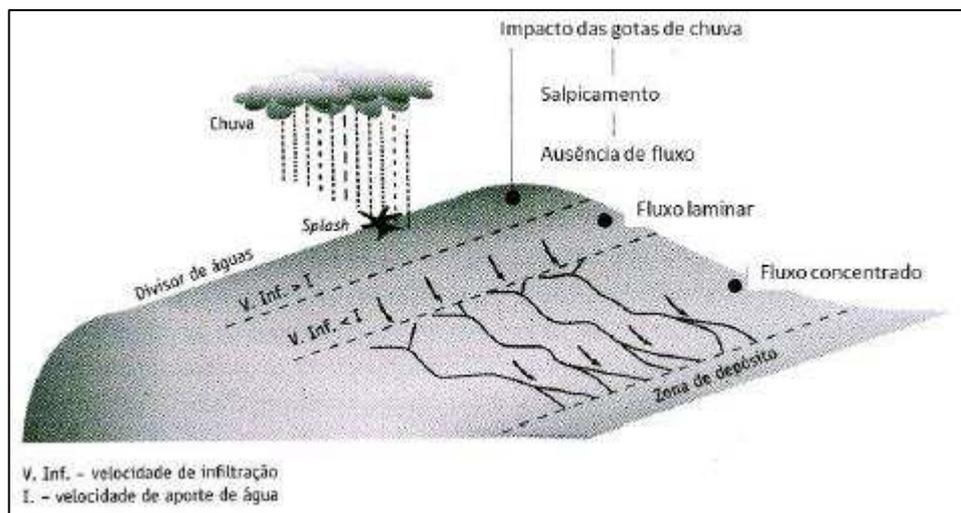
O processo físico de erosão hídrica compreende três fases básicas que podem ocorrer de forma individual ou conjuntamente, quais sejam: desagregação, transporte e deposição de partículas de solo (CECATTO, 2014).

De acordo com Durrah e Bradford (1982, *apud* CASTILLO, 2016), a etapa de desagregação consiste na ruptura dos agregados pelo impacto das gotas da chuva sobre o solo. Esse processo é normalmente chamado de salpicamento ou *splash* e tem como consequência a formação do selamento da superfície do solo, gerando conseqüentemente uma menor taxa de infiltração e maior escoamento superficial da água. O salpicamento também produz o transporte das partículas vários centímetros.

Na segunda etapa ocorre o transporte das partículas pelo escoamento superficial, sendo possível distinguir duas formas de erosão: laminar e linear.

Conforme Almeida Filho (2015), a erosão laminar ocorre devido a um escoamento difuso das águas da chuva. Esse tipo de erosão retira a camada superficial do solo de maneira quase homogênea. É de difícil percepção quando se encontra no início, levando o solo a uma coloração clara e ao descobrimento das raízes das árvores com o seu avanço. É um tipo de erosão extremamente atuante em áreas agrícolas, onde o solo fica descoberto em determinadas épocas do ano, antecedendo o período de plantio. Ocorre também na área urbana, nas áreas de expansão da cidade por meio de abertura de novos loteamentos e bairros sem infraestrutura. A erosão linear, por sua vez, ocorre por escoamento superficial concentrado (Figura 1).

Figura 1 – Etapas do processo de erosão hídrica



Fonte: Castillo, 2016.

Conforme Araújo e Andrade (2011), a erosão linear consiste no arraste de partículas de solo pela água, seguindo pequenas ranhuras e sulcos. O escoamento anteriormente laminar passa a se concentrar em filetes líquidos, cuja origem dependerá de feições do microrrelevo do terreno, principalmente dos pequenos obstáculos encontrados na superfície. O obstáculo divide o fluxo laminar de água, provocando a jusante um pequeno turbilhonamento que escava uma pequena depressão, que por sua vez se alonga originando uma incisão (sulconamento). Esse processo é também chamado de erosão em sulcos.

Para Bastos (1999), o processo de sulconamento do solo pela maior concentração do fluxo pode evoluir levando à formação de ravinas. Conforme Almeida Filho (2015) a ravina, geralmente, tem um formato em “V”, retilínea, alongada e estreita. Raramente apresenta ramificações e não chega a atingir o lençol freático.

O aprofundamento das ravinas pode levar a formação de boçorocas (ou voçorocas), a forma mais grave de erosão. O termo boçoroca, que provém do tupi *mboço'roka*, gerúndio de

mboço'roz (romper ou rasgar), designa uma ravina de grandes dimensões originada pela grande concentração do fluxo superficial (BASTOS, 1999).

As boçorocas apresentam dimensões variáveis, atingindo comprimentos de várias centenas de metros e profundidade em geral entre 15 e 30 m. A largura pode atingir dezenas de metros, e o perfil transversal é em forma de “U” ou em forma de manjedoura (ARAÚJO; ANDRADE, 2011).

De acordo com Cecatto (2014), a terceira e última etapa da erosão, a deposição de sedimentos, ocorre quando é excedida a capacidade de transporte do fluxo, caracterizando a sedimentação e pode ocorrer de forma definitiva ou temporária. Conforme Castillo (2016), a deposição das partículas ocorre em depressões, concavidades das vertentes, plantas ou qualquer outro obstáculo.

2.1.2 Fatores controladores dos processos erosivos

De acordo com Bastos (1999), embora possa parecer de simples concepção, o fenômeno da erosão hídrica envolve complexos mecanismos, onde a multiplicidade e a inter-relação dos fatores intervenientes são a principal dificuldade no seu estudo. Este mesmo autor, assim como Lepsh (2010), aponta que os principais fatores podem ser agrupados em quatro classes: climáticos, topográficos, vegetação e solo.

Os fatores climáticos são a chuva, temperatura, radiação solar e vento. A chuva, o fator mais importante, provoca erosão do solo tanto pelo impacto direto das gotas de água, caindo com velocidade e energia variáveis, quanto pela concentração do fluxo das águas de escoamento superficial (MAGRI, 2013).

Para Hudson (1981, *apud* MAGRI, 2013), a capacidade erosiva das chuvas (erosividade) é influenciada por três características:

- Intensidade, normalmente expressa em milímetros por hora, é altamente variável durante um evento chuvoso;
- Duração da chuva, ou seja, o período de tempo a partir do início de um evento chuvoso até o seu fim;
- Energia, sendo a soma da energia cinética de todas as gotas da chuva que caem em uma unidade de área.

Os fatores topográficos são a declividade e o comprimento de rampa. Estes interferem diretamente no escoamento superficial: terrenos com maiores declividades e comprimentos de

rampa apresentam maiores velocidades de escoamento superficial e, conseqüentemente, maior influência na erosão (BASTOS, 1999).

De acordo com Almeida Filho (2015), a cobertura vegetal é o fator mais importante de defesa natural do solo, funcionando como uma manta protetora que evita a desagregação das partículas do solo, primeira fase da erosão. Entre os principais efeitos da cobertura vegetal, Bertoni e Lombardi Neto (1985 *apud* MAGRI, 2013) citam os seguintes:

- Proteção direta contra o impacto das gotas da chuva;
- Dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo;
- Decomposição das raízes das plantas que, formando poros e canais no solo, aumentam a infiltração da água;
- Melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água;
- Diminuição da velocidade das águas do escoamento superficial pelo aumento do atrito na superfície.

A influência do tipo de solo nos processos erosivos é relativa às propriedades do solo que determinam a velocidade de infiltração da água da chuva e a resistência à erosão pelas gotas e pelo escoamento superficial. Esta influência é representada pela erodibilidade do solo, definida como a propriedade do solo que retrata a maior ou menor facilidade com que suas partículas são destacadas e transportadas pela ação de um agente erosivo (BASTOS, 1999).

Ainda de acordo com Bastos (1999), a erodibilidade é uma das características de comportamento dos solos de maior complexidade devido ao grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecanismos intervenientes. O Quadro 1 apresenta um resumo de alguns dos principais fatores que influenciam na erodibilidade dos solos.

Quadro 1 – Alguns fatores que influem na erodibilidade dos solos

Fator	Definição¹	Influência²
Textura	Proporção das frações argila, silte e areia que compõem o solo.	<ul style="list-style-type: none">• Influid no destacamento e carreamento das partículas do solo;• Determina a facilidade com que o solo é dispersado.
Estrutura	Forma como se arranjam as partículas elementares do solo.	<ul style="list-style-type: none">• Condiciona a formação de agregados que resistem à dispersão, aos efeitos do escoamento e ao destacamento;

		<ul style="list-style-type: none"> • Influi no grau de agregação e distribuição de agregados estáveis; • A rugosidade superficial dos agregados influencia a retenção d'água; • Condiciona a formação de crosta superficial determinante de alta taxa de escoamento superficial.
Infiltração e permeabilidade	Capacidade que o solo possui de deixar passar água e ar através de seu perfil.	<ul style="list-style-type: none"> • A taxa de infiltração e a permeabilidade do solo determinam o volume de escoamento superficial.
Matéria orgânica	Todo material orgânico, vegetal ou animal.	<ul style="list-style-type: none"> • Influencia a textura e as propriedades de retenção e distribuição de água; • Fortalece os agregados e os microagregados, aumentando suas resistências à desagregação e à dispersão.

Fonte: (1) Checchia, 2005; (2) Bastos (1999, p. 4)

De acordo Almeida Filho (2015), a ação antrópica tem grande influência no processo erosivo e, quando efetuada de modo inadequado, constitui fator decisivo da aceleração dos processos erosivos. Para este mesmo autor, as principais intervenções humanas que favorecem a erosão são as seguintes:

- Retirada da cobertura vegetal;
- Agricultura praticada sem o emprego de técnicas de conservação do solo, como plantio em morro abaixo, sem rotação de cultura etc.;
- Formação de pastos com alta densidade de animais, proporcionando um excessivo pisoteio em determinadas direções, formando trilhas e sulcos;
- Aberturas de estradas e carregadores sem o devido cuidado na execução de obras de drenagem para coletar e transportar águas pluviais.

Para Weill e Pires Neto (2007, *apud* MAGRI, 2013), o uso das terras com alta suscetibilidade à erosão e a falta de planejamento do uso e ocupação do solo, estão entre os principais fatores que atuam na aceleração do processo erosivo em áreas agrícolas.

2.1.3 Consequências da erosão acelerada

A erosão associada à ação antrópica é um grave problema ambiental, podendo causar danos ao meio físico e à própria sociedade (MAGRI, 2013). Conforme Soco (2009, *apud* MAGRI, 2013), a erosão provoca danos tanto no local onde ocorre, quanto à jusante. A perda de solo reduz a fertilidade e a capacidade produtiva das terras agrícolas. O solo removido também contribui para a contaminação da água devido aos sedimentos suspensos, pesticidas e fertilizantes. Os sedimentos também podem provocar assoreamentos dos reservatórios e cursos d'água.

O assoreamento, considerado um dos principais impactos da erosão sobre o meio ambiente, pode causar os seguintes problemas: perda de volume dos reservatórios, redução da profundidade de canais, perda da eficiência de obras hidráulicas, produção de cheias, deterioração da qualidade da água, alteração e morte da vida aquática e prejuízos ao lazer (MAGRI 2013).

2.2 O MODELO EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO

Um modelo é uma representação simplificada de algum objeto ou sistema numa forma ou linguagem de fácil acesso e uso, desenvolvido como o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas (CECATTO, 2014). Conforme este mesmo autor, de acordo com a forma com que os modelos descrevem os processos, eles podem ser classificados em:

- Modelos empíricos: são baseados puramente na experimentação. Estes modelos se utilizam de um relacionamento estatístico entre resultados conhecidos e um determinado conjunto de variáveis independentes, por meio de equações de regressão. As funções construídas, a princípio, não têm qualquer relação com os processos físicos envolvidos no fenômeno de erosão;
- Modelos conceituais: buscam descrever matematicamente as características estruturais, bem como os processos físicos que interferem na erosão. Estes modelos podem ser subdivididos em semiconceituais (modelos de base física com certas relações empíricas) e físicos (utilizam-se de equações diferenciais do sistema físico).

Os modelos de base física representam os processos naturais descrevendo cada fator físico individual no processo e combinando-os em um modelo complexo. Dessa forma,

permitem explicar a participação de cada variável natural no processo físico, como topografia, vegetação, solo e clima (SANTOS, 2013). No entanto, devido a seu alto grau de complexidade, exigem grande esforço na geração dos dados de entrada e muito trabalho computacional no seu processamento (CECATTO, 2014). O ANSWERS (*Areal Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation model*), desenvolvido por Beasley *et al.* (1980) e o WEPP (*Water Erosion Prediction Project*), desenvolvido por Laflen *et al.* (1991), são exemplos de modelos de base física muito utilizados (CHECCHIA, 2005).

Os modelos empíricos, por sua vez, são mais simples e possuem exigência computacional e de dados inferior aos modelos conceituais e fisicamente baseados (CHECCHIA, 2005). Estes modelos são normalmente utilizados em situações com limitação de dados, sendo importantes e úteis na identificação das áreas críticas de erosão (SCHICK, 2014).

Entre os modelos empíricos, tem grande destaque a Equação Universal da Perda de Solo – EUPS (*Universal Soil Loss Equation – USLE*), desenvolvido por Walter H. Wischmeier e Dwigh D. Smith, no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), em cooperação com a Universidade de Purdue. Em 1965, com a publicação do trabalho “*Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the rock mountains: guide for selection practices for soil and water conservation*”, a EUPS foi apresentada pela primeira vez como uma tecnologia completa. Uma versão atualizada do modelo foi publicada por Wischmeier e Smith em 1978, no trabalho intitulado “*Predicting rainfall losses: a guide to conservation planning*” (USDA, 2016).

De acordo com Checchia (2005), a EUPS deriva da reunião e interpretação dos dados de perdas de solo e água coletados em vários locais dos EUA, a partir dos anos 30. O modelo foi desenvolvido com base em estudos com diferentes tipos de parcelas-padrão de solos, com dimensões fixadas em 22,1 metros de comprimento, declividade de 9% e largura mínima de 1,83 metros. Foram analisados dados anuais de mais de 10.000 parcelas-padrão, instaladas em diferentes tipos de solos e sujeitas a diferentes tipos de rotações e culturas.

Conforme Cecatto (2014), esse modelo foi denominado “universal” em função de sua estrutura permitir sua aplicação em todos os lugares onde pudessem ser obtidos dados apropriados. A equação possibilita prever a perda média anual de solo por erosão hídrica com base nos fatores locais que influenciam a erosão, possuindo a seguinte forma:

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

Onde:

A = perda média anual de solo calculada a longo prazo, por unidade de área, em t/(ha.ano);

R = Fator erosividade da chuva, em MJ.mm/(ha.h.ano);

K = Fator erodibilidade do solo, em t.ha.h/(ha.MJ.mm);

L = Fator comprimento do declive, adimensional;

S = Fator grau do declive, adimensional;

C = Fator cobertura e manejo do solo, adimensional;

P = Fator prática conservacionista de suporte.

De acordo com Schick (2014), a característica essencial dessa equação é considerar separadamente os principais fatores que causam a erosão hídrica, definidos da seguinte maneira:

- Fator erosividade da chuva (R): representa um índice numérico que denota a capacidade da chuva de um determinado local em causar erosão;
- Fator erodibilidade do solo (K): representa a suscetibilidade do solo à erosão, expressando a quantidade de erosão por unidade do índice de erosividade da chuva, para um solo específico, preparado convencionalmente no sentido do declive e mantido continuamente descoberto, com 9 % de declive e 22,1 m de comprimento;
- Fator comprimento do declive (L): representa a relação entre as perdas de solo de um determinado comprimento de rampa em condições de campo, com as perdas ocorridas em 22,1 metros de comprimento, mantidas idênticas as demais condições;
- Fator grau do declive (S): representa a relação das perdas de solo de uma encosta com determinado declive e as da parcela unitária, com 9 % de declive, mantidas idênticas as demais condições;
- Fator cobertura e manejo do solo (C): representa a relação das perdas de solo entre um solo cultivado com determinada cultura e este mesmo solo mantido nas mesmas condições da parcela unitária onde o fator K é determinado;
- Fator prática conservacionista de suporte (P): representa a relação das perdas de solo entre um solo com determinada prática de controle da erosão e as de um solo sem nenhuma prática conservacionista.

Os fatores L e S são normalmente analisados em conjunto, e sua combinação resulta no chamado fator topográfico (LS).

A EUPS é o modelo preditivo de erosão mais utilizado no mundo e fornece informações apropriadas para o planejamento do uso do solo e conservação da água (BASSO 2018).

A aplicação da EUPS como o auxílio de sistemas de informações geográficas (SIG) constitui em uma importante ferramenta de apoio ao planejamento das formas de utilização e ocupação do solo e para a implantação de projetos relacionados à utilização de recursos hídricos em escala de bacia hidrográfica (BACK *et al.*, 2017).

A principal vantagem da utilização da EUPS é a sua relativa simplicidade e, por isso, ela vem sendo largamente utilizada (CHECCHIA, 2005). No entanto, conforme Wischmeier (1976 *apud* CHECCHIA, 2005), a utilização da EUPS deve considerar as seguintes limitações:

- O modelo prevê a perda de solo média em longos períodos, não devendo ser aplicado na previsão da erosão em eventos hidrológicos isolados;
- O modelo não considera a deposição de sedimentos ao longo da encosta, que possa ocorrer em depressões, na base das encostas e sempre que os agentes erosivos não disponham de energia suficiente para o transporte.

Outra limitação desse modelo, enfatizada por Amorim (2004), é que a EUPS não serve para estimar perda de solo por erosão em sulcos em fase mais avançada, como ravinas e boçorocas. Além disso, devido à base totalmente empírica, a sua aplicação em situações diferentes daquelas para as quais foi desenvolvida requer a realização de pesquisas para obtenção dos termos componentes do modelo.

Apesar de suas limitações, a EUPS é o modelo preditivo de erosão mais utilizado no mundo (BASSO 2018). Na literatura, encontram-se inúmeros trabalhos sobre a aplicação da USLE em diferentes escalas, em diversos locais do mundo. No Brasil, há diversos trabalhos publicados sobre a aplicação da EUPS na escala de bacia (artigos, dissertações, teses, TCCs etc.) como, por exemplo, os trabalhos de Checchia (2005), Basso (2018), Back *et al.* (2017), Rodrigues *et al.* (2017) e Amorim (2004).

Considerando as limitações do modelo, Borges (2009, *apud* BARBOSA *et al.*, 2015) aponta que a aplicação da EUPS em escala regional é válida principalmente para estudos qualitativos sobre a erosão laminar, sendo amplamente empregada na identificação das áreas mais potencialmente erosivas.

2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Na literatura, há diferentes definições para o termo sistema de informações geográficas (SIG). De acordo com Escobar (2019, p. 2), uma definição amplamente aceita de SIG é a fornecida pelo *National Center of Geographic Information and Analysis*:

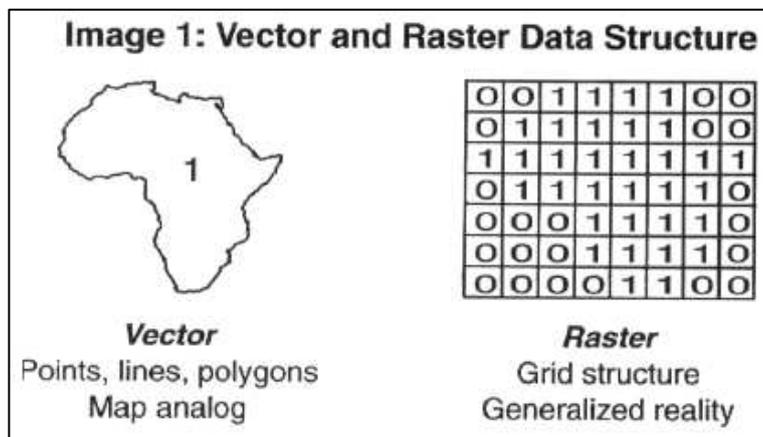
um SIG é um sistema de hardware, software e procedimentos para facilitar o gerenciamento, manipulação, análise, modelagem, representação e exibição de dados georreferenciados para resolver problemas complexos relacionados ao planejamento e gestão de recursos.

Câmara e Queiroz (2004) afirmam que os SIGs são tecnologias que possuem uma multiplicidade de usos e visões possíveis e uma perspectiva interdisciplinar de utilização. Estes mesmos autores indicam como principais características dos SIGs as seguintes:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

De acordo com Rosa (2013), existem dois tipos de formatos ou estruturas de armazenamento e representação dos dados geográficos nos SIGs: matricial e vetorial (Figura 2). No formato matricial (raster), utiliza-se uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói célula a célula o elemento que está sendo representado, enquanto que no formato vetorial é usada uma série de pontos (coordenadas x, y) para definir o limite do objeto ou feição de interesse.

Figura 2 – Estruturas de dados vetoriais e matriciais



Fonte: Davis, 2019.

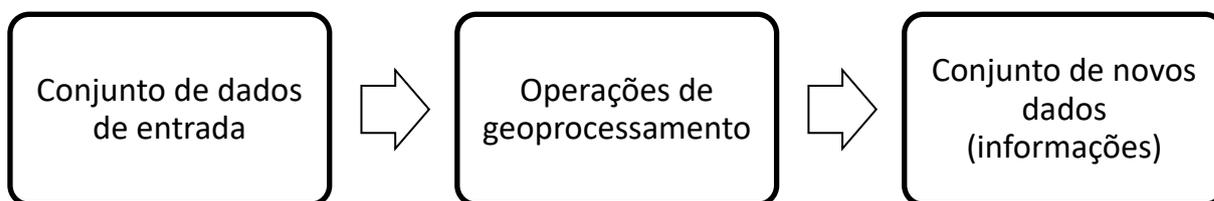
Cada formato de dados tem suas vantagens e desvantagens. O formato raster é relativamente simples e facilita a realização de modelagens, porém sua acurácia depende do tamanho da célula (resolução). No formato vetorial, os dados geográficos são mais acurados e mais confiáveis do que os dados em formato matricial. No entanto, estes são mais difíceis de manusear (DAVIS, 2019).

2.3.1 Geoprocessamento

Até o advento da informática, a manipulação de dados geográficos era feita através de mapas e outros documentos impressos ou desenhados em uma base. Atividades como análise combinada de mapas oriundos de diversas fontes, temas e escalas e atualização dos dados eram mais difíceis e trabalhosas de se executar, pois neste caso era necessária a reimpressão/redesenho em outra base. A partir da metade do século XX, os dados geográficos passam a serem tratados por um conjunto de técnicas matemáticas e computacionais, denominadas de geoprocessamento (FRANCISCO, 2017).

Geoprocessamento é o processamento de informações geográficas, uma das funções básicas de um sistema de informação geográfica (SIG). Uma tarefa típica de geoprocessamento utiliza um conjunto de dados de entrada (vetor, raster ou tabela), executa uma operação nesse conjunto de dados e retorna o resultado da operação como um conjunto de novos dados de saída (Figura 3) (MCCOY, 2004). Em outras palavras, geoprocessamento é uma tecnologia que auxilia a manipulação de dados geográficos, visando a produção de informação geográfica.

Figura 3 – Processo geral de manipulação de dados geográficos com geoprocessamento



Fonte: adaptado de Gamboa, 2012.

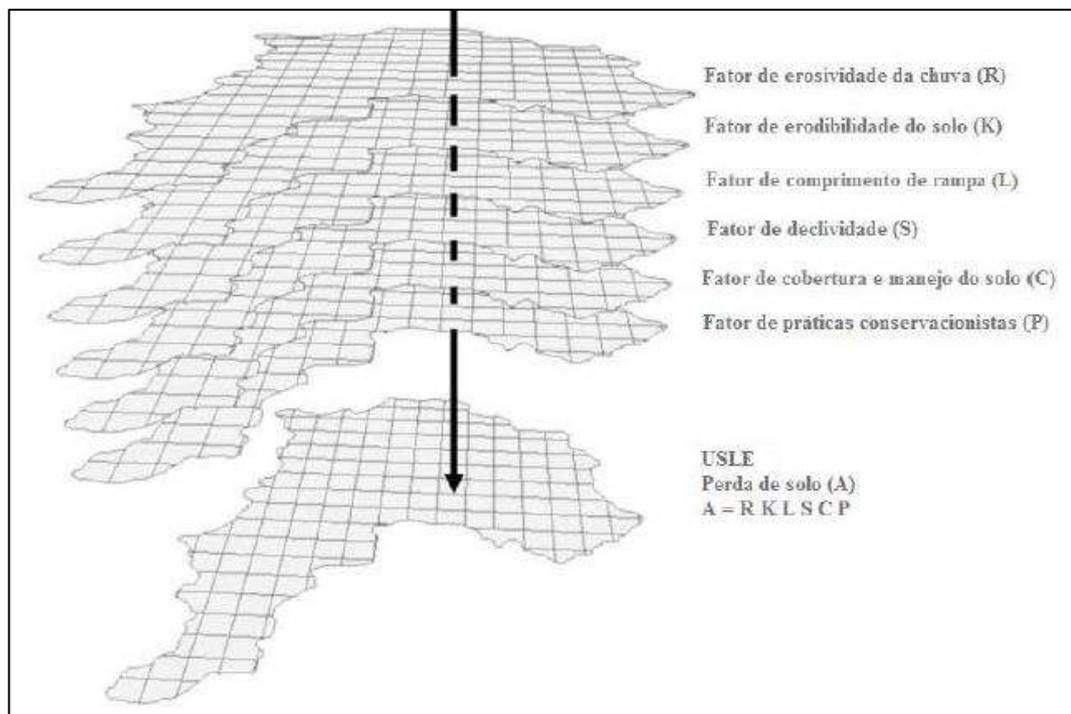
De acordo com Rosa (2013), o termo geoprocessamento é frequentemente utilizado como sinônimo de geomática no Brasil. No entanto, estes dois termos referem-se a conceitos distintos. A geomática é definida como uma área tecnológica que integra todos os meios utilizados para a aquisição e gerenciamento de dados espaciais, abrangendo campos como topografia, cartografia, geodésia, SIGs, fotogrametria e sensoriamento remoto (MEC, 2000).

O geoprocessamento, por sua vez, refere-se especificamente a um conjunto de ferramentas que permitem automatizar os fluxos de trabalho nos SIGs, fornecendo um ambiente de trabalho eficiente e um mecanismo para combinar uma série de operações e processos em uma sequência lógica que facilita a análise e a tomada de decisões (GAMBOA, 2012).

As tarefas que podem ser realizadas do modo automatizado utilizando ferramentas de geoprocessamento podem ser tão simples quanto transformar um conjunto de geodados de um formato para outro ou tão complexas quanto modelar as relações espaciais de fenômenos naturais, como o ciclo hidrológico, erosão hídrica, a produtividade de uma propriedade agrícola, a trajetória esperada de um incêndio florestal ou o cálculo das rotas de distribuição ideais em uma rede de transporte (GAMBOA, 2012).

Um exemplo de ferramenta de geoprocessamento é a calculadora raster, disponível em softwares SIG como o QGIS e o ArcGIS. Essa ferramenta permite a manipulação dos dados aplicando expressões matemáticas e lógicas aos valores dos pixels que compõem os mapas raster, facilitando o cruzamento de dados de vários planos de informação (Figura 4), gerando um novo dado raster no processo. Neste trabalho, a calculadora *raster* foi utilizada para o cruzamento dos mapas dos fatores da EUPS, gerando o mapa de perda de solo.

Figura 4 – Implementação da EUPS em ambiente SIG



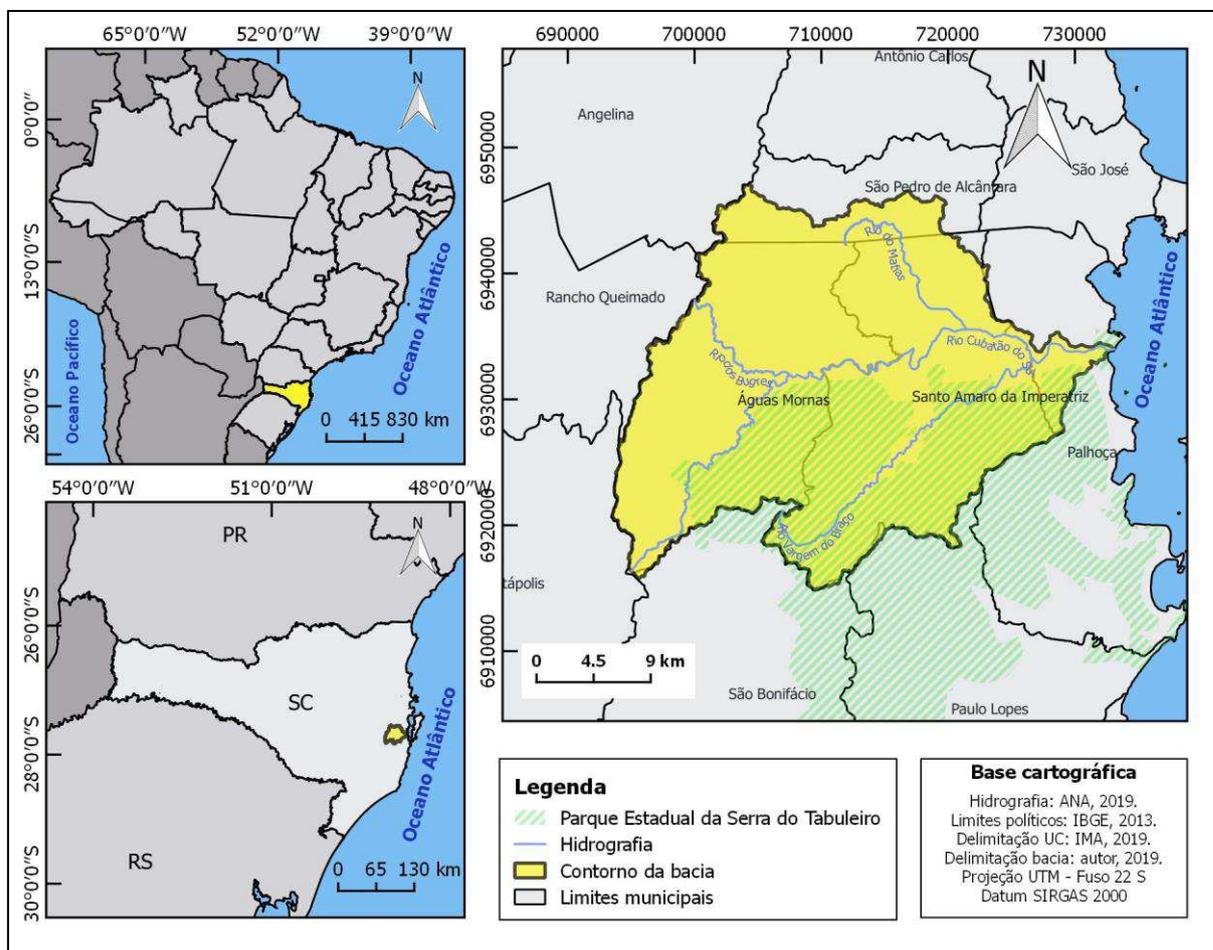
Fonte: adaptado de Barbosa *et al.*, 2017.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

A bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul está localizada no Estado de Santa Catarina, abrangendo totalmente os municípios de Águas Mornas e Santo Amaro da Imperatriz e parcialmente os municípios de Palhoça, São Bonifácio e São Pedro de Alcântara (Figura 5). Possui área de drenagem de 738 km² (dos quais 342 km² pertencem ao Parque Estadual da Serra do Tabuleiro) e perímetro de 167,44 km (PEREIRA; ZANIN, 2002).

Figura 5 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

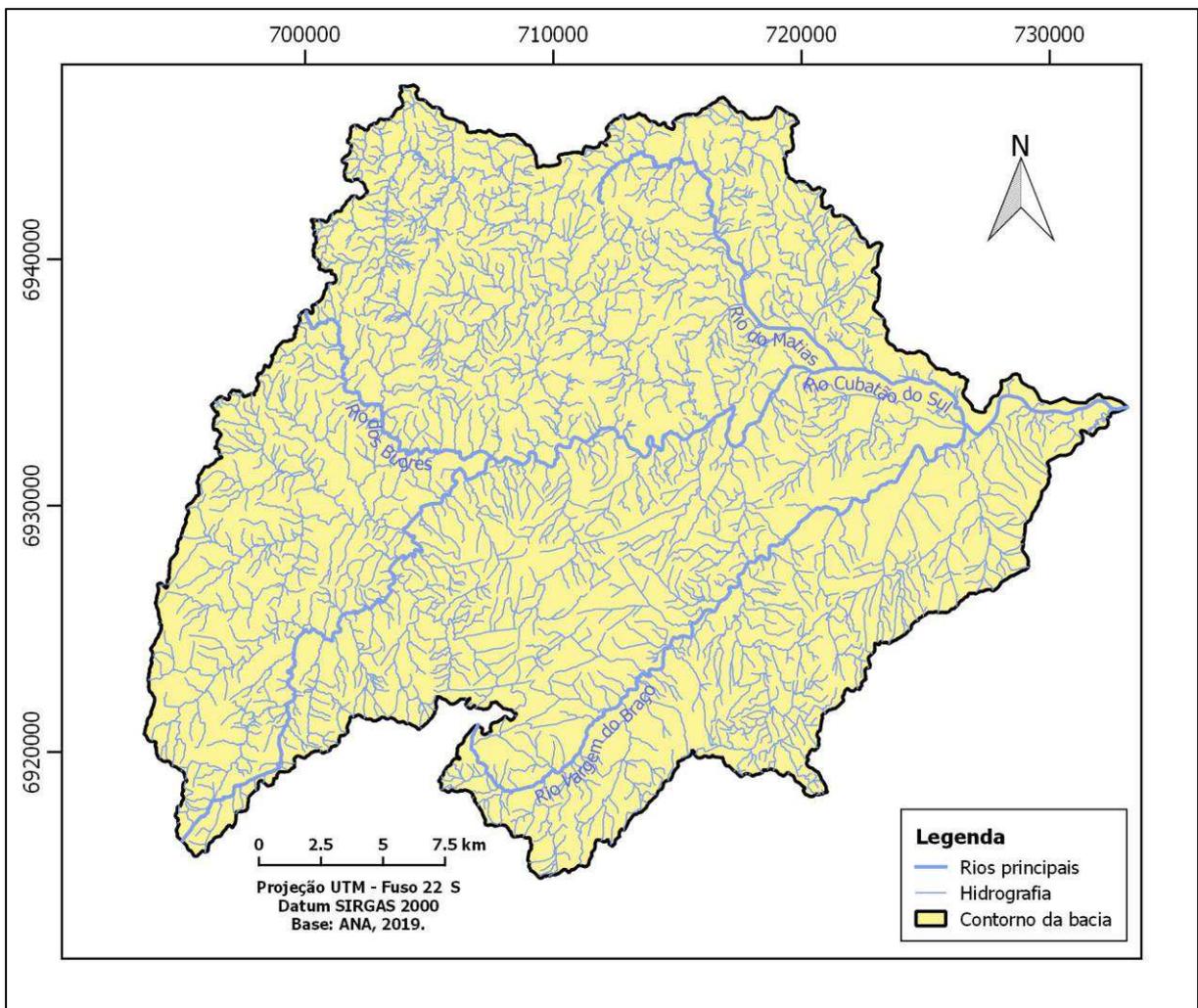
3.2 HIDROGRAFIA

Seu principal rio é o Cubatão do Sul, que se origina da confluência dos rios do Cedro e Bugres, no município de São Bonifácio, e percorre de suas nascentes até a foz, na Baía Sul,

65,15 km. Importantes afluentes do rio Cubatão do Sul são os rios do Salto, do Cedro, Caldas do Norte (ou Forquilhas) e do Matias. A foz possui um ecossistema de manguezal, conhecido como Manguezal da Palhoça (PEREIRA; ZANIN, 2002).

Os rios Cubatão do Sul e Vargem do Braço são de grande importância para a região, pois são os principais mananciais de captação de água para o abastecimento público de cinco municípios da região metropolitana da Grande Florianópolis: Biguaçu, Florianópolis, Palhoça, Santo Amaro da Imperatriz e São José (MARTINI, 2000 *apud* RAMOS, 2005).

Figura 6 – Hidrografia da bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

3.3 RELEVO

Para fazer a caracterização do relevo da bacia do Rio Cubatão do Sul, adotou-se a classificação do relevo proposta pela Embrapa (1999, *apud* GASPARINI *et al.*, 2013). As classes de relevo predominantes na área de estudo são fortemente ondulado e ondulado,

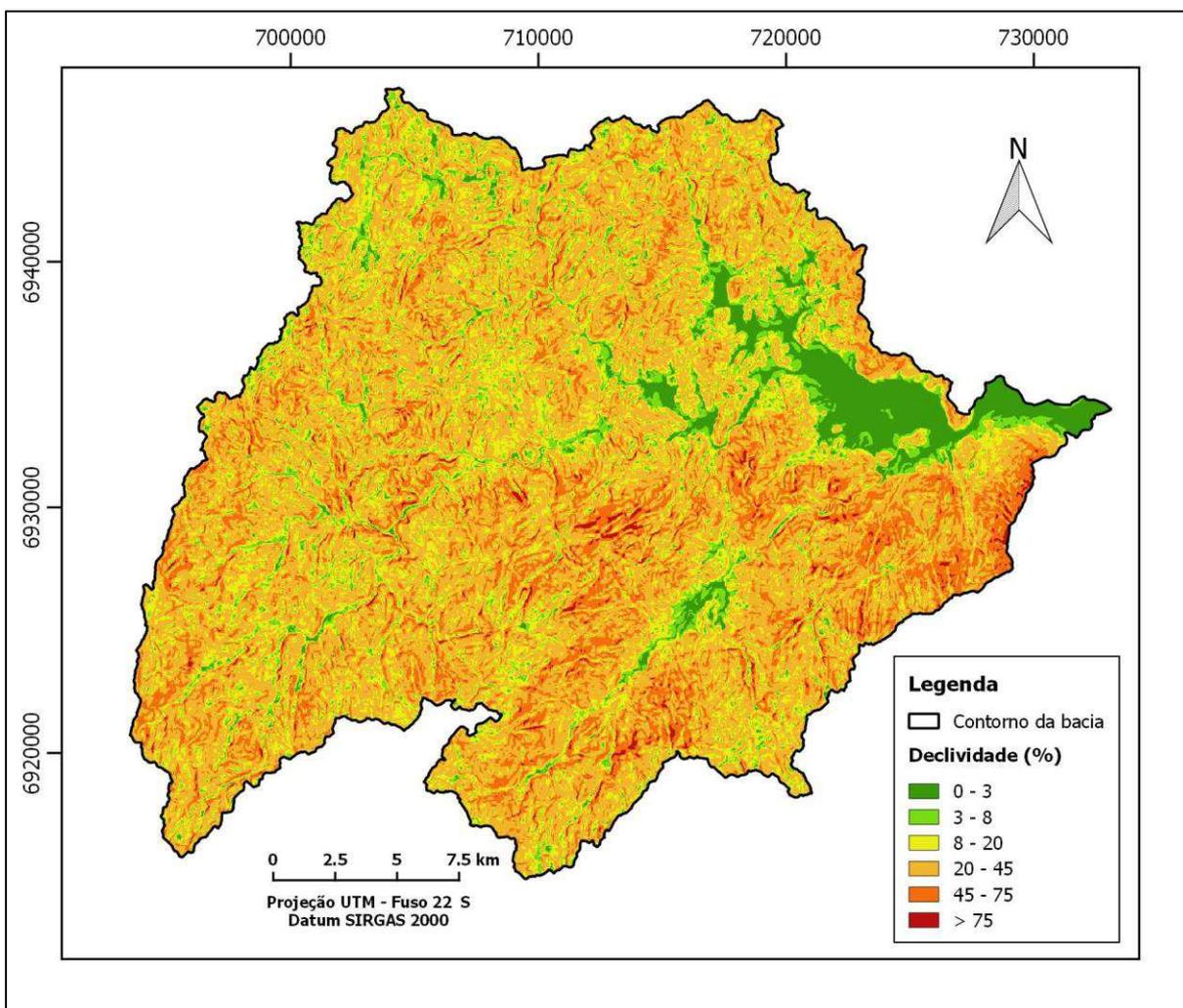
abrangendo mais de 70 % da área total da bacia, como mostra a Tabela 1. A Figura 7 apresenta a espacialização das classes de declividade na bacia.

Tabela 1 – Classes de relevo existentes na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul

Declividade (%)	Classes de relevo	Área	
		km ²	%
0 - 3	Plano	40,17	5,41
3 - 8	Suavemente ondulado	54,16	7,29
8 - 20	Ondulado	149,69	20,15
20 - 45	Fortemente ondulado	372,51	50,14
45 - 75	Montanhoso	117,70	15,85
> 75	Fortemente montanhoso	8,69	1,17

Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 7 – Relevo da bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

3.4 CLIMA

De acordo com o Atlas Escolar de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 1991), aplicando o sistema de classificação climática de Köpen, o território catarinense se enquadra no tipo climático Cf, caracterizado por temperaturas médias entre -3°C e 18°C no mês mais frio (mesotérmico), úmido e sem estação seca definida, pois não há índices pluviométricos inferiores a 60 mm mensais. Conforme Pandolfo et al. (*apud* SANTA CATARINA, 2018), dentro deste tipo é possível distinguir dois subtipos:

- Cfa: caracterizado por verões quentes, temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão;
- Cfb: caracterizados por verões frescos, temperatura média no mês mais abaixo de 22°C.

Na área da bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul, há predomínio do tipo Cfa nas áreas mais baixas da faixa litorânea e nas regiões de menor altitude do planalto. O clima Cfb ocorre nas áreas mais elevadas a oeste da bacia (SANTA CATARINA, 2018).

3.5 SOLOS

A bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul possui grande parte do solo classificado como Cambissolo Háptico e Argissolo Vermelho-Amarelo (56,40 % e 24,32%, respectivamente). O Quadro 2 apresenta as classes e as características gerais dos solos existentes na bacia. A Figura 8 traz o mapeamento desses solos (EMBRAPA SOLOS, 2004).

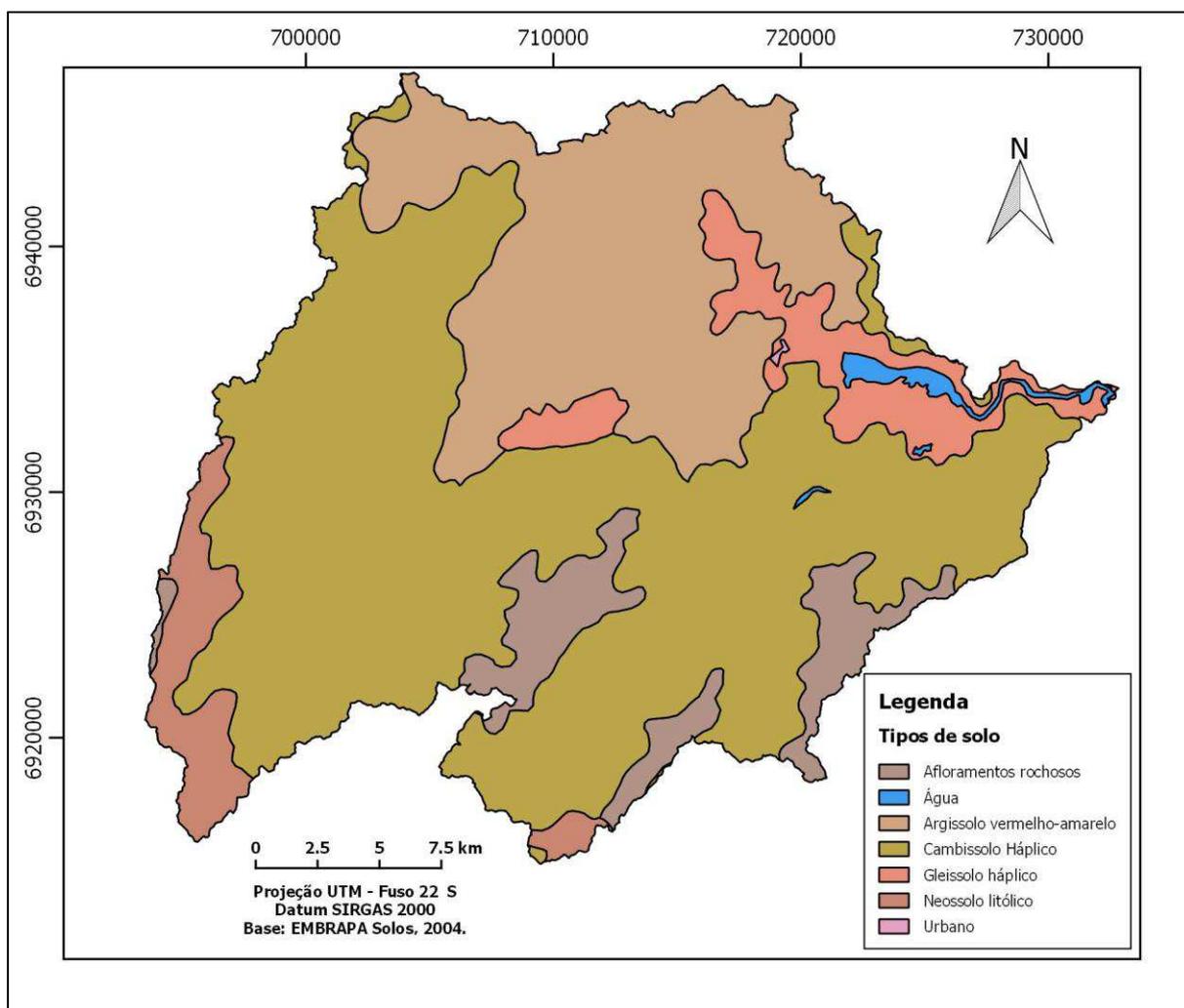
Quadro 2 – Características gerais dos solos da bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul

Classe	Características gerais	Área	
		km ²	%
Afloramento rochoso	–	50,34	6,78
Corpos d'água	–	5,93	0,80
Argissolo Vermelho-Amarelo	Desenvolvimento de horizonte B textural (textura franco-arenosa) em vinculação com atributos que evidenciam a baixa atividade da fração. Possui cores vermelho-amareladas.	184,01	24,78
Cambissolo Háptico	Pedogênese pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, com alteração do	420,15	56,57

	material de origem expressa pela quase ausência da estrutura da rocha ou da estratificação dos sedimentos.		
Gleissolo Háplico	Hidromorfia expressa por forte gleização (horizonte glei), resultante de processos de intensa redução de compostos de ferro, em presença de matéria orgânica, por efeito de flutuação de nível do lençol freático, em condições de regime de excesso de umidade permanente ou periódico.	48,15	6,48
Neossolo Litólico	Solo em vias de formação, seja pela reduzida atuação dos processos pedogenéticos, seja por características inerentes ao material originário. Predomínio de características herdadas do material originário. Apresenta horizonte A ou hístico assente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr.	33,86	4,56
Urbano	—	0,26	0,03

Fonte: EMBRAPA SOLOS, 2004.

Figura 8 – Distribuição espacial dos solos na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

3.6 USO E COBERTURA DO SOLO

A maior parte da bacia do rio Cubatão do Sul é coberta por vegetação natural (72,28%). De acordo com Pereira e Zanin (2002), a bacia possui cinco diferentes tipos de vegetação, todos pertencentes ao bioma Mata Atlântica: Vegetação Litorânea (manguezais e restingas), Floresta Atlântica ou Floresta Ombrófila Densa, Floresta de Araucária ou Floresta de Ombrófila Mista, Matinha Nebular e Campos de Altitude. No entanto, o mapeamento utilizado neste trabalho agrupou os tipos de vegetação em uma única classe, para simplificar o estudo.

Ainda segundo Pereira e Zanin (2002), a agricultura é a principal atividade econômica da bacia, embora a exploração turística, através de hotéis de águas termais, industrialização de água mineral e extração de areia dos rios também sejam importantes.

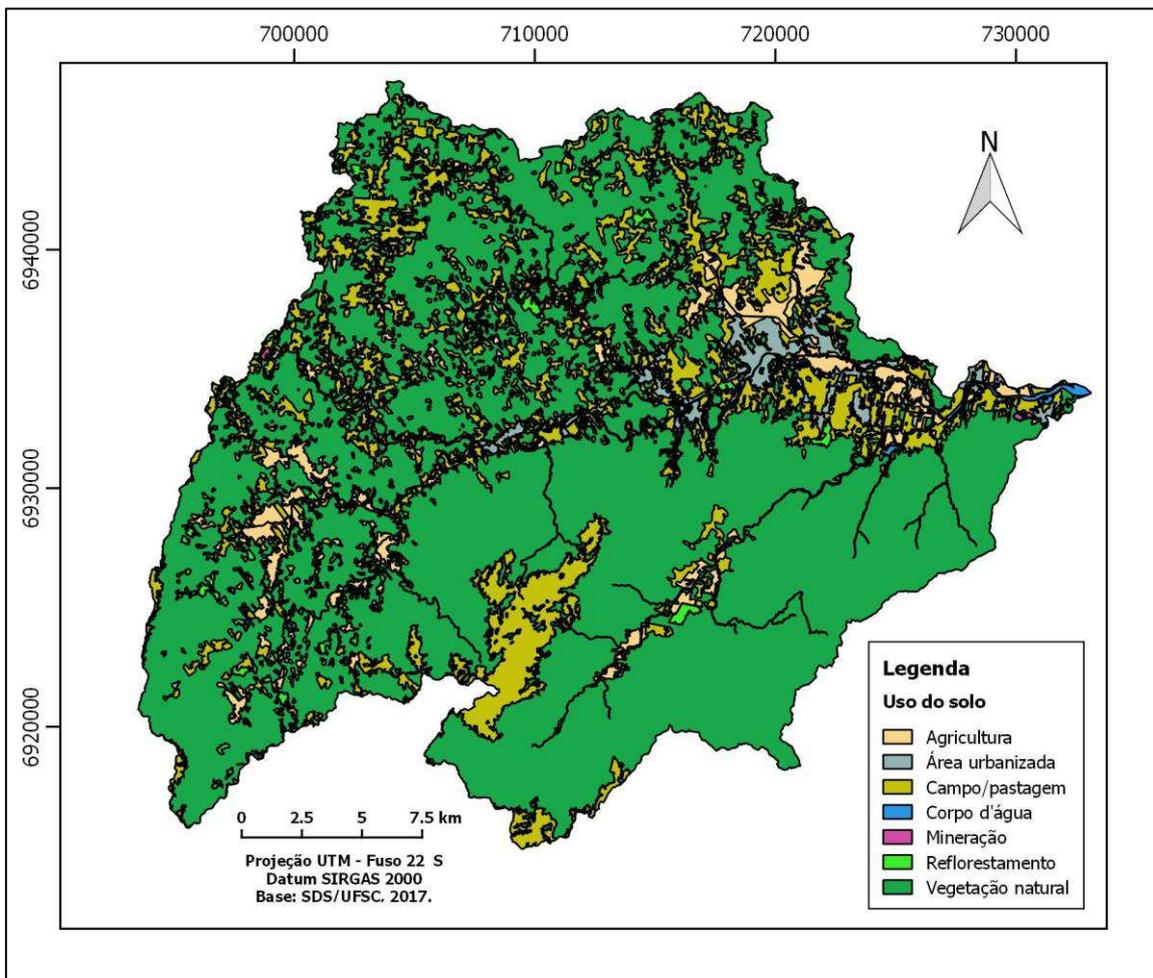
A Tabela 2 e a Figura 9 apresentam os tipos de uso do solo na bacia. Esses dados foram obtidos do mapeamento elaborado pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) em cooperação com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em 2017. Foram utilizadas imagens de satélite do sensor Sentinel-2 obtidas em 11 de novembro de 2017, e a identificação dos usos do solo na área da bacia, se deu pela classificação supervisionada das imagens, realizada em ambiente SIG, onde foram utilizadas assinaturas espectrais diferenciadas para cada um dos usos (SANTA CATARINA, 2018).

Tabela 2 – Tipos de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul

Classes de uso do solo	Área	
	Km ²	%
Agricultura	32,98	4,45
Área urbanizada	16,74	2,26
Campo/pastagem	128,70	17,36
Corpos d'água	5,07	0,68
Mineração	0,26	0,03
Reflorestamento	16,61	2,24
Vegetação natural	541,18	72,98

Fonte: SDS/UFSC, 2017.

Figura 9 – Uso do solo na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Para a realização da pesquisa, foram utilizados os seguintes dados secundários:

- Cartas topográficas digitalizadas: obtidas da Mapoteca Topográfica Digital de Santa Catarina (<http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>). Fruto de convênio de cooperação técnica IBGE/EPAGRI, esta base cartográfica constitui cópia fiel das cartas 1:50.000 do IBGE, em formato *shapefile*. Para cobrir toda a área em estudo, foi necessário utilizar as cartas dos municípios de Anitápolis, Florianópolis, Paulo Lopes, Rancho Queimado, Santo Amaro da Imperatriz e São Bonifácio;
- Hidrografia digitalizada: obtida em formato *shapefile* do Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina, ferramenta para acesso público de dados geográficos de alta precisão do Estado (<http://sigsc.sds.sc.gov.br/>);
- Dados de precipitação: foram obtidos de estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA), através da plataforma online Portal Hidroweb (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb>);
- Mapa de solos: produzido pela EMBRAPA Solos em 2004 na escala 1:250.000, foi obtido no site do Projeto Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (<https://sites.google.com/view/iffportal/mapas>), em formato *shapefile*;
- Mapa de uso e cobertura do solo: obtido junto à Secretaria de Desenvolvimento Econômico de Santa Catarina (SDS), em formato *shapefile*. Este mapeamento foi produzido por técnicos da UFSC em 2017 na escala 1:25.000.

Os softwares utilizados para processamento dos dados geográficos e elaboração dos mapas foram:

- Quantum GIS versão 2.18: software livre de Sistema de Informações Geográficas com código aberto e licenciado sob a Licença Pública Geral (GNU);
- ArcGIS Pro (versão de avaliação gratuita): software comercial de Sistema de Informações Geográficas produzido pela empresa americana ESRI.

Também foi utilizado o software Microsoft Excel para organizar os dados pluviométricos e calcular o fator de erosividade.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Implementação do modelo EUPS em ambiente SIG

Neste trabalho, empregou-se o modelo matemático Equação Universal de Perda de Solo – EUPS para estimar o potencial a erosão na bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul – SC, utilizando-se de dados pedológicos, climáticos, topográficos e de uso do solo disponíveis para a área de estudo. Esse modelo foi descrito no item 3.2 deste trabalho.

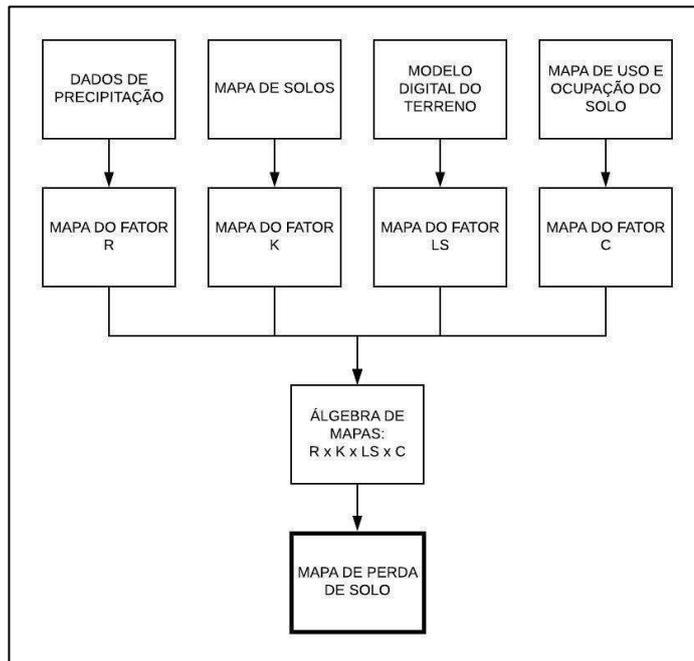
A etapa inicial do trabalho consistiu em uma pesquisa bibliográfica em livros, artigos científicos, teses e dissertações, para construir uma base teórica e aprofundar o conhecimento sobre os temas abordados no trabalho.

Em seguida, realizou-se a elaboração dos mapas dos fatores integrantes da EUPS, em formato *raster*. Apenas o fator prática conservacionista de suporte (P) não foi mapeado, pois, devido à dificuldade de obtenção de informações precisas sobre a adoção de práticas agrícolas conservacionistas na área de estudo, adotou-se o valor 1 (neutro) para toda a área. Dessa forma, os valores de perda de solo determinados representam uma estimativa da máxima capacidade erosiva dos terrenos, considerando o uso atual do solo.

Os métodos utilizados para a elaboração de cada um dos mapas dos fatores integrantes da EUPS estão descritos no item 4.2.2 deste trabalho.

Finalmente, gerou-se o mapa de perdas de solo para a área de estudo, pelo cruzamento dos mapas dos fatores da EUPS, utilizando a “calculadora *raster*” do software QGIS. A Figura 10 apresenta, de forma esquemática, o procedimento para implementação da EUPS em ambiente SIG.

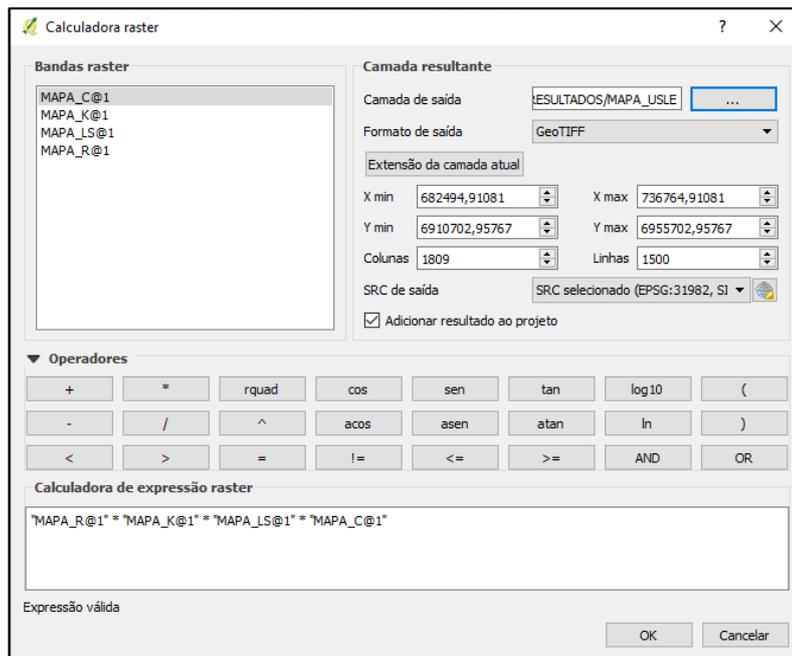
Figura 10 – Fluxograma geral do método adotado



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Chama-se de álgebra de mapas a realização de operações matemáticas com mapas *raster* em SIG, gerando um novo mapa como resultado. Neste trabalho, realizou-se a multiplicação dos mapas dos fatores da EUPS, com a calculadora *raster*, obtendo o mapa de perdas de solo como resultado. A Figura 11 mostra a ferramenta calculadora raster, no software QGIS, configurada para realizar a álgebra de mapas.

Figura 11 – Calculadora *raster* configurada para realizar a álgebra de mapas



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Para identificar as áreas com maior potencial a erosão na bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul, as perdas de solo foram classificadas em muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, conforme indicado por Pereira, Lombardi Neto e Tocchetto (2006).

4.2.2 Elaboração dos mapas dos fatores da EUPS

4.2.2.1 Mapa do fator erosividade da chuva

A estimativa do fator erosividade da chuva (R) utilizando o índice EI_{30} obteve bons resultados em vários estudos realizados no Brasil. Este índice é determinado pelo produto da energia cinética total de um evento de chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos. No entanto, a obtenção deste índice demanda longas séries de dados pluviográficos (de no mínimo 20 anos), que nem sempre estão disponíveis. Para resolver essa dificuldade, tem-se recorrido a uma estimativa do índice de erosividade com base nas médias mensais de precipitação. Para tanto, utilizam-se equações que relacionam o índice de erosividade com as precipitações médias mensais. Tais equações são obtidas por análise de regressão entre o índice de erosividade obtido de dados pluviográficos e os dados pluviométricos da região, podendo ser usadas em áreas que não tenham dados pluviográficos, mas que tenham condições climáticas semelhantes àquelas de onde o índice foi obtido (BACK; POLETO, 2018).

Back e Poleto (2018) estimaram o fator R para todo o Estado de Santa Catarina utilizando 13 equações, sendo que para cada equação foi definida uma área de abrangência sobre o território catarinense utilizando os polígonos de Thiessem. Estes pesquisadores utilizaram dados de 143 estações pluviométricas, abrangendo o período de 1980 a 2015, e o mapa de erosividade foi gerado utilizando o método de interpolação krigagem ordinária.

Neste trabalho, para estimar o fator R na área da bacia do rio Cubatão do Sul, utilizou-se a equação que abrange a área da Grande Florianópolis (Equações 2 e 3). Foram utilizados dados de 8 estações pluviométricas da ANA (Tabela 3 e Figura 12), compreendendo um período de 30 anos (de 1989 a 2018). Adotou-se este período por ter menor número de falhas na série histórica para as estações selecionadas. Além disso, realizou-se uma análise da consistência dos dados pluviométricos.

$$EI_{30} = 30,41 * Rc^{1,162} \quad (2)$$

$$R_c = \frac{pi^2}{P} \quad (3)$$

Onde:

El₃₀ = índice de erosividade média mensal da chuva, em MJ.mm/(ha.h.mês);

R_c = coeficiente de chuva no mês i, em mm.

pi = precipitação média mensal no mês i, em mm;

P = precipitação média anual, em mm.

O somatório dos valores de El₃₀ mensais no período de doze meses corresponde ao fator R da EUPS.

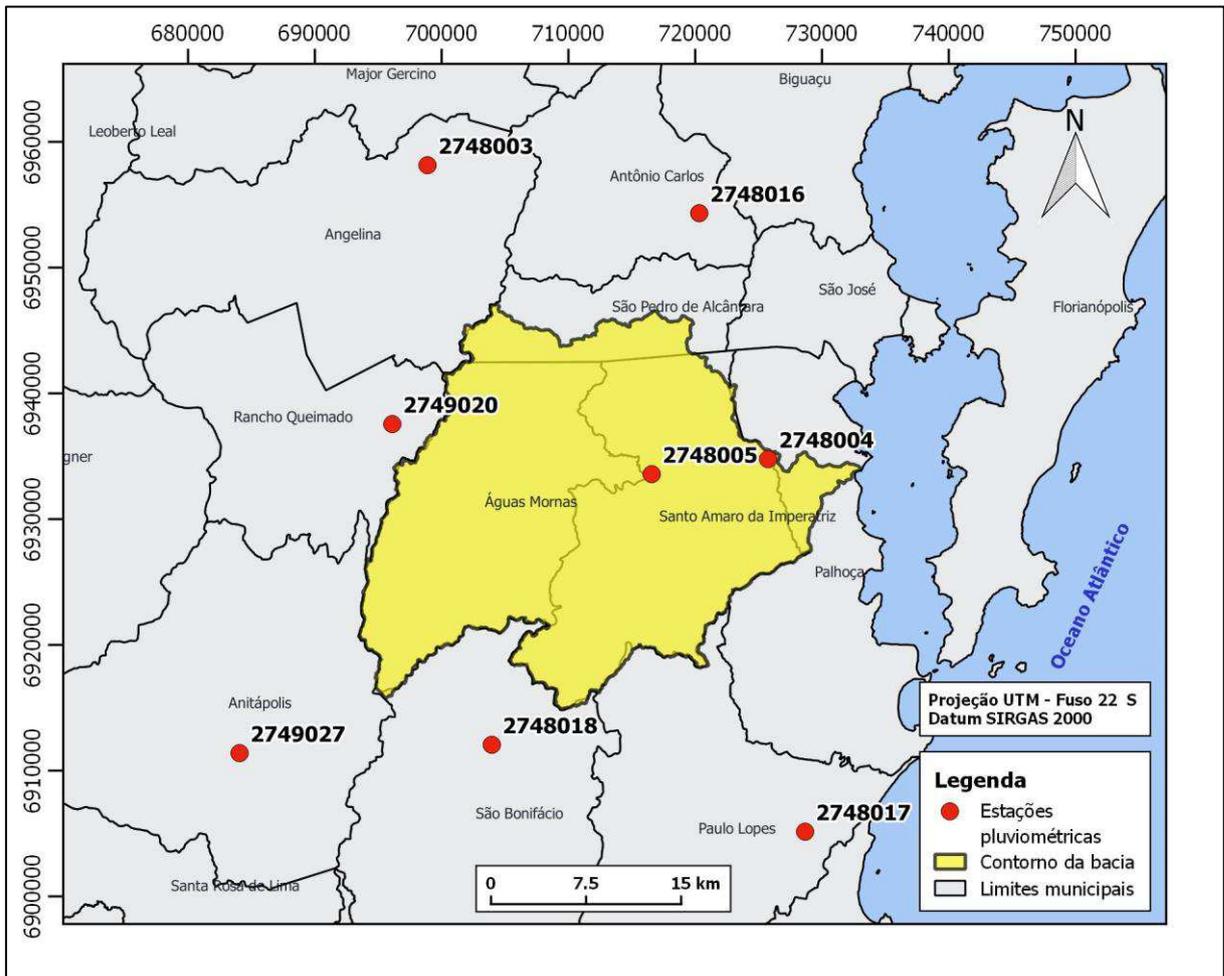
O procedimento para a elaboração do mapa do fator R seguiu as seguintes etapas: (1) obtenção dos dados pluviométricos, (2) determinação das médias mensais e anuais de precipitação, (3) preenchimento de falhas, (4) análise da consistência dos dados, (5) cálculo do fator R em cada estação e (6) interpolação dos valores de R. As etapas 1 a 5 foram realizadas no software Microsoft Excel e a 6 foi realizada no SIG ArcGIS.

Tabela 3 – Estações pluviométricas utilizadas para obtenção do fator R

Código	Nome	Latitude S	Longitude W	Altitude (m)	Falhas (%)
2748003	Garcia de Angelina	27°29'09"	48°59'13"	205	0,0
2748004	ETA Casan Montante	27°41'33"	48°42'39"	10	0,0
2748005	Poço Fundo	27°42'17"	48°48'13"	61	14,2
2748016	Antônio Carlos	27°31'01"	48°46'10"	34	0,8
2748017	Paulo Lopes	27°57'33"	48°40'32"	10	1,1
2748018	São Bonifácio	27°54'03"	48°55'40"	425	0,0
2749020	Rancho Queimado	27°40'19"	49°00'42"	805	0,8
2749027	Anitápolis	27°54'35"	49°07'47"	419	0,8

Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 12 – Localização das estações pluviométricas utilizadas



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Para o preenchimento de falhas, utilizou-se o método da ponderação regional (Equação 4). Trata-se de um método simplificado normalmente utilizado para o preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitação, visando a homogeneização do período de informações (ANA, 2019). O método utiliza a seguinte equação:

$$X_y = \frac{1}{3} * \left(\frac{Y_m}{X_{m1}} * X_1 + \frac{Y_m}{X_{m2}} * X_2 + \frac{Y_m}{X_{m3}} * X_3 \right) \quad (4)$$

Onde:

X_y = precipitação do posto X_y a ser estimada, em mm;

Y_m = precipitação média no posto Y , em mm;

X_1, X_2 e X_3 = precipitações observadas nos três postos vizinhos, em mm;

X_{m1}, X_{m2} e X_{m3} = precipitações médias dos postos vizinhos, em mm.

Após o preenchimento de falhas, foi realizada uma análise da consistência dos dados, visando verificar o seu grau de homogeneidade. Para tanto, empregou-se o método da dupla massa, que consiste em acumular os valores mensais ou anuais para cada um dos postos de uma região e plotar, num gráfico cartesiano, os valores acumulados do posto a validar (nas ordenadas) e de outro posto confiável adotado como base de comparação (nas abscissas) (ANA, 2019). Neste trabalho adotou-se uma modificação do método, considerando valores médios das precipitações mensais acumuladas em vários postos da região como base de comparação.

Quando o gráfico resultante forma uma reta, significa que os dados são homogêneos e confiáveis. Caso contrário, indica que houve algum tipo de erro na medição ou mudança nas condições de observação e, dessa forma, os dados precisam ser corrigidos (ANA, 2019).

Após a realização do cálculo do fator R em cada posto pluviométrico, os resultados foram importados para o software SIG ArcGIS e foi gerado um arquivo *shapefile* de pontos. O mapa do fator R em raster foi gerado pela interpolação dos valores de R dos pontos. Utilizou-se o método de interpolação curvatura mínima (*spline*), que estima valores usando uma função matemática que minimiza a curvatura geral da superfície, resultando em uma superfície suave que passa exatamente pelos pontos de entrada (ESRI, 2019a). Não se utilizou o método de krigagem por este necessitar de pelo menos 30 pontos para obter um bom resultado (JAKOB, 2002).

4.2.2.2 Mapa do fator erodibilidade do solo

Os valores do fator erodibilidade (K) correspondentes aos tipos de solos existentes na área da bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul foram obtidos por meio de pesquisa bibliográfica. A espacialização dos tipos de solo da área, baseada no levantamento de solos da EMBRAPA (2004), foi apresentada na Figura 8. A Tabela 4 apresenta os valores de K encontrados na literatura científica e suas respectivas fontes.

Para elaborar o mapa do fator K foi necessário, primeiramente, inserir os valores de K para cada tipo de solo em um campo específico na tabela de atributos do *shapefile* do mapa de solos. Em seguida, esse mapa foi convertido para o formato raster, gerando uma espacialização dos valores de K. Para tanto, utilizou-se a função *Polygon to Raster* do ArcGIS.

Tabela 4 – Valores do fator K obtidos da literatura

Classes de solo	Fator K	Referência
Argissolo Vermelho-amarelo	0,0338	Silva (2016)
Cambissolo Háplico	0,0355	Silva <i>et al.</i> (2009)
Gleissolo Háplico	0,0044	Mannigel <i>et al.</i> (2008)
Neossolo Litólico	0,018	Demarchi e Zimback (2014)
Afloramento Rochoso	0,0	Amaral (2016)

Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

4.2.2.3 Mapa do fator topográfico

O fator topográfico é resultado da multiplicação dos fatores comprimento do declive e grau do declive.

Na definição de Wischmeier e Smith (1965), o comprimento de rampa é a distância horizontal do ponto de origem do fluxo superficial até o ponto em que a inclinação diminui na medida em que a deposição começa ou o ponto em que o escoamento entra em um canal bem definido que pode fazer parte de uma rede de drenagem ou de um canal construído, como um terraço ou divisão. Estes autores propuseram uma equação para o cálculo do fator L considerando uma declividade constante na encosta:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad (5)$$

Onde:

λ = comprimento do declive, em m;

m = expoente dependente da declividade.

Dado que a inclinação da encosta não é uniforme para toda a área, Foster e Wischmeier (1974 *apud* DESMET e GOVERS, 1996) propuseram subdividir a encosta em vários segmentos, propondo a seguinte expressão:

$$L_j = \frac{(\lambda_j^{m+1} - \lambda_{j-1}^{m+1})}{(\lambda_j - \lambda_{j-1}) * 22,13^m} \quad (6)$$

Onde:

L_j = fator comprimento do declive para o j -ésimo segmento, adimensional;

λ_j = comprimento do declive do j -ésimo segmento.

A partir da década de 1980, surgiram métodos buscando automatizar a obtenção do fator L . Desmet e Govers (1996) desenvolveram uma adaptação da equação de Foster e Wischmeier para implementação em SIG, utilizando um modelo digital do terreno como dado de entrada. Para tanto, substituíram o comprimento do declive pelo parâmetro área de contribuição específica, obtendo a seguinte equação:

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j-in}^{m+1}}{D^{m+2} * (\text{sen}\alpha_{i,j} + \text{cos}\alpha_{i,j}) * (22, 13)^m} \quad (7)$$

Onde:

$L_{i,j}$ = fator topográfico de uma célula com coordenadas (i,j) , adimensional;

$A_{i,j-in}$ = área de contribuição na entrada de uma célula com coordenadas (i,j) , em m^2 ;

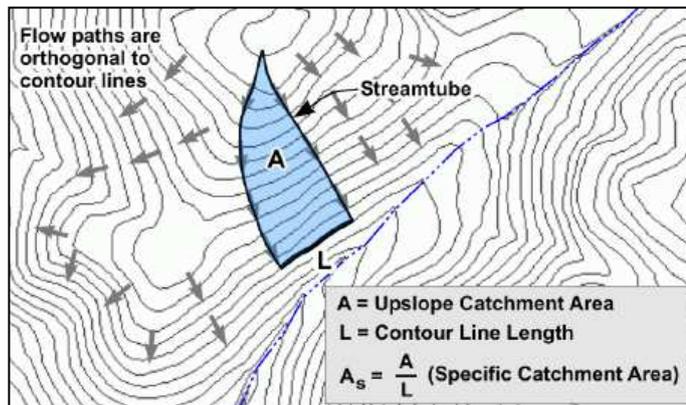
D = tamanho da célula, em m;

m = expoente dependente da declividade, adimensional;

$\alpha_{i,j}$ = direção do aspecto de uma célula com coordenadas (i,j) , em graus;

Conforme Mathis (2007), a área de contribuição específica pode ser definida como a área acumulada de drenagem dividida pelo comprimento da linha de contorno a jusante, expressa em m^2/m (Figura 13).

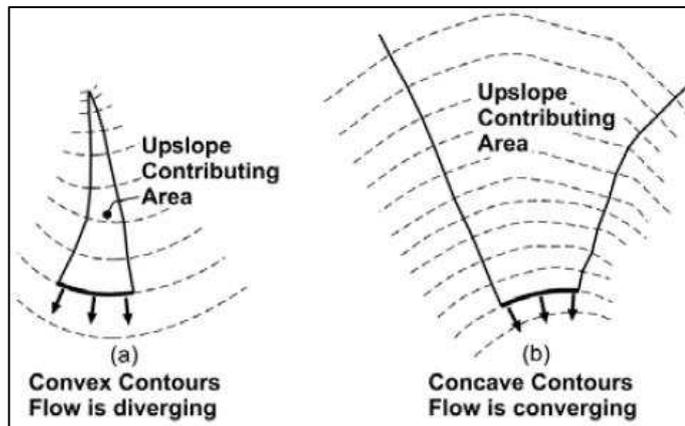
Figura 13 – Exemplo de área de contribuição específica



Fonte: Mathis (2007).

Em vertentes convexas, onde o fluxo acumulado torna-se divergente, a área de contribuição específica tende a diminuir (Figura 14a), pois o comprimento da linha de contorno aumenta no sentido do declive. Em vertentes côncavas, onde o fluxo torna-se concentrado, ocorre o contrário, visto que a área de contribuição específica tende a aumentar com a redução do comprimento da linha de contorno (Figura 14b). As áreas de convergência, teoricamente, são mais suscetíveis aos processos de desagregação e transporte de sedimentos (Minella; Merten; Ruhoff, 2010).

Figura 14 – Influência do relevo na configuração da área de contribuição



Fonte: Mathis (2007)

Diversos métodos foram propostos para a determinação do fator grau do declive, com destaque para a proposta de McCool *et al.* (1987 *apud* Oliveira, 2014), que utiliza a seguinte equação:

$$S = \begin{cases} 10,8 * \text{sen } \theta + 0,03, & \text{se declividade for } < 9\% \\ 16,8 * \text{sen } \theta - 0,5, & \text{se declividade for } \geq 9\% \end{cases} \quad (8)$$

Onde:

S = fator declividade da rampa de uma célula com coordenadas, adimensional;

θ = ângulo de declividade de uma célula com coordenadas, em graus.

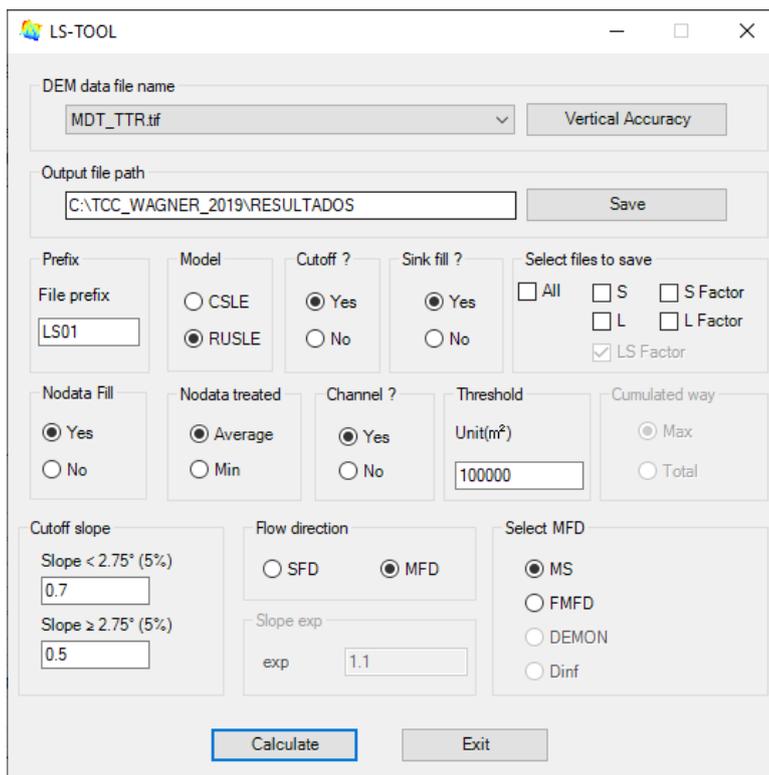
A primeira etapa para a obtenção do fator topográfico (LS) foi a geração de um modelo digital do terreno (MDT) para a área de estudo. De acordo com Felgueiras e Câmara (2004), o MDT é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro uma região da superfície terrestre, como altimetria, informações geológicas, levantamento de profundidades do mar ou de um rio e informações meteorológicas. No presente trabalho, objetivou-se gerar um MDT para representar a

altimetria da área em estudo, de modo a possibilitar o cálculo do fator LS de forma automatizada em ambiente SIG.

O MDT foi gerado no software ArcGIS, utilizando a ferramenta *Topo to Raster*, que é um método de interpolação projetado especificamente para a criação de modelos digitais do terreno hidrologicamente corretos. Essa ferramenta interpola valores de elevação enquanto impõe restrições que garantem uma estrutura de drenagem conectada e uma correta representação do relevo (ESRI, 2019b). Como dados de entrada, foram inseridos os *shapefiles* das curvas de nível e da hidrografia, gerando o MDT com resolução de 30 metros.

Após essa etapa, o mapa do fator LS foi gerado utilizando o MDT como dado de entrada para implementação da ferramenta LS-TOOL, que consiste em uma extensão para o software ArcGIS desenvolvida por Oliveira (2014), com base no trabalho de Zhang *et al.* (2013), para cálculo automático do fator LS. O procedimento de cálculo desta ferramenta utiliza as Equações 7 e 8. A Figura 15 apresenta a interface desta ferramenta.

Figura 15 – Interface da ferramenta LS-TOOL



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Esta ferramenta possui um campo para o usuário preencher o valor do parâmetro *cutoff slope*. De acordo com Zhang *et al.* (2013), este parâmetro consiste em um valor mínimo estipulado para a razão entre o ângulo de inclinação de uma célula de fluxo do MDT e a célula que está na sequência do fluxo, que indica o ponto onde o comprimento do declive

termina e um novo inicia. Ou seja, nos pontos onde esta razão é maior ou igual ao *cutoff slope*, ocorre uma divisão no comprimento do declive, neste caso estimado pela área de contribuição específica, para considerar a irregularidade do relevo no cálculo do fator LS.

Neste trabalho, adotou-se o recomendado por Zhang *et al.* (2013), que afirmam que, normalmente, utiliza-se valores de *cutoff slope* de 70% de 50% para declividades inferiores e superiores a 5%, respectivamente. No entanto, estes mesmos autores apontam que para resultados mais precisos, este parâmetro deve ser obtido por especialistas na área.

4.2.2.4 Mapa do fator cobertura e manejo do solo

Para a elaboração do mapa do fator cobertura e manejo do solo (C), utilizou-se o mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo produzido pela UFSC (2017), que foi apresentado na Figura 9. Os valores do fator C, para cada tipo de uso e ocupação, foram extraídos da literatura científica, conforme apresentado na Tabela 5.

Os valores do fator C foram inseridos em um campo específico da tabela de atributos do *shapefile* do mapa de uso e ocupação para, em seguida, gerar o mapa do fator C em formato raster, utilizando a função *Polygon to Raster* do ArcGIS.

Tabela 5 – Valores do fator C obtidos da literatura

Classes de uso do solo	Fator C	Referência
Agricultura	0,1	Back <i>et al.</i> (2017)
Área urbanizada	0,0	Back <i>et al.</i> (2017)
Campo/pastagem	0,03	Back <i>et al.</i> (2017)
Corpos d'água	0,0	Back <i>et al.</i> (2017)
Mineração	1,0	Back <i>et al.</i> (2017)
Reflorestamento	0,004	Checchia (2005)
Vegetação natural	0,0001	Medeiros <i>et al.</i> (2016)

Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 MAPAS DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS FATORES DA EUPS

5.1.1 Mapa do fator erosividade da chuva

Os resultados da análise da consistência dos dados pluviométricos confirmaram a sua homogeneidade e confiabilidade. Os gráficos das curvas dupla massa obtidos, apresentados no Apêndice A deste trabalho, possuem um comportamento linear, com coeficiente de correlação variando entre 0,9951 e 0,9998, o que indica proporcionalidade entre os dados de precipitação. Este é um comportamento esperado para estações localizadas na mesma região (ANA, 2019). O Apêndice B apresenta o gráfico com as médias mensais de precipitação, onde é possível observar um padrão de variação sazonal da precipitação semelhante em todas as estações.

Os valores do fator R calculados para as estações utilizadas variaram de 7479,805 a 8901,972 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, como mostra a Tabela 6. Os valores obtidos pela interpolação variaram entre 7307,58 e 8698,48 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ dentro da área da bacia e foram divididos em seis intervalos para mostrar a sua distribuição espacial, conforme mostra a Figura 16. Nela pode-se observar que a porção oeste e mais alta da bacia possui maiores valores do fator R.

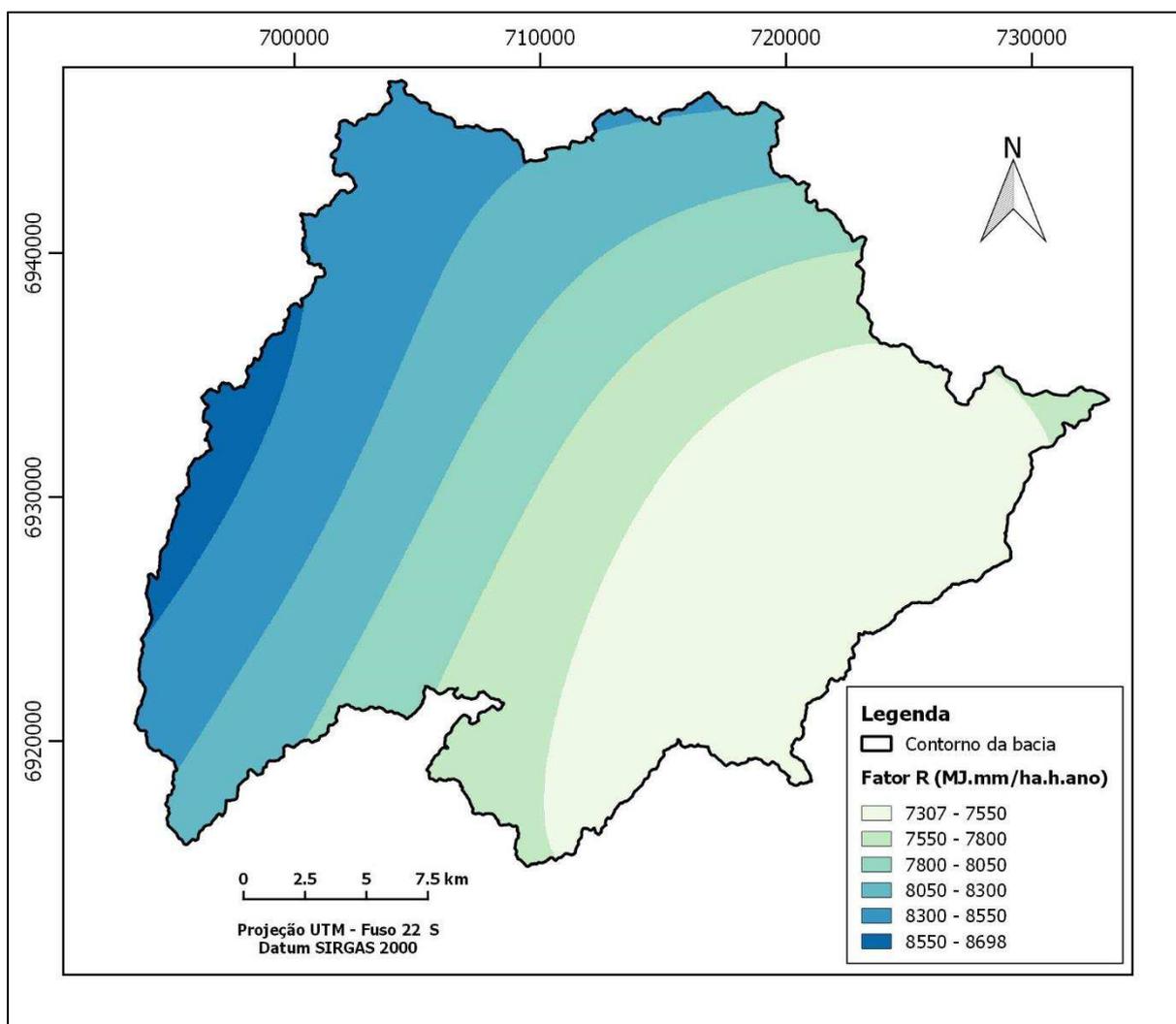
A erosividade média anual na bacia do Rio Cubatão é considerada alta, de acordo com Back e Poleto (2018). Isto se deve ao fato de a bacia estar localizada em uma região com elevados totais pluviométricos, devido à influência da Serra do Tabuleiro. O efeito do relevo nessa região faz com que o ar seja forçado a subir, resfriando-se adiabaticamente e formando nuvens que aumentam a quantidade de precipitação localmente (MONTEIR; MENDONÇA, 2014 *apud* Rocha, 2014).

Tabela 6 – Valores do fator R obtidos nas estações utilizadas

Estação		Fator R
Código	Nome	(MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹)
2748003	Garcia de Angelina	8087.02
2748004	ETA Casan Montante	7479.805
2748005	Poço Fundo	7519.647
2748016	Antônio Carlos	8901.972
2748017	Paulo Lopes	8639.151
2748018	São Bonifácio	7729.93
2749020	Rancho queimado	8719.859
2749027	Anitápolis	8548.165

Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 16 – Mapa do fator erosividade da chuva na bacia do Rio Cubatão do Sul



Fonte: elaborado pelo autor, 2019

5.1.2 Mapa do fator erodibilidade do solo

A maior parte da bacia do rio Cubatão do Sul possui solos com erodibilidade alta, conforme classificação proposta por Mannigel *et al.* (2008) correspondendo aos argissolos vermelho-amarelos e cambissolos háplicos, que abrangem juntos 81,35% da área, como mostra a Tabela 7. Isto significa que estes solos possuem alta suscetibilidade a processos erosivos. Portanto, o uso do solo nessas áreas precisa ser feito com cautela, de modo a evitar perdas excessivas de solo por erosão. A Figura 17 apresenta a distribuição do fator K na bacia em estudo.

De acordo com Pereira (2014), os cambissolos e argissolos geralmente possuem pouca estabilidade dos seus agregados devido à sua constituição granulométrica, com predominância de areia, silte e baixo percentual de material cimentante como matéria orgânica e argila.

Os neossolos litólicos têm erodibilidade classificada como média. Porém, conforme aponta Matos (2015), estes solos ocorrem em áreas de declives acentuados, onde a erosão é naturalmente maior que a pedogênese e, além disso, são rasos, o que os torna suscetíveis à erosão.

Os gleissolos háplicos, cuja nomenclatura antiga era glei pouco húmicos, correspondem ao tipo de solo com a menor erodibilidade na área em estudo. Este fato pode ser explicado pela sua textura argilosa, que propicia uma maior força de coesão entre as partículas (SANTA CATARINA, 2018).

Adotou-se a erodibilidade nula para a área classificada como urbana pelo fato de esta possuir grande parte de seu solo impermeabilizado.

É importante ressaltar que a classificação de solos adotada neste estudo não fornece informações detalhadas sobre as características das propriedades dos solos que interferem na erodibilidade, pois trata-se de um levantamento em escala regional. Seria necessário um levantamento mais detalhado para se obter uma estimativa mais precisa do fator de erodibilidade.

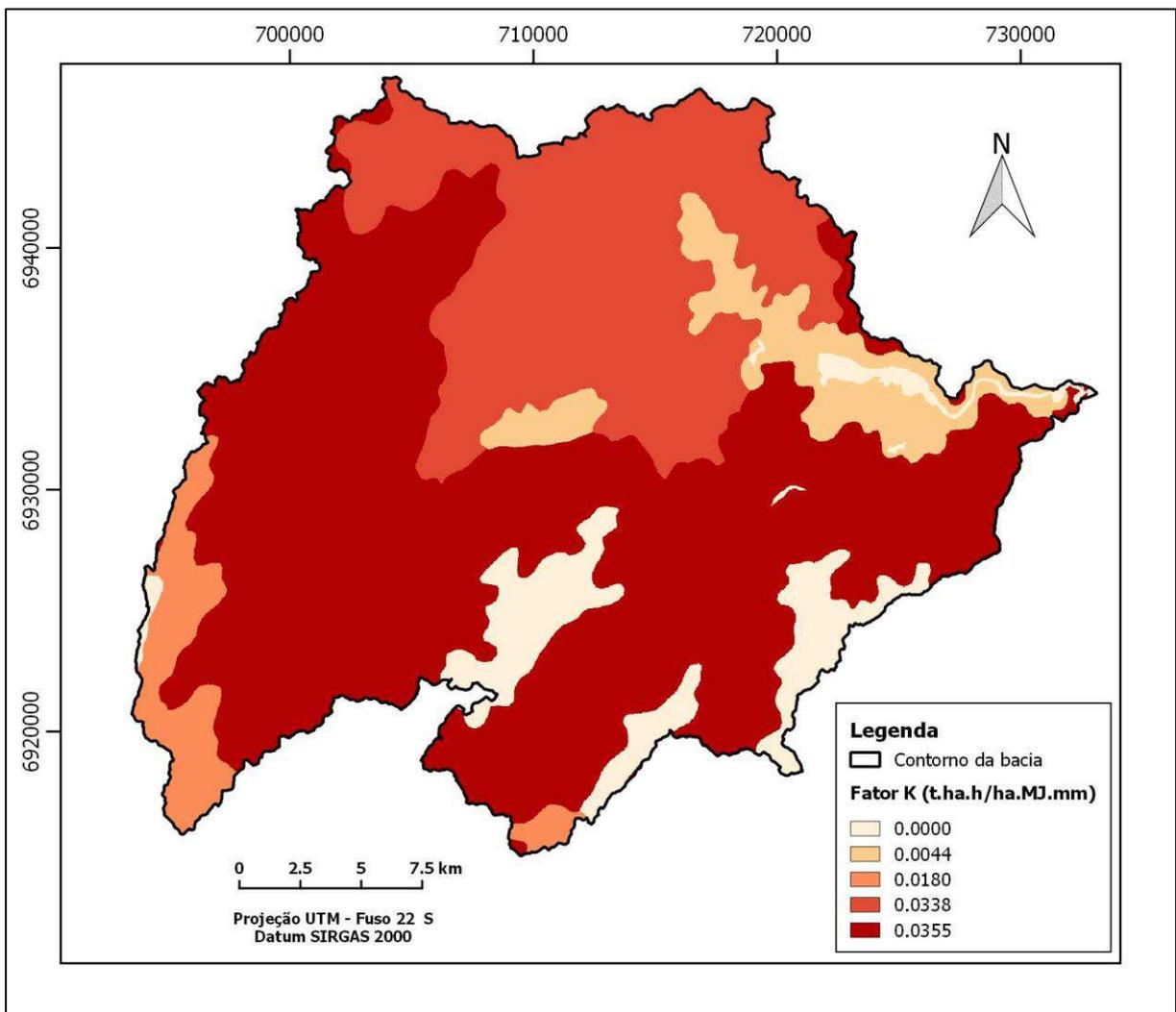
No entanto, considerando que o objetivo deste trabalho é obter um mapeamento que apenas forneça uma indicação das áreas com maior potencial erosivo, esta limitação é aceitável.

Tabela 7 – Valores do fator K para o solos da bacia do Rio Cubatão do Sul e sua classificação

Tipos de solos	Erodibilidade (t.ha.h/ha.MJ.mm)	Classificação	Área	
			km ²	%
Argissolo Vermelho-amarelo	0,0338	Alta	184,01	24,78
Cambissolo Háplico	0,0355	Alta	420,15	56,57
Gleissolo Háplico	0,0044	Baixa	48,15	6,48
Neossolo Litólico	0,018	Média	33,86	4,56
Afloramento Rochoso + água + urbano	0,0	Nula	56,5	7,61

Fonte: elaborado pelo autor, 2019

Figura 17 – Mapa do fator K na bacia do Rio Cubatão do Sul



Fonte: elaborado pelo autor, 2019

5.1.3 Mapa do fator topográfico

Os valores do fator LS encontrados variaram entre 0,01 e 33,68. Essa variação pode ser atribuída ao relevo complexo da área de estudo, que possui áreas que variam de planas a fortemente montanhosas. O mapa da distribuição do fator topográfico obtido para a bacia do Rio Cubatão do Sul é apresentado na Figura 18. Nele é possível observar que a faixa de valores de 0,01 a 10 é predominante, abrangendo 85,51 % da área total (Tabela 8). Os valores mais baixos ocorrem em áreas com baixas declividades, como era esperado.

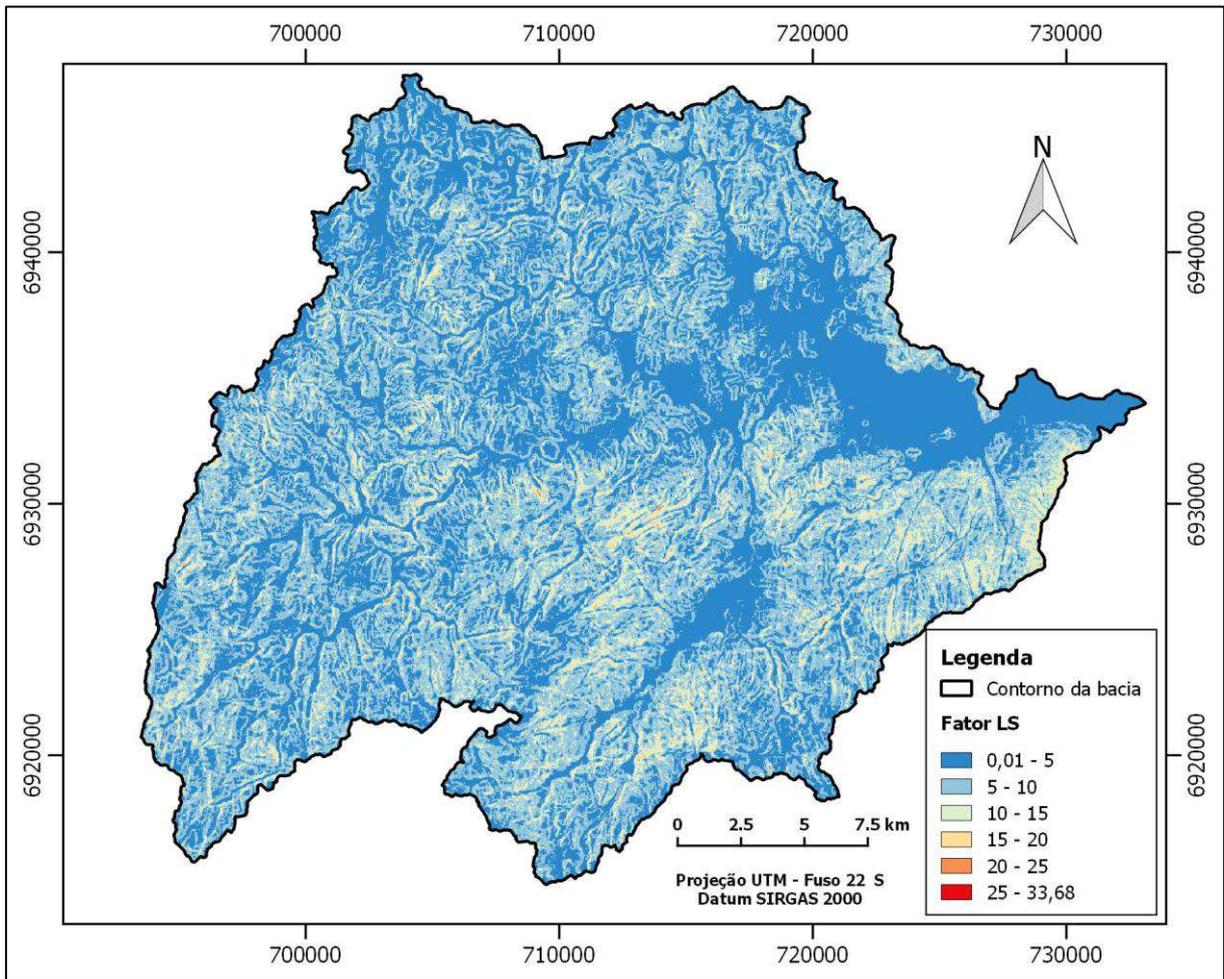
Comparando o mapa do fator LS com o de declividade (Figura 7), também é possível observar que os maiores valores do fator topográfico estão nas áreas com declividade mais acentuada. Essa semelhança entre os dois mapas indica que a rotina de cálculo utilizada permitiu obter valores coerentes para o fator LS.

Tabela 8 – Valores do fator topográfico na bacia do Rio Cubatão do Sul

Fator LS (adimensional)	Área	
	km ²	%
0,01 - 5	297,80	40,08
5 - 10	337,53	45,43
10 - 15	98,3	13,23
15 - 20	9,03	1,22
20 - 25	0,26	0,035
25 – 33,68	0,01	0,001

Fonte: elaborado pelo autor, 2019

Figura 18 – Mapa do fator LS na bacia do Rio Cubatão do Sul



Fonte: elaborado pelo autor, 2019

5.1.4 Mapa do fator cobertura e manejo do solo

Os valores obtidos para o fator C na área da bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul variaram entre 0,0 e 1,0, sendo que a maior parte da área possui fator C igual a 0,0001, correspondente à cobertura por vegetação natural, que abrange 72,98% da área em estudo, conforme mostra a Tabela 9. A Figura 19 mostra a distribuição espacial do fator C na área de estudo.

Como o fator C representa o efeito da cobertura na proteção dos solos contra a ação erosiva da chuva, verifica-se que as áreas utilizadas para mineração são as mais vulneráveis à incidência de processos erosivos, pois são áreas de solo descoberto, com $C = 1$ (neutro). Essas áreas, portanto, merecem atenção especial.

Os solos utilizados para agricultura e campo/pastagem, apesar de não estarem tão expostos quanto os das áreas de mineração, podem apresentar sérios problemas com erosão quanto possuem erodibilidade elevada e/ou estão localizados em locais com altas declividades.

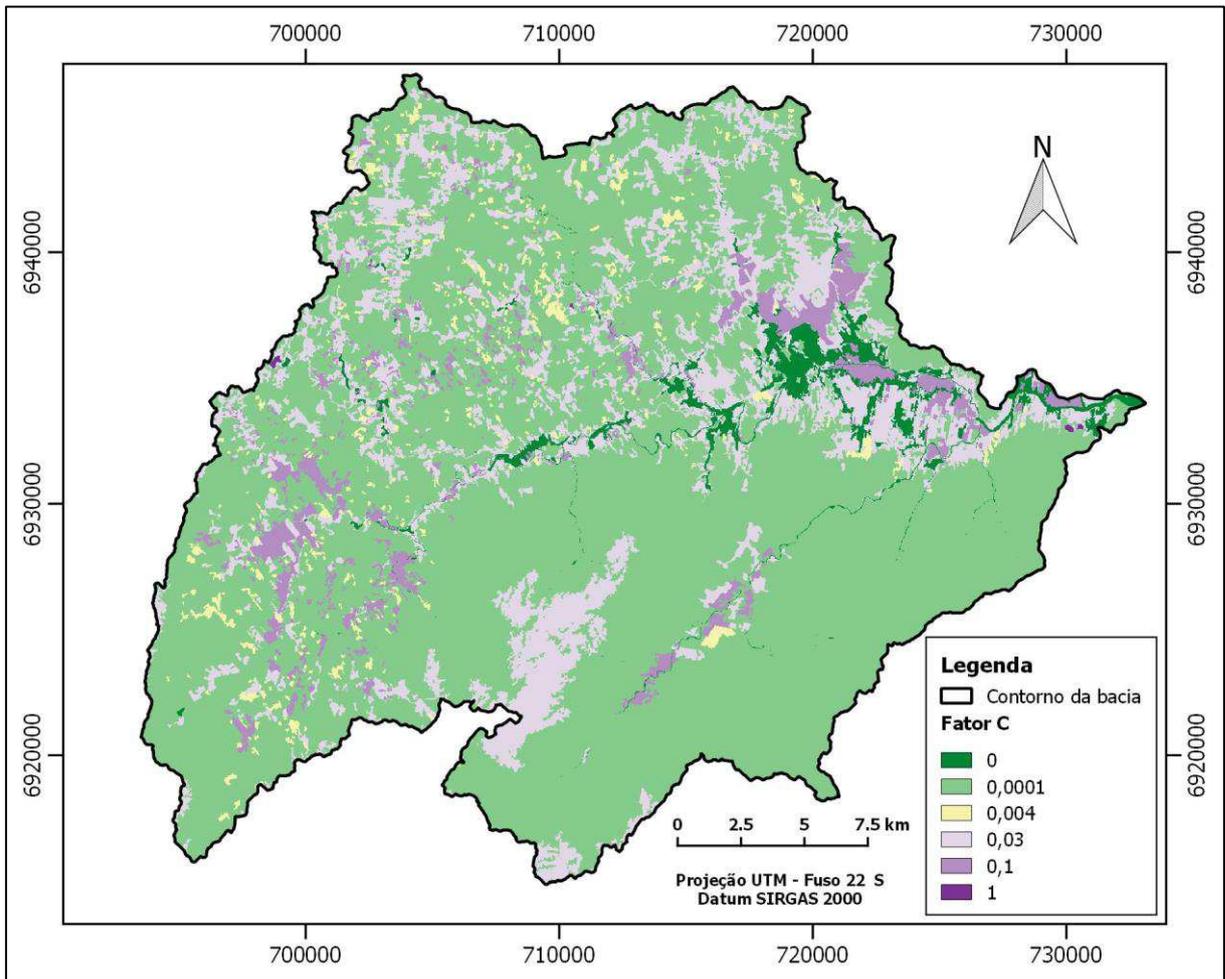
É importante levar em consideração que as classes de uso do solo adotadas nesta pesquisa possuem um certo grau de generalização, o que significa que os valores de C utilizados não devem ser tomados como valores que representam com exatidão a realidade da área de estudo, mas apenas como um auxílio na identificação das áreas com maior vulnerabilidade à erosão.

Tabela 9 – Valores do fator para os tipos de uso do solo na bacia do Rio Cubatão do Sul

Fator C (adimensional)	Classes de uso do solo	Área	
		Km ²	%
0,1	Agricultura	32,98	4,45
0,0	Área urbanizada + corpos d'água	16,74	2,26
0,03	Campo/pastagem	128,70	17,36
1,0	Mineração	0,26	0,03
0,004	Reflorestamento	16,61	2,24
0,0001	Vegetação natural	541,18	72,98

Fonte: elaborado pelo autor, 2019

Figura 19 – Mapa do fator C para a bacia do Rio Cubatão do Sul



Fonte: elaborado pelo autor, 2019

5.2 MAPA DO POTENCIAL A EROSÃO LAMINAR

Os resultados de perdas de solo obtidos na bacia do Rio Cubatão do Sul variaram entre 0 e 3209,62 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Para auxiliar a interpretação e visualização, os resultados foram organizados em classes de acordo com proposta de Pereira, Lombardi Neto e Tocchetto (2006). A maior parte da bacia possui perda de solo classificada como muito baixa, com valores menores que 10 t.ha⁻¹.ano⁻¹, correspondendo a 86,33% da área total, como mostra a Tabela 10. Isto ocorre pelo fato de grande parte da cobertura vegetal na bacia estar preservada, principalmente no Parque Serra do Tabuleiro. Estão inclusos nesta classe também os locais cobertos com corpos d'água, afloramentos rochosos e áreas urbanas, que possuem perda de solo nula.

Vale lembrar que, neste estudo, não se está considerando os processos erosivos em áreas urbanas, pois isto necessitaria de um mapeamento para identificar as áreas com solo exposto dentro da cidade.

A alta variabilidade nos valores estimados de perdas de solo pode ser atribuída à heterogeneidade da área de estudo, quanto a características climáticas, pedológicas, geomorfológicas e de uso do solo.

A influência do fator C é bastante evidente no mapa de perdas de solo. Os maiores valores de perdas de solo ocorrem nas áreas utilizadas para agricultura, pastagem e mineração, principalmente onde há solos com maior erodibilidade, terrenos com declividades mais acentuadas e erosividade mais intensa.

Tabela 10 – Classes de perdas de solo na bacia do Rio Cubatão do Sul

Perda de solo (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Classificação	Área	
		km ²	%
< 10	Muito baixa	641,38	86,33
10 - 20	Baixa	21,53	2,90
20 - 50	Média	36,46	4,91
50 - 100	Alta	28,82	3,88
> 100	Muito alta	14,74	1,98

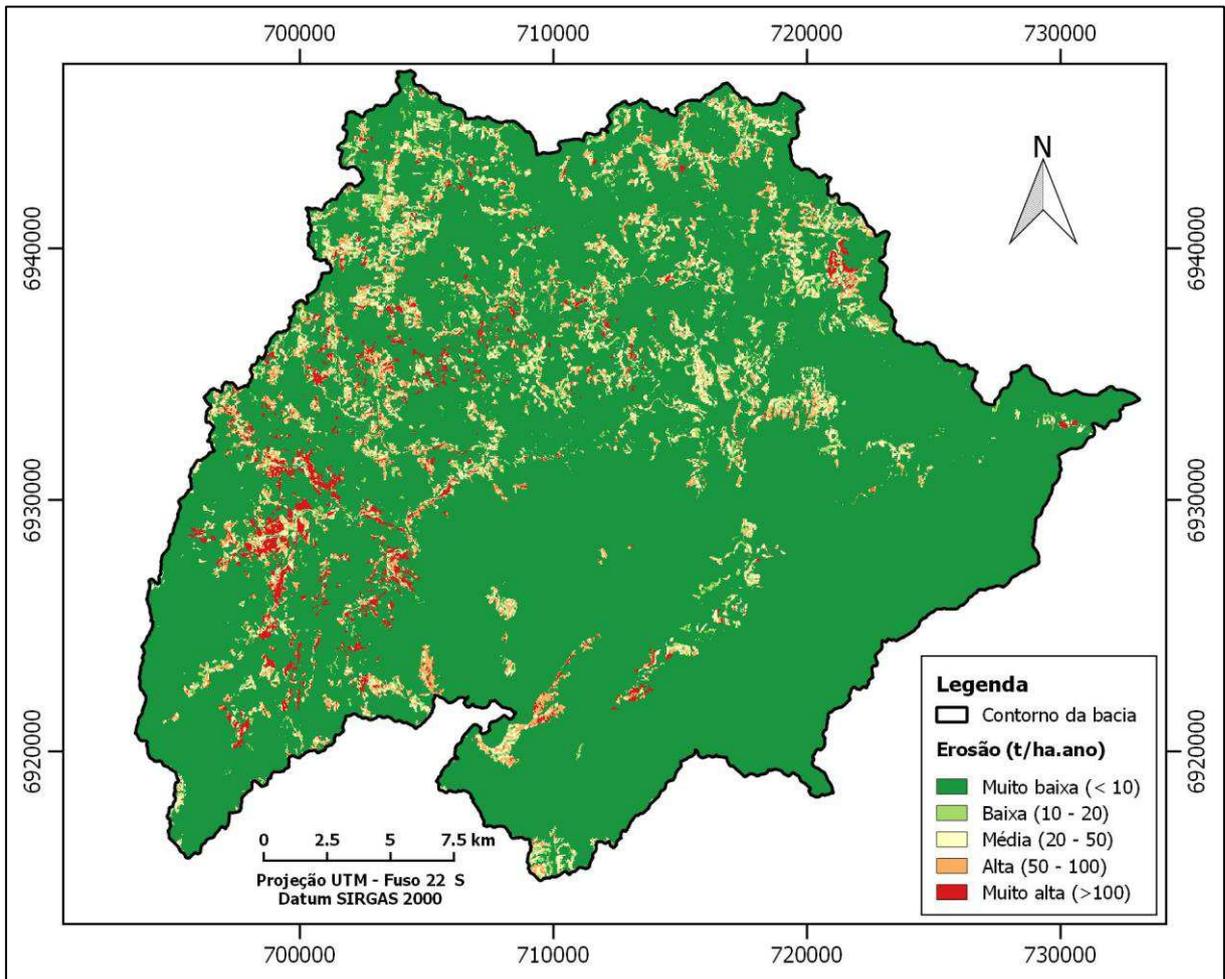
Fonte: Pereira, Lombardi Neto e Tocchetto, 2006.

Na figura 20 é possível observar que as áreas com perdas de solo muito altas se concentram mais na porção oeste da bacia, onde os valores de erosividade da chuva são maiores.

Os valores de erosão extremamente elevados ocorrem principalmente nas áreas de mineração, com valores acima de 3.000 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em alguns pontos, devido a estas áreas serem de solos descobertos.

As áreas com valores de erosão alta e muito alta cobrem uma área relativamente pequena na bacia (5,86 % da área total), no entanto devem ser tratadas como áreas prioritárias para a implementação de medidas que visem controlar os processos erosivos, principalmente quando estes localizam-se em pontos vulneráveis, como próximos às margens de rios.

Figura 20 – Mapa do potencial à erosão na bacia do Rio Cubatão do Sul



Fonte: elaborado pelo autor, 2019

Vale ressaltar que, como já foi mencionado, devido às limitações inerentes à aplicação da EUPS em escala de bacia hidrográfica, os resultados obtidos devem ser tomados apenas como indicadores do grau de vulnerabilidade à erosão, permitindo identificar as áreas mais críticas. Além disso, a realização de visitas a campo é importante para a validação dos resultados obtidos com a modelagem.

Apesar dessas limitações, o uso da EUPS associada à tecnologia SIG tem sido muito difundido, no Brasil e no mundo, em diversas escalas. Como exemplo e comparação, citam-se os seguintes estudos:

- Guimarães *et al.* (2011) utilizaram a EUPS para calcular as perdas de solo na microbacia do Rio Campinas, obtendo valores com variação de 0 a 355 t.ha⁻¹.ano⁻¹. A faixa predominante foi 0 a 1 t.ha⁻¹.ano⁻¹, devido ao grande percentual de áreas cobertas por vegetação nativa na microbacia;

- Reginatto *et al.* (2011) avaliaram as perdas de solo na bacia do Rio Cunha, em Rio dos Cedros – SC. Os resultados apontaram que 96,13% da área da bacia apresentam perdas de solo menores que $15 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, correspondendo à classe nula a moderada. Este resultado foi atribuído à predominância da cobertura vegetal na área;
- Back *et al.* (2017), avaliaram as perdas de solo na bacia do Rio Maior, em Urussanga – SC, obtendo valores menores que $15 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (classe nula ou pequena) em 57,69% da área. De acordo com os autores, os resultados tiveram grande influência do tipo de uso do solo.

Assim como nos trabalhos citados acima, os resultados do presente estudo demonstram a importância da vegetação na proteção dos solos contra processos erosivos acelerados, prevenindo problemas como assoreamento dos corpos hídricos, degradação dos solos e prejuízos econômicos e ambientais associados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o uso de ferramentas de SIG e geoprocessamento, a partir de dados secundários referentes a pedologia, pluviometria, topografia e uso do solo disponíveis para a área da bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul, foi possível obter os fatores integrantes da Equação Universal de Perda de Solo – EUPS de forma espacialmente distribuída, gerando mapas em formato *raster*. Com base nesses mapas foi possível verificar que a erosividade da chuva varia entre 7307,58 e 8698,48 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, sendo que essa faixa de valores é considerada alta; a erodibilidade do solo varia entre 0 e 0,0338 t.ha.h.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹, sendo classificada como alta em 81,35% da área; o fator topográfico apresentou variação de 0,01 a 33,68, devido ao relevo irregular da área, com predomínio para a faixa de 0,01 a 10, que abrange 85,51 % da área total; o fator de uso e manejo do solo apresentou variação de 0 a 1, sendo que em 72,98% da área é igual a 0,0001, correspondente à cobertura por vegetação natural.

Os resultados alcançados com a estimativa de perdas de solo na bacia do Rio Cubatão do Sul, pela aplicação da EUPS com auxílio de um SIG mediante a multiplicação dos mapas dos fatores, permitiram avaliar o potencial à erosão na bacia de forma satisfatória e adequada aos propósitos do trabalho. Dessa forma, foi possível identificar as áreas mais vulneráveis a ocorrência de processos erosivos mais intensos e verificar os fatores mais influentes na erosão. No entanto, seria importante a realização de visitas em campo para validar os resultados.

O método utilizado mostrou-se, portanto, válido com um subsídio ao planejamento ambiental e implementação de ações e medidas para conservação do solo e da água, servindo como uma indicação preliminar das áreas mais prioritárias para a aplicação de tais medidas.

Verificou-se que a bacia apresenta condições naturais favoráveis a ocorrência de processos erosivos: erosividade alta, solos suscetíveis a erosão cobrindo uma área significativa e relevo predominante do tipo fortemente ondulado. Porém, devido a grande parte da bacia possuir cobertura vegetal natural, as perdas de solo classificadas como muito baixas e baixas são predominantes, abrangendo 89,23 % da área total. As perdas de solo classificadas como médias, altas e muito altas somam 10,77 % da área e localizam-se em áreas onde os solos estão mais expostos, sendo que a classe muito alta se concentra mais na porção oeste da bacia, onde a erosividade da chuva é maior.

É importante lembrar que a escala dos dados utilizados pode influenciar os resultados das estimativas, necessitando de levantamentos mais detalhados quanto a dados de

precipitação, propriedades dos solos, topografia e uso do solo para obtenção de resultados mais precisos.

Apesar disso, os resultados deste trabalho, assim como os de outros trabalhos citados, mostram que o método utilizado consiste numa ferramenta interessante para subsidiar a tomada de decisão, necessitando de um baixo investimento para sua implementação.

Portanto, é um método que pode auxiliar na seleção de áreas prioritárias para investimentos em políticas e programas de preservação da água e do solo, como o pagamento por serviços ambientais e programas de educação ambiental para a comunidade.

REFERÊNCIAS

- AGESAN. **Relatório de fiscalização**: Fiscalização de Acompanhamento dos Serviços de Saneamento Básico. Florianópolis, 2014. 25 p. Disponível em: http://www.aresc.sc.gov.br/saneamento/index.php/publicacoes/doc_view/633-acompanhamento-abril-2014-fpolis-qualidade-agua. Acesso em: 24 nov. 2019.
- ALMEIDA FILHO, Gerson Salviano de. Em foco: controles de erosão. **Revista Fundações & Obras Geotécnicas**, n. 54, p.72-83, mar. 2015. Disponível em: http://abge.org.br/uploads/arquivos/archivoseccion_244_emfococontroldeeros.pdf. Acesso em: 26 abr. 2019.
- AMARAL, Bernardo Starling Dorta do. **Análise espacial das perdas de solo no Estado da Paraíba**. 2016. 59 f. Monografia (Especialização) - Curso de Bacharel em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/1065>. Acesso em: 25 out. 2019.
- AMORIM, Ricardo Santos Silva. **Avaliação dos Modelos de Predição da Erosão Hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras**. 2004. 143 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9620>. Acesso em: 12 out. 2019.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Hidrologia básica - Unidade 2 - Características do monitoramento**. [S. l.]. Disponível em: <http://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/66>. Acesso em: 12 abr. 2019.
- ARAÚJO, Hélio Márcio de; ANDRADE, Ana Cláudia da Silva. **Geomorfologia estrutural**. São Cristóvão: Universidade Federal do Sergipe, CESAD, 2011.
- BACK, Álvaro Jose *et al.* Mapa de erosão hídrica como instrumento de planejamento e gestão territorial em bacia hidrográfica. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017, Florianópolis. **Anais do [...]**. Florianópolis: SBRH, 2017. Disponível em: <http://evolvedoc.com.br/xxiisbrh/busca-por-trabalhos-tecnicos>. Acesso em: 20 set. 2019.
- BACK, Álvaro José; POLETO, Cristiano. Distribuição espacial e temporal da erosividade das chuvas no Estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 22, n. 14, p.381-403, jun. 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/56914/35379>. Acesso em: 23 ago. 2019.
- BARBOSA, Amanda Fernandes *et al.* The Application of the Universal Soil Loss Equation by Using Free and Available Softwares. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, [S. l.], v. 38, n. 1, p.170-179, 24 ago. 2015. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/5823/5332>. Acesso em: 02 abr. 2019.
- BASSO, Bruna Tauana. **Estimativa de erosão utilizando a Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS): o caso do alto curso do rio Chopim**. 2018. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2018. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/4041>. Acesso em: 20 maio 2019.

BASTOS, Cezar Augusto Burkert. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 303 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2978/000242000.pdf?sequence=1>. Acesso em: 26 abr. 2019.

BRASIL. Ministério da Educação. **Educação profissional: Referências Curriculares Nacionais da Educação Profissional**. Brasília: *E-book*, 2000. 32 p. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/geomatic.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2019.

CÂMARA, Gilberto; QUEIROZ, Gilberto Ribeiro de. Arquitetura de Sistemas de Informações Geográficas. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. *E-book*, 2004. Cap. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: 20 out. 2019.

CASTILLO, Virginia Domínguez. **Aplicação da dendrogeomorfologia na caracterização e datação de processos erosivos em voçorocas na região de Piracicaba, SP**. 2016. 136 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-05072016-152407/pt-br.php>. Acesso em: 18 abr. 2019.

CECATTO, Carlos Alberto. **Modelagem das perdas de solo e água por erosão hídrica pluvial**. 2014. 130 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Manejo do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014. Disponível em: http://www.cav.udesc.br/arquivos/id_submenu/838/tese_maio_2014_versao_a5_final.pdf. Acesso em: 8 ago. 2019.

CHECCHIA, Tatiane. **Avaliação de perda de solo por erosão hídrica e Estudo de emergia na bacia do rio caeté, Alfredo Wagner - SC**. 2005. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/dissertacao_tatiane_final_completa.PDF. Acesso em: 20 abr. 2019.

CORTEZ, Nuno; ABREU, Maria Manuela. Solo: Recurso natural a preservar. In: MATEUS, A. (Coord.). **Solo: A pele da Terra**. Lisboa: 2008. Disponível em: https://ciencias.ulisboa.pt/sites/default/files/fcul/dep/dgeo/doc/09_solo.pdf. Acesso em: 22 nov. 2019.

DAVIS, Bruce Ellsworth. **GIS: A Visual Approach**. 2. ed. Canada: Cengage Learning, 2001. 438 p.

DEMARCHI, Julio Cesar; ZIMBACK, Célia Regina Lopes. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n. 2, p.102-114, abr. 2014. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/841>. Acesso em: 24 ago. 2019.

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, out. 1996. Disponível em: <https://www.researchgate.net/>. Acesso em: 02 out. 2019.

EMBRAPA SOLOS. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/964417/solos-do-estado-de-santa-catarina>. Acesso em: 12 ago. 2019.

ESCOBAR, F. **Introduction to GIS**. Melbourne, [1999]. 13 p. Apostila produzida pela Universidade de Melbourne. Disponível em: <http://www.geogra.uah.es/patxi/gisweb/GISModule/GISTheory.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.

ESRI. **How Topo to Raster works**. 2019b. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-topo-to-raster-works.htm>. Acesso em: 8 out. 2019.

ESRI. **How Spline works**. 2019a. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-spline-works.htm>. Acesso em: 26 out. 2019.

FELGUEIRAS, Alberto Carlos; CÂMARA, Gilberto. Modelagem numérica de terreno. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. *E-book*, 2004. Cap. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: 20 out. 2019.

FRANCISCO, Cristiane. **Sistemas de Informação Geográfica e Geoprocessamento**. 2017. Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <http://www.professores.uff.br/cristiane/sistemas-de-informacao-geografica-e-geoprocessamento>. Acesso em: 04 maio 2019.

GAMBOA, Jorge Falla. **Geoprocementario: de geodatos a geoinformación**. Livro *online*, 2012. 83 p. Disponível em: http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/complementarias/GeoProcesamiento_nov_2012.pdf. Acesso em: 20 out. 2019.

GASPARINI, Kaio Allan Cruz *et al.* Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aplicadas na Identificação de Conflitos do Uso da Terra em Seropédica-RJ. **Floresta e Ambiente**, [S. l.], v. 20, n. 3, p.296-306, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/floram/v20n3/aop_floram_014612.pdf. Acesso em: 26 abr. 2019.

GUIMARÃES, Rafael Zoboli *et al.* Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do Rio Campinas, Joinville/SC. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, [s.l.], v. 23, p.534-554, 3 nov. 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/24920>. Acesso em: 02 out. 2019.

JAKOB, Alberto Augusto Eichman. A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos. In: XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 12., 2002, Ouro Preto. **Anais do [...]**. Ouro Preto: ABEP, 2002. Disponível em: <http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/1179>. Acesso em: 12 ago. 2019.

LEPSCH, Igo F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 218 p.

MAGRI, Rômulo Amaral Faustino. **Análise da suscetibilidade à erosão na região do Médio Rio Grande (MG)**. 2013. 232 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-28082013-091459/publico/RomuloAmaralFaustinoMagri.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2019.

MANNIGEL, Anny Rosi *et al.* Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p.1335-1340, 30 abr. 2008. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/2374>. Acesso em: 24 set. 2019.

MATHIS, James E. Specific Catchment Area as a Basis of Design for Precision Riparian Buffers. In: 2007 Georgia Water Resources Conference, 2007, Athens. **Proceedings of the 2007 Georgia Water Resources Conference**. 2007. Disponível em: <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/47902>. Acesso em: 8 abr. 2019.

MATOS, Thiago Vieira da Silva. **Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na equação universal de perda de solo (USLE)**. 2015. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-A3FETB>. Acesso em: 15 out. 2019.

MCCOY, Jill. **ArcGIS 9: Geoprocessing in ArcGIS**. New York: ESRI, 2004. 370 p. Disponível em: http://downloads.esri.com/support/documentation/ao_/1003Geoprocessing_in_ArcGIS.pdf. Acesso em: 20 out. 2019.

MEDEIROS, Grasiela de Oliveira Rodrigues *et al.* Estimates of Annual Soil Loss Rates in the State of São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 40, p.2-9, 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832016000100551. Acesso em: 03 set. 2019.

MINELLA, Jean Paolo Gomes; MERTEN, Gustavo Henrique; RUHOFF, Anderson Luis. Utilização de métodos de representação espacial para cálculo do fator topográfico na equação universal de perda de solo revisada em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p.1455-1462, jun. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n4/41.pdf>. Acesso em: 03 set. 2019.

OLIVEIRA, Joanito de Andrade. **Extensão SIG para cálculo automático das perdas de solos a partir da EUPS**. 2014. 63 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/21541>. Acesso em: 18 out. 2019.

PEREIRA, Adilson; ZANIN, Vanessa Cataneo. **Expedição ao Rio Cubatão**. Florianópolis, 2002. Disponível em: <https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/expedicao-ao-rio-cubatao#0>. Acesso em: 7 maio 2019.

PEREIRA, Juliana Souza. **Avaliação das perdas de solos por erosão laminar na área de influência da UHE Amador Aguiar I.** 2014. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geográfica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/16206/1/AvaliacaoPerdasSolos.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2019.

PEREIRA, Lauro Charlet; LOMBARDI NETO, Francisco; TOCCHETTO, Marta Regina Lopes. Identificação dos níveis de sensibilidade ambiental na quadrícula de Ribeirão Preto/SP. In: Congresso Acadêmico sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento do Rio de Janeiro, 1., 2004, Rio de Janeiro. **Anais do [...]**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2004. Disponível em: http://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/EMBR_c91a895c3cfd09b7e7689e8759db7fc6. Acesso em: 15 set. 2019.

RAMOS, Paulo Roberto. **Modelo para outorga de uso da água utilizando a metodologia multicritério de apoio a decisão: estudo de caso da bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul.** 2005. 280 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102359>. Acesso em: 5 jun. 2019.

REGINATTO, Gisele Marilha Pereira *et al.* **Avaliação das perdas de solo utilizando o modelo RUSLE integrado a um SIG.** Maceió, 2011. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/SBRH/Reginatto%28SBRH%29.pdf>. Acesso em: 12 out. 2019.

ROCHA, Isa de Oliveira (Org.). **Atlas Geográfico de Santa Catarina: Fascículo 2 - Diversidade da Natureza.** Florianópolis: Editora UDESC, 2014. 188 p.

RODRIGUES, Jéssica Assaid Martins *et al.* Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Cervo – MG. **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 3, p.531-542, 2017. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/12477>. Acesso em: 26 abr. 2019.

ROSA, Roberto. **Introdução ao geoprocessamento.** 2013. 142 p. Apostila da Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: http://professor.ufabc.edu.br/~flavia.feitosa/cursos/geo2016/AULA5-ELEMENTOSMAPA/Apostila_Geop_rrosa.pdf. Acesso em: 26 abr. 2019.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável. **Plano de Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Cubatão, Madre e bacias contíguas: DIAGNÓSTICO DOS RECURSOS HÍDRICOS (TOMO I).** Florianópolis: SDS, 2018. 260 p. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/base-documental/planos-de-bacias>. Acesso em: 8 jun. 2019.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento. **Atlas Escolar de Santa Catarina.** Florianópolis, 1991. Disponível em: <http://www.spg.sc.gov.br/mapas/atlas/AtlasBranco.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2019.

SANTOS, Diego Benvindo Oliveira. **Aplicação da RUSLE a uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia**. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Estado do Pará, Belém, 2013. Disponível em: <http://ppgec.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2013/diego>. Acesso em: 26 jun. 2019.

SCHICK, Jefferson. **Fatores R e K da USLE e perdas de solo e água em sistemas de manejo sobre um cambissolo húmico em Lages, SC**. 2014. 150 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014. Disponível em: http://www.cav.udesc.br/arquivos/id_submenu/838/tese_jefferson_schickdesprotegida.pdf. Acesso em: 20 abr. 2019.

SILVA, Antonio Marcos da *et al.* Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 33, n. 6, p.1811-1820, dez. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000600029. Acesso em: 03 out. 2019.

SILVA, Tiago Stumpf da. **Erodibilidade de um argissolo vermelho-amarelo e fator manejo e cobertura vegetal da equação universal de perdas de solo**. 2016. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/157631>. Acesso em: 18 out. 2019.

TAVARES, Sílvio Roberto de Lucena *et al.* **Curso de recuperação de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 238 p. Disponível em: https://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2012/02/curso_rad_2008.pdf. Acesso em: 28 abr. 2019.

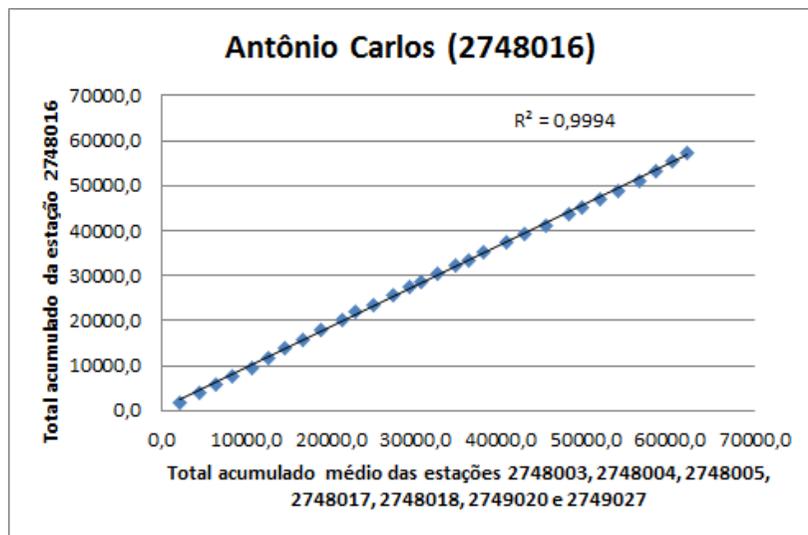
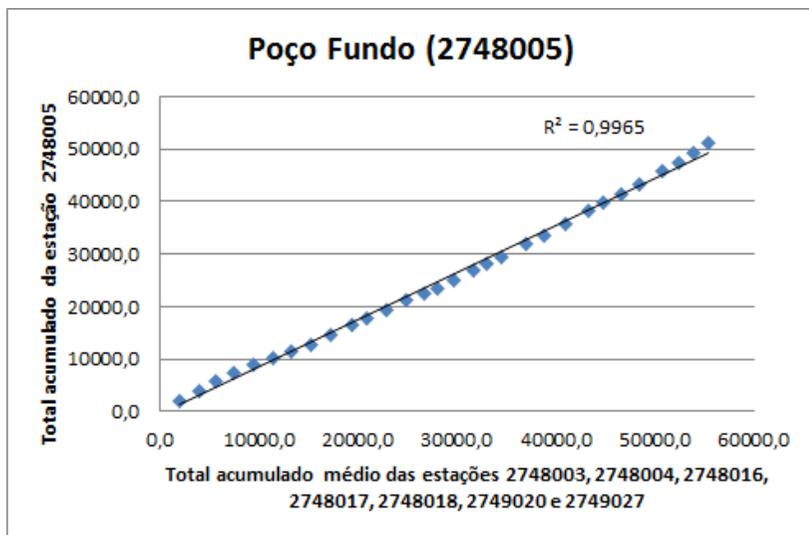
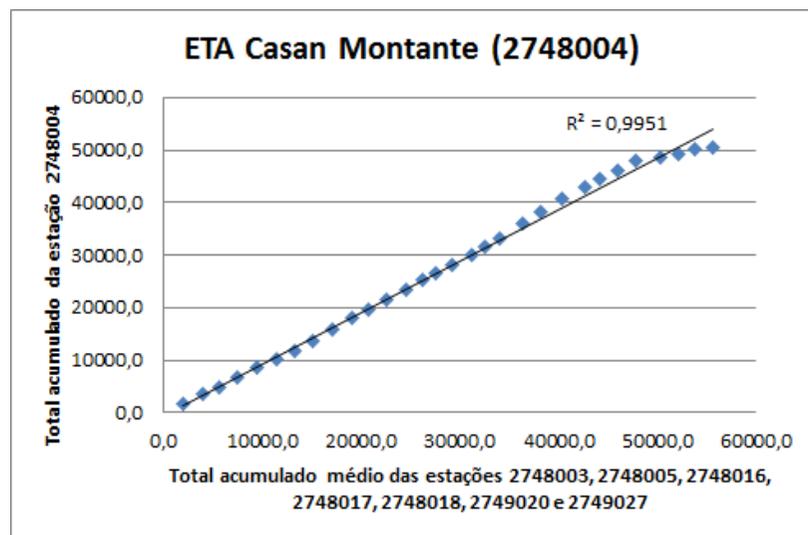
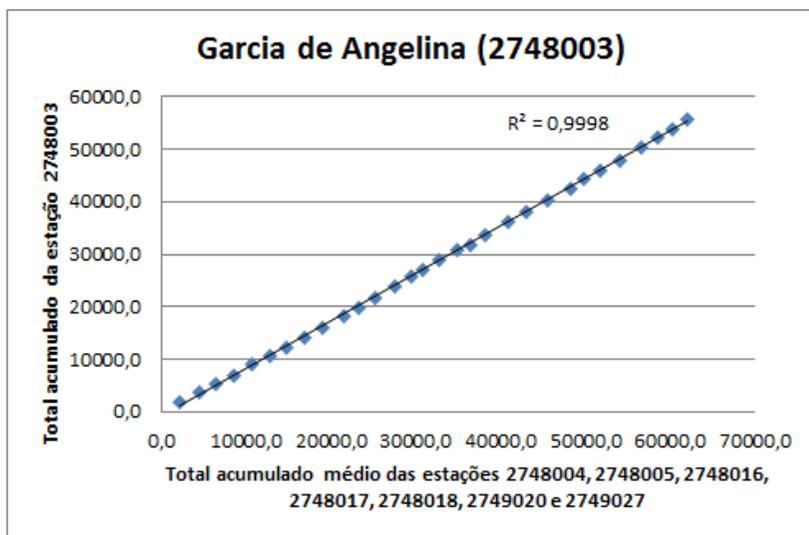
USDA – United States Department of Agriculture. **About the Universal Soil Loss Equation**. 2016. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/midwest-area/west-lafayette-in/national-soil-erosion-research/docs/usle-database/research>. Acesso em: 20 abr. 2019.

WISCHMEIER, Walter H.; SMITH, Dwigth D. **Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the rock mountains: guide for selection practices for soil and water conservation**: Agriculture Handbook n. 282. Washington: USDA, 1965. Disponível em: https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/50201000/USLEDatabase/AH_282.pdf. Acesso em: 12 jun. 2019.

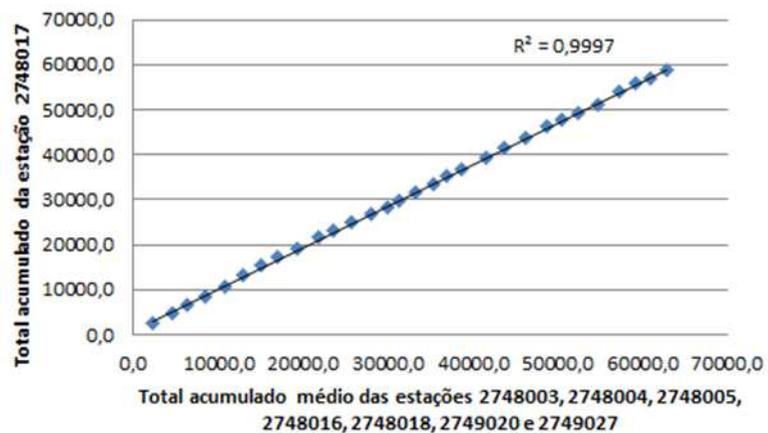
ZHANG, Hongming *et al.* An improved method for calculating slope length and the LS parameters of the Revised Universal Soil Loss Equation for large watersheds. **Geoderma**, [S.l.], v. 308, p.36-45, dez. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706116310059?via%3Dihub>. Acesso em: 24 nov. 2019.

APÊNDICES

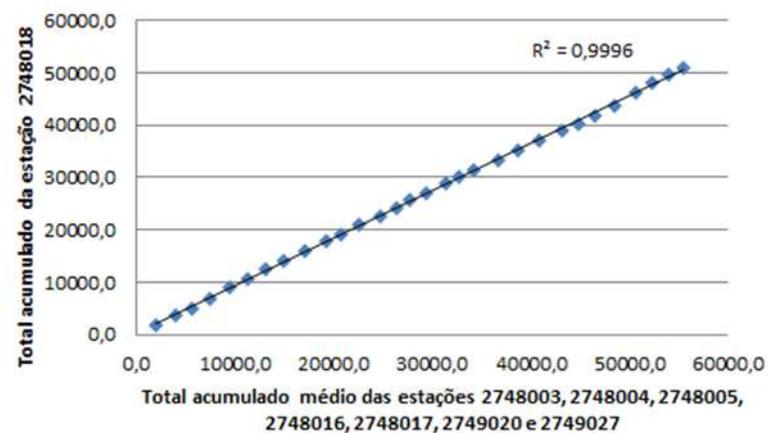
APÊNDICE A – CURVAS DUPLA MASSA DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS



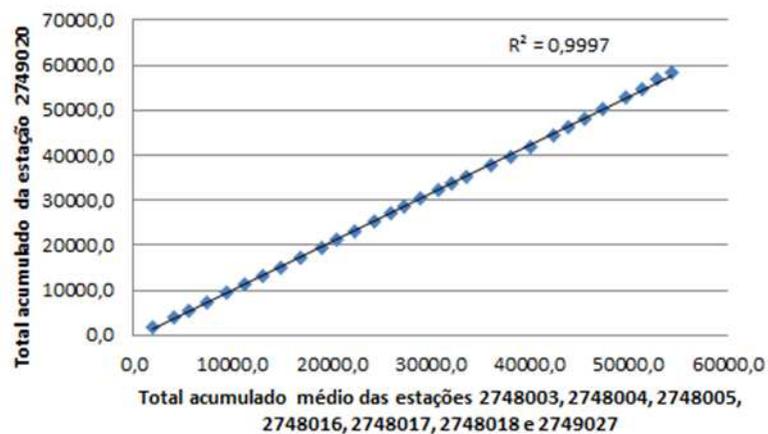
Paulo Lopes (2748017)



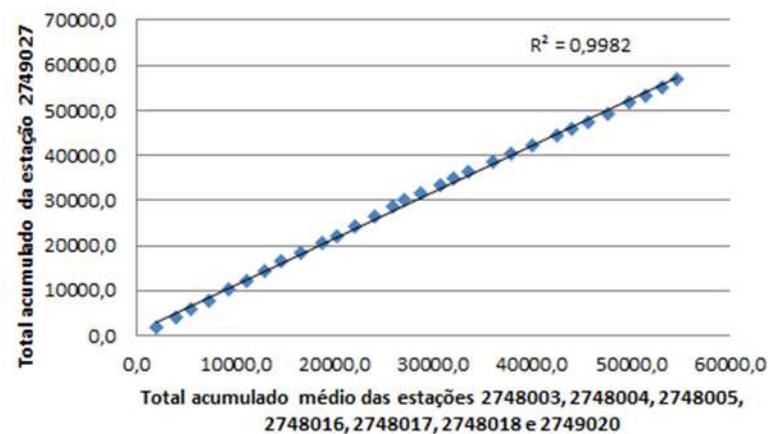
São Bonifácio (2748018)



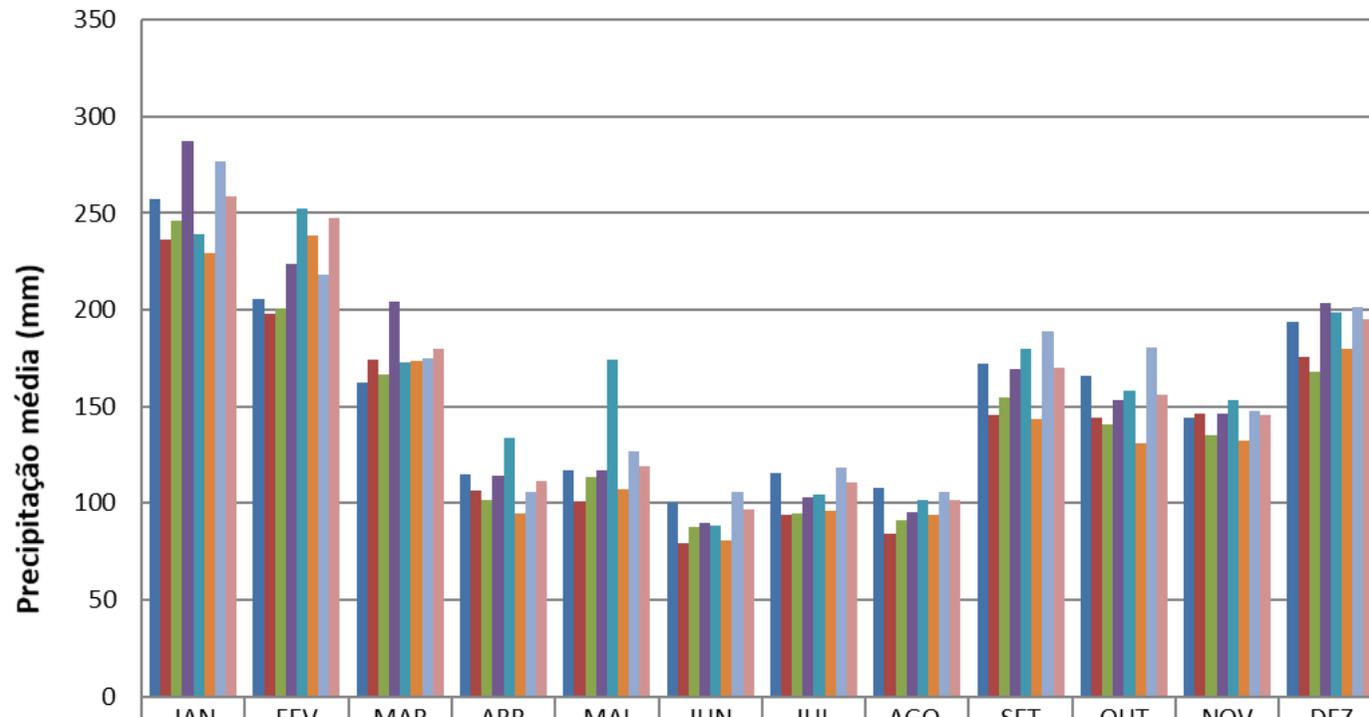
Rancho Queimado (2749020)



Anitápolis (2749027)



APÊNDICE B – PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS NA ÁREA DE ESTUDO



	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
■ Garcia de Angelina	257.0	205.7	162.4	114.8	116.7	100.1	115.8	107.6	171.8	166.0	144.0	193.9
■ ETA Casan Montante	236.3	198.1	174.0	106.5	101.1	79.1	94.3	84.3	145.5	144.0	146.6	175.7
■ Poço Fundo	246.4	200.6	166.2	101.4	113.6	87.5	94.5	91.3	154.7	141.0	135.4	167.8
■ Antônio Carlos	287.5	223.9	204.4	114.0	116.7	89.7	103.1	95.3	169.3	153.5	146.5	203.4
■ Paulo Lopes	239.2	252.3	173.0	133.6	174.0	88.5	104.6	101.5	179.8	157.8	153.3	198.9
■ São Bonifácio	229.1	238.4	173.2	94.8	107.2	80.7	96.1	93.7	143.3	131.2	132.2	179.6
■ Rancho Queimado	276.6	217.9	174.5	105.9	126.8	105.7	118.4	105.9	188.7	180.5	147.3	201.1
■ Anitápolis	258.6	247.5	179.9	111.4	119.1	97.0	110.9	101.9	170.2	155.9	145.8	195.2