

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS
UNIDADE FRUTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS**

**ANÁLISE PREDITIVA DO POTENCIAL DE EROSÃO DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO FRUTAL (MG)**

**Jaqueline Silva Caetano
Geógrafa**

**FRUTAL - MG
2021**

JAQUELINE SILVA CAETANO

**ANÁLISE PREDITIVA DO POTENCIAL DE EROSÃO DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO FRUTAL (MG)**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Leandro de Souza Pinheiro

**FRUTAL - MG
2021**

C127a Caetano, Jaqueline Silva
Análise preditiva do potencial de erosão da bacia hidrográfica do
Ribeirão Frutal (MG)/ Jaqueline Silva Caetano. – Frutal , 2021.
147 f. : il.

Orientador: Dr. Leandro de Souza Pinheiro
Dissertação (Mestrado).– Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG),
Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, 2021.

1. Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) 2. Solos.
3. Erosão 4. Manejo 5. Planejamento 6. Natureza I. Título.
II. Universidade do Estado de Minas Gerais. III. UEMG

CDD: 631.45

Catálogo na Publicação (CIP)
Elaborado pela Bibliotecária Tamara Arthur Corrêa CRB6/2512



GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

JAQUELINE SILVA CAETANO

ANÁLISE PREDITIVA DO POTENCIAL DE EROSIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO FRUTAL – MG

Dissertação apresentada à Unidade do Estado de Minas Gerais, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, área de concentração Multidisciplinar, Linha de Pesquisa Diagnóstico e Ecologia Ambiental, para à obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 23 de Fevereiro de 2021.

Prof. Dr. Adriano Luís Heck Simon

UFPEl

Prof. Dr. Thiago Torres Costa Pereira

UEMG Frutal

Prof. Dr. Leandro de Souza Pinheiro
Orientador



Documento assinado eletronicamente por **Leandro de Souza Pinheiro, Servidor Público**, em 23/02/2021, às 12:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adriano Luís Heck Simon, Usuário Externo**, em 23/02/2021, às 15:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Torres Costa Pereira, Vice-Reitor**, em 24/02/2021, às 16:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **25783201** e o código CRC **EE13FE4E**.

*Dedico este trabalho a todos que direta ou indiretamente
contribuíram para a elaboração do mesmo.*

Em todas as coisas da natureza existe algo de maravilhoso.

Aristóteles.

RESUMO

A erosão dos solos é um fenômeno comumente estudado, devido à grande demanda do uso da terra, visto que, a sociedade está constantemente desenvolvendo e ampliando suas atividades na natureza, fazendo com que a erosão convertesse em processo vertiginoso e que engendra danos na esfera ambiental, social e econômica. O objetivo da pesquisa em questão foi aplicar a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) ou Universal Soil Loss Equation (USLE) na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG, de forma a identificar as potencialidades erosivas naturais e antrópicas e auferir qualitativa e quantitativamente as perdas de solos por erosão laminar. A metodologia consiste em checagem de campo e na elaboração de materiais cartográficos por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para que os dados gerados fossem aplicados na EUPS e análises em laboratório para composição dos demais dados necessários. Em relação aos resultados obtidos, a bacia hidrográfica possui variações altimétricas entre as cotas de 430 a 650 metros. As cotas de declividade não possuem atributos extremos, permanecendo entre: 2 – 5%, 5 – 10%, 10 – 15%, 15 – 20% e > 20%. O fator LS evidenciou que os maiores índices de probabilidade à ocorrência de erosão laminar se localizam na porção baixa vertente, média-baixa e média vertente. O Fator R obteve o valor de 7418,4, registrando índice elevado. O fator K pode ser considerado muito elevado, principalmente na parte Norte, possuindo índices que variam de 0,0765 a 0,0961 e na parte Sul, sendo também elevado, tendo índices que variam de 0,0571 a 0,0881. Diante do fator C, a atuação da atividade agrícola é significativa, tendo culturas de laranja, cana-de-açúcar e seringueiras, que juntas somam 49,42% de área. Ao contrário da área de mata, com apenas 18,50%, juntamente com a pastagem com 7,33% e área urbana com 11,76%. O fator P foi classificado em manejo com terraceamento, obtendo 42,05% em área aplicada, plantio em contorno com 13,41%, áreas sem o uso de práticas conservacionistas com 31,12% de área sem aplicação e área urbanizada com 13,42%. Estimou-se que a Bacia perca em média 5.000 ton./ha./ano, tendo nas porções de baixa vertentes o índice estipulado de 10.000 ton./ha./ano. Na parte média e alta da bacia, estipulou-se índices de potencial natural à erosão elevados, se comparados com a parte baixa, tendo os índices de 10.000 ton./ha./ano e 20.000 ton./ha./ano percentual significativos. Pode ser ratificado que a bacia tenha a perda média de 100 a 200 ton./ha./ano. Locais onde a vegetação nativa foi mantida, como a mata ribeirinha e fragmentos vegetativos (ilhas), obtiveram os menores índices de perda de solo, estando entre a média percentual de 0 a 10 ton./ha./ano. Conclui-se que a utilização da EUPS se apresentou satisfatória na avaliação da suscetibilidade à perda de solo, por considerar o potencial erosivo natural e antrópico e a perda de solos por erosão laminar da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG.

Palavras-chave: EUPS. Manejo. Natureza. Planejamento. Solos.

PREDICTIVE ANALYSIS ABOUT THE EROSION POTENTIAL OF THE RIBEIRÃO FRUTAL (MG) HYDROGRAPHIC WATERSHED.

ABSTRACT

The Soil erosion is a phenomenon commonly studied, due to the great demand for land using, since, society is constantly developing and expanding its activities in nature, causing erosion to convert into a vertiginous process that generates damage in the environmental, social, and economic spheres. The objective of the research in question was to apply the Universal Soil Loss Equation (USLE) at the Ribeirão Frutal Hydrographic Watershed - MG, in order to find out the natural and anthropic erosive potentialities and qualitatively and quantitatively obtain soil losses data due to sheet erosion. The methodology consists of field checking and the elaboration of cartographic materials through the Geographic Information Systems (GIS), so that the generated data can be both applied at EUPS and laboratory analysis to compose the other necessary data. Regarding the results obtained, the hydrographic watershed has altimetric variations between the levels of 430 to 650 meters. The slope dimensions have no extreme attributes, being between 2 - 5%, 5 - 10%, 10 - 15%, 15 - 20% and > 20%. The LS factor showed that the highest probability indices for the occurrence of sheet erosion are located in the low, medium-low and medium slopes. The obtained R-factor value of 7418.4, recording high rate. The factor K can be regarded as very high, especially in the northern part having indices ranging from 0.0765 to 0.0961 and the southern part, and also high, with rates ranging from 0.0571 to 0.0881. In view of factor C, the performance of agricultural activity is significant, having crops of orange, sugar cane and rubber, which together account for 49.42% of area. It was estimated that the watershed will lose an average of 5,000 ton./ha./year, in the low slopes the stipulated rate of 10,000 ton./ha./year. In the middle and upper part of the watershed, high levels of natural potential for erosion were stipulated, when compared to the lower part, with a significant percentage of 10,000 ton./ha./year and 20,000 ton./ha./year. It can be confirmed that the watershed has an average loss of 100 to 200 ton./ha./year. Places where native vegetation was maintained, such as the riverside forest and vegetative fragments (islands), obtained the lowest rates of soil loss, being between the average percentage of 0 to 10 ton./ha./year. It is concluded that the use of EUPS was satisfactory in assessing the susceptibility to soil loss, considering the natural and anthropic erosive potential and the loss of soils by sheet erosion of the Ribeirão Frutal Hydrographic Watershed - MG.

Keywords: USLE. Management. Nature. Planning. Soil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	16
Figura 2 - Artigos publicados por meio de modelagem USLE ou RUSLE no período de 40 anos (1977 a 2017) demonstrado em distribuição geográfica.....	35
Figura 3 - Número de estudos por continente junto a porcentagem do número total de publicações (1977 a 2017).....	36
Figura 4 - Nomograma de Wischmeier; Smith.....	45
Figura 5 - Fluxograma de atividades necessárias para o emprego da RUSLE.....	61
Figura 6 - Fluxo lógico de RUSLE para um típico cálculo da perda de solo.....	63
Figura 7 - Fluxograma de atividades para a estimativa da produção de sedimentos utilizando a MUSLE.....	72
Figura 8 - Localização dos solos coletados na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	78
Figura 9 - Carta Hipsométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	86
Figura 10 - Carta de Declividade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	88
Figura 11 - Carta de Extensão de Vertentes da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG....	91
Figura 12 - Carta do Fator LS da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	94
Figura 13- Carta de Uso da Terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	98
Figura 14 - Carta de Práticas Conservacionistas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	104
Figura 15 - Distribuição de chuvas intensas com 30 minutos de duração (mm/h) no Estado de Minas Gerais.....	111
Figura 16 - Erosividade mensal ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$) e erosividade anual ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) do Estado de Minas Gerais.....	112
Figura 17 - Precipitações mensais (mm) e precipitação anual (mm) do Estado de Minas Gerais.....	113
Figura 18 - Carta do Fator K da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	117
Figura 19 - Carta do Potencial à Erosão Laminar da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	120
Figura 20 – Carta de Perdas de Solos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	123

Figura 21 – Alta bacia próximo das nascentes da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....125

Figura 22 – Baixa Bacia próximo ao represamento do Marimbondo.....125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem de área coberta das classes do fator LS da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	95
Tabela 2 - Índices de perda de solos em relação ao uso da terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	101
Tabela 3 - Área de uso da terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG em 2019.....	102
Tabela 4 - Uso de práticas conservacionistas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG em 2020.....	106
Tabela 5 - Valores utilizados para obtenção do fator R em série histórica de 21 anos (1992 a 2012).....	107
Tabela 6 - Composição dos solos coletados na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplos de utilização acadêmica e aplicada dos modelos preditivos de erosão.....	37
Quadro 2 - Energia cinética da chuva expressada em Megajoule por hectare – milímetro de chuva.....	41
Quadro 3 - Modelos indiretos de estimativa da erodibilidade (fator K).....	46
Quadro 4 - Curvas de fator LS da equação de predição de perdas por erosão.....	50
Quadro 5 - Graus de proteção por tipos de cobertura vegetal.....	54
Quadro 6 - Razão de perdas de solo entre área cultivada e área continuamente descoberta.....	55
Quadro 7 - Valor do fator P da equação de perdas de solo EUPS para algumas práticas conservacionistas.....	58
Quadro 8 - Diferenças entre as equações EUPS e RUSLE.....	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curvas do fator LS da equação de predição de perdas por erosão.....	49
Gráfico 2 - Precipitação média mensal em milímetros em série histórica de 21 anos (1992 a 2012).....	108
Gráfico 3 - Média mensal do índice de erosividade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	109
Gráfico 4 - Composição dos Solos Coletados na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG.....	116

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo geral	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
3. REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 Erosão dos solos	20
3.1.1 Os diferentes tipos de erosão	21
3.1.2 Fatores que influem à erosão	24
3.1.3 Saúde do solo vs. degradação ambiental	26
3.1.4 Paisagem: visão sistêmica de suas potencialidades e fragilidades ambientais	27
3.2 Modelagem erosiva	29
3.2.1 Considerações sobre o uso e a aplicabilidade do modelo EUPS	34
3.3 Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS).....	38
3.3.1 Fatores que afetam as perdas de solo.....	39
3.3.1.1 Fator de Erosividade da Chuva (R)	39
3.3.1.2 Fator de Erodibilidade do Solo (K)	43
3.3.1.3 Fator Comprimento e Grau de Declive (LS)	48
3.3.1.4 Fator Uso e Manejo do Solo (C).....	53
3.3.1.5 Fator Práticas Conservacionistas (P).....	57
3.3.2 Equação Universal de Perda de Solo Revisada (REUPS)	59
3.3.2.1 Fatores da RUSLE e as disparidades referentes a EUPS	64
3.3.2.2 Mudanças realizadas na RUSLE	67
3.3.3 Equação Universal de Perdas de Solo Modificada (MEUPS)	68
4. METODOLOGIA	74
4.1 Arcabouço teórico	74
4.2 Método, técnica e metodologia.....	74
4.3 Análise granulométrica dos solos	78
4.4 Análise de matéria orgânica: método volumétrico por bicromato de potássio.....	83
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
5.1 Hipsometria	85
5.2 Declividade.....	87
5.3 Extensão de Vertentes	90
5.4 Declividade e Extensão de Vertentes	93
5.5 Uso da terra.....	97
5.6 Práticas conservacionistas	102
5.7 Erosividade das Chuvas.....	106
5.8 Erodibilidade dos solos.....	114
5.9 Potencial Natural à Erosão Laminar	119
5.10 Perdas de Solo por Erosão Laminar	122
6. CONCLUSÃO	129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132

1. INTRODUÇÃO

“A natureza tem lidado com mudanças significantes nas condições ambientais da Terra desde que a vida apareceu pela primeira vez, há cerca de 3,5 bilhões de anos atrás” (MILLER; SPOOLMAN, 2015, p. 7). Em todas perspectivas observadas, nada como a eclosão da humanidade para o engendramento do vertiginoso processo de utilização dos recursos naturais e de alteração de sua capacidade de renovação, esse último realizado por meio dos próprios processos ambientais gerados pela correlação ecossistêmica da natureza da vida.

A garantia da sobrevivência humana remete a alguns elementos fundamentais, onde, neste trabalho em questão, a ênfase é direcionada ao solo: “recurso básico que suporta toda a cobertura vegetal de terra [...]. Nessa cobertura, incluem-se não só as culturas como, também, todos tipos de árvores, gramíneas, raízes e herbáceas que podem ser utilizadas pelo homem” (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012, p. 28). O solo, muito além da grande superfície ocupada no globo terrestre, é uma das maiores fontes de energia das gerações planta-animal-homem que habitam na Terra (MILLER; SPOOLMAN, 2015).

Contudo, mesmo com sua grande importância, a erosão tem se caracterizado como um dos problemas mais corriqueiros e complexos do solo (WISCHMEIER; SMITH, 1965; GUERRA, 2015). Esse fato estabelece uma grande demanda por estudos de cunho conservacionistas, que efetuam prognósticos seguros sobre a dinâmica dos processos erosivos. Mesmo sendo um fenômeno que ocorre naturalmente na superfície terrestre ao longo do tempo geológico, a erosão responsável pela esculturação do relevo pode ser intensificada pela ação antrópica, quando não aplicados os métodos adequados para práticas de uso da terra (MARQUES, 1966; CASSETI, 2005).

Tal paradigma se traduz na degradação do solo que implica a longo prazo, tanto na sua produtividade quanto na capacidade de equilíbrio do meio ambiente (LAL, 1994; 1997; 2001). Em outras palavras, significa o rompimento brusco da qualidade do solo e de outras funções que levam diretamente aos usos adotados pela sociedade (DORAN; PARKIN, 1994). As problemáticas que circundam tal contexto não estão solucionadas em simplesmente deixar de plantar ou de usar o solo, o que seria impossível, mas, na aplicação correta e vigorosa de medidas que evitem o seu desgaste e empobrecimento (PINHEIRO, 2012).

Sabe-se que as problemáticas ambientais possuem abrangência mundial, no entanto, é imprescindível que os trabalhos científicos pesquisem e estudem a realidade em escala local,

analisando e avaliando o cenário dentro de seu contexto. Assim, a ciência geomorfológica, ao investigar os processos e fenômenos atuantes na elaboração e evolução das formas do relevo, pode auxiliar com subsídios para o planejamento ambiental, prevendo, minimizando e até mesmo cessando a ocorrência de impactos ambientais (PINHEIRO, 2008).

No que diz respeito aos processos erosivos, podem ser “potencializados através de algumas variantes, como a textura e permeabilidade do solo, regime climático local, topografia, uso e ocupação do solo” (PINHEIRO, 2008, p. 14). A aplicação de métodos preditivos de perda de solo e do potencial natural da erosão, é uma vantajada ferramenta para a prevenção e minimização da perda de solos, é uma abordagem que antecede a ápice do problema e garante resultados positivos quando aplicados seus dados no planejamento ambiental.

Salienta-se, portanto, tal estudo para as potencialidades erosivas de uma bacia hidrográfica, pois, é uma área de significativa importância ambiental e social e onde os sedimentos resultantes da dinâmica erosiva serão carregados e depositados. Segundo Bertoni; Lombardi Neto (2005) há uma variedade difundida de modelos capazes de identificar a suscetibilidade erosiva e o potencial natural da erosão, onde dentre os modelos mais usados está a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) ou *Universal Soil Loss Equation (USLE)*.

Tal técnica representa um importante método investigativo sobre o processo erosivo por, a partir das características e propriedades dos fatores naturais e antrópicos do ambiente estudado, permitir identificar os elementos responsáveis pela perda de solo do local. O modelo também possibilita a fragmentação da paisagem em vários níveis de instabilidade, proporcionando intervenções de planejamento ambiental mais efetivos e a otimização dos recursos naturais (WISCHMEIER; SMITH, 1965; BARBOSA et al., 2015).

Para bacias hidrográficas, estudos preditivos são essenciais devido a importância do solo para o planejamento das mesmas. Muito além disso, é o solo que estrutura a cobertura vegetal e faz com que mudanças na cobertura nativa engendrem alterações tanto no escoamento superficial como no exercício da erosão. O Brasil, por ser um país tropical, é fortemente afetado pela erosão hídrica, onde a mesma acarreta redução da fertilidade do solo, prejudicando a produtividade agrícola, impactando qualidade e quantidade dos recursos hídricos e ainda faz com que a perda de solo por erosão aumente. O conhecimento antecipado do potencial de erosão de um solo em área pré-estabelecida auxilia no direcionamento das atividades antrópicas, no sentido de aplicar de forma sustentável o uso e o manejo dos recursos naturais ali contidos (NUNES et al., 2012; RANZINI; LIMA, 2002 apud SANTOS; BLANCO; PESSOA, 2015).

O trabalho foi realizado na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal, situada no município de Frutal, sob as coordenadas geográficas de Lat. 20° 1' 11" Sul e Long. 48° 55' 10" Oeste. De acordo com dados do IBGE (2018) o município possui área total de 2.426,965 km², com população estimada em torno de 58.962 indivíduos. Na divisão administrativa do Estado de Minas Gerais suas terras se encontram na Região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (Figura 1), fazendo divisa com os municípios de Planura, Pirajuba, Campo Florido, Comendador Gomes, Itapagipe e Fronteira.

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG é muito significativa para a cidade, pois, é responsável pelo seu abastecimento hídrico. Outras considerações são relacionadas a quantidade de material cartográfico que o local possui, que muito contribui para estudos acadêmicos e também pela grande participação em extensão da área rural no município na agricultura. O uso da terra em área rural deve-se ser manejado de forma a evitar transtornos ambientais e econômicos para todas as partes implicadas, por isso estudos nessa perspectiva são importantes.

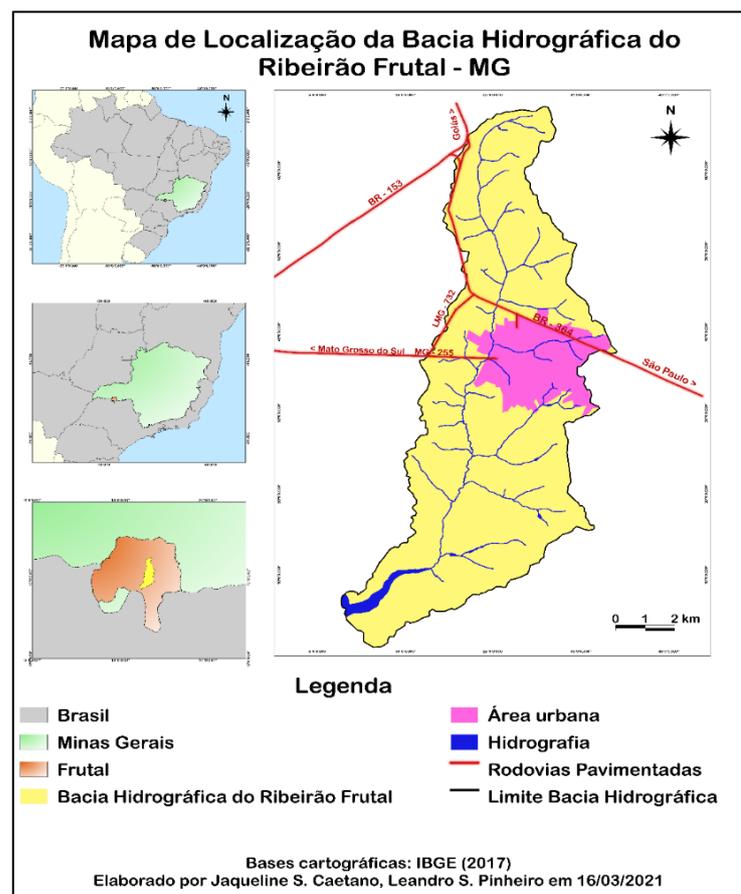


Figura 1 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG
Fonte: Elaborado por Caetano; Pinheiro 2021.

O relevo do município de Frutal (MG) é caracterizado, segundo Pinheiro; Caetano; Pereira (2018, sp.) como “plano ou suavemente ondulado, assentado sobre a Bacia Sedimentar do Paraná, onde suas altitudes variam entre 500 e 600 metros, apresenta relevo residual de chapadões e morros testemunhos da Formação Marília [...]”. Na bacia é predominantemente Formação Vale do Rio do Peixe com ocorrências ao Norte da Bacia de Formação Marília e no Sul da bacia Formação Serra Geral. Possui solos classificados em Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo. Os mesmos expressam de acordo com os autores supracitados, proporções de ferro variantes, com textura arenosa e areno-argilosa.

Das características climatológicas, segundo Goodland e Ferri (1979) apresenta estação seca bem definida, tendo oscilação de três a quatro meses de duração, abrangendo os meses de maio, junho, julho, agosto e grande parte do mês de setembro, sendo as temperaturas nesse período menos elevadas do que às dos demais meses. Segundo Pinheiro; Caetano e Pereira (2018, s.p.) “o clima predominante é o tropical sazonal, de inverno seco e verão chuvoso”, os meses mais úmidos segundo Caetano (2018) são novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, onde se concentram mais da metade da média anual de precipitação pluviométrica.

Outras informações referem-se às características vegetacionais do município, onde o mesmo se encontra inserido no bioma classificado como Cerrado, com áreas de transição, sendo elas classificadas em Mata Semi Decidual, considerada Mata Atlântica (CÂMARA FRUTAL, 2013), tendo também em abundância o Cerradão (Savana Florestada) mais denso próximo ao Rio Grande e o Cerrado Stricto Sensu (Savana) já mais ao Norte do município (BRITO et al., 2011).

Para a pesquisa em questão foram elaboradas duas hipóteses. A primeira delas é referente às potencialidades erosivas, no qual, as mesmas serão maiores em localidades em que o declive é mais acentuado e com extensão de vertentes maiores. A segunda refere-se às perdas de solos por erosão laminar, sendo essas ocasionadas em maior amplitude em regiões de cultivo agrícola, tendo a vegetação e não o declive como fator predominante de perdas. Apesar de altas declividades, quando as localidades possuem cobertura vegetal e a aplicação adequada de práticas de conservação, a perda de solos por erosão são minimizadas.

Em relação ao arcabouço bibliográfico, se explana sobre a erosão dos solos e seus semblantes, caracterizando alguns dos mais importantes fenômenos erosivos atuantes na superfície terrestre do planeta, em seus mais heterôgenos cenários. Direciona-se com mais ênfase e detalhamento a erosão dominante na área de estudo do trabalho em questão, abordando

as feições e delineamentos de sua ocorrência, as problemáticas ambientais congruentes ao seu exercício na natureza e a influência sistêmica da relação e correlação entre os fenômenos físicos e as atividades antrópicas que nela atuam.

Assim como, apresenta com detalhes a temática sobre a modelagem erosiva, abordando a progênita Equação Universal de Perda de solo (EUPS) ou *Universal Soil Loss Equation (USLE)*. Norteia-se com afinco e abrangência a equação aplicada na área de estudo do trabalho em questão, elucidando sobre sua aplicabilidade, atributos característicos e particularidades para execução da mesma. Apresenta-se também as difusões, Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MEUPS) ou *Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)* e a Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (REUPS) ou *Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, abordando sobre as principais diferenças em relação a EUPS.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral da pesquisa em questão é aplicar a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) ou *Universal Soil Loss Equation (USLE)* na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG, de forma a auferir as potencialidades erosivas naturais e antrópicas, assim como de maneira qualitativa e quantitativa as perdas de solos por erosão laminar.

2.2 Objetivos específicos

- Análise da Carta Hipsométrica, da Carta de Declividade e da Carta de Extensão de Vertentes da bacia estudada para o reconhecimento: das variações altimétricas e a amplitude topográfica pertencente ao local; das classes de declive pertencentes a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG; das extensões das vertentes em relação a rede hidrográfica e os topos de interflúvio;
- Análise da Carta de Uso da Terra e da Carta de Práticas Conservacionistas para avaliação qualitativa: dos tipos de cobertura vegetal; para diagnóstico qualitativo das técnicas de conservação do solo aplicadas nas plantações agrícolas da área de estudo;
- Avaliação em laboratório dos solos coletados na bacia hidrográfica para classificação dos tipos de solo do local estudado e confecção da Carta do Fator K;
- Análise da Carta do Fator Topográfico (LS) e Carta de Potencial Natural à Erosão para identificação: das áreas com menor ou maior vulnerabilidade erosiva; de locais propícios a maior perda de solos por erosão laminar por solo exposto e características físicas do local estudado;
- Organização dos dados climáticos da região de Frutal (MG) disponíveis pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil – INMET, em série histórica de 21 anos.
- Análise das cartas de potencialidade erosiva e de perda de solos para compreensão dos fatores relacionados ao sucedimento dos processos erosivos no local estudado.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Erosão dos solos

O termo ‘Erosão’ origina-se do latim *Erodere*, que significa “Corroer”. Foi empregado pela primeira vez para descrever a formação de cavidades pela água e para caracterizar a desagregação de material sólido pela ação das águas dos rios (PENK, 1894; HOLÝ, 1980; ZACHAR, 1982; VIEIRA et al., 2020). E assim como qualquer outro fenômeno do campo de estudo da geografia física, a erosão do solo também é analisada por meio da perspectiva das interações espaciais e de seus fatores condicionantes (CHORLEY, 1971; BERTALANFFY, 1973; CHRISTOFOLETTI, 1979; LIMA, 2000).

Incorporada no arcabouço da ciência geomorfológica, a erosão da superfície terrestre é tema presente desde seus primórdios, com William M. Davis em 1899 em “Ciclo Geográfico.” Ainda no âmbito da geomorfologia, esse fenômeno é considerado como componente condicionante das feições do relevo e é o objeto de estudo de variados pesquisadores, que almejaram apontar os heterogêneos mecanismos dos processos erosivos, tais como Gilbert (1877), Penck (1924), Rossel (1949), Pugh (1955), King (1956), Hack (1957, 1960, 1965), Ab’Sáber (1969), Christofolletti (1973), Tricart (1978), Guerra; Cunha (1995), entre outros.

Deve-se à erosão a evolução superficial da crosta terrestre, assim como a diversidade e complexidade dos delineamentos do relevo. Pode ser firmado que dentre o sistema terrestre e as suas “esferas”: a atmosfera, a litosfera, a hidrosfera e a biosfera, e a hidrosfera, sob suas difusas formas (mares, rios, chuvas), a apontada como maior responsável pela erosão, sendo o elemento água que percorre como escoamento superficial, o mais efetivo entre eles. Tal erosão ocorre ante às ações mecânicas e químicas da hidrosfera (chuva, a água dos escoamentos, as geleiras, o mar, a umidade e a evaporação), da biosfera (vegetais, animais e o homem) e da atmosfera (os ventos e as variações de temperatura) (TERMIER; TERMIER, 1960; GUERRA; MENDONÇA, 2004; BERTONI; LOMBARDI, 2005).

Segundo Conciani (2008) existem diferentes formas de conceituar o fenômeno erosão e, de fato, não apenas a conceituação que define a erosão pode mudar, assim como suas linhas de pesquisa. Há autores como Galetti, (1982), Fendrich et al. (1997), Bertoni; Lombardi (2005) que acreditam que a erosão é um processo de desprendimento, arraste e deposição das partículas de solo causadas por agentes erosivos, outros como Seixas (1984), Conciani (2008), Bigarella (2003), Pinheiro (2008), ratificam que tal processo consiste apenas em desgaste,

desprendimento e transporte das partículas do solo. Adota-se neste trabalho a concepção de que o processo de deposição ocorre após o processo de erosão, pois, um advém antes do outro.

Dessa forma, erosão consiste no desgaste, desprendimento e transporte das partículas do solo e pode ser classificada em dois âmbitos: a erosão geológica, derivada da atuação dos fenômenos naturais, sendo benéfica para o engendramento do próprio solo e do esculpimento das formas do relevo — e a erosão acelerada, a qual é intensificada pela ação antrópica, se constituindo maléfica tanto para a natureza quanto para a sociedade, interferindo no ritmo do sistema natural como na qualidade do solo e produção dos cultivos agrícolas (SEIXAS, 1984; BIGARELLA 2003; CONCIANI, 2008; PINHEIRO, 2008). Há ainda a erosão bruta, conceituada por Fendrich et al. (1997, p.21) “que se refere a quantidade total de material desprendido e removido pela ação dos agentes erosivos, numa determinada área, num dado tempo.”

No que tange o processo erosivo e as propriedades físicas da matéria, as partículas desprendidas são nada mais que agregados. Sua liberação é causada por forças empregadas em tal matéria (solo) por agentes erosivos, os quais já citados, são principalmente, a energia do impacto das gotas da chuva (*splash erosion*) e pela força cisalhante do escoamento superficial (*surface runoff*) (SEIXAS, 1984; CONCIANI, 2008). O desprendimento das partículas de solo é um processo contínuo, ressaltando-se que as partículas, uma vez desprendidas, podem permanecer próximas ou serem transportadas de forma mais intensa e visível, e\ou de forma mais branda e imperceptível, a depender do cenário e de suas características variantes.

A oscilação da potencialidade natural erosiva depende de algumas variáveis, dentre elas: a textura e permeabilidade do solo, regime climático local, topografia, uso e ocupação da terra (PINHEIRO, 2008). Podendo estar diretamente interligada com a declividade e comprimento do declive, resistência do solo, densidade da cobertura vegetal e ação erosiva da água, e intensificada pelas ações antrópicas, processo esse que acarreta na alteração brusca de tais aspectos do ambiente aumentado, acelerando e posteriormente alimentando cada vez mais a erosão no solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

3.1.1 Os diferentes tipos de erosão

Os semblantes da erosão podem se apresentar em: Erosão Eólica, que consiste no transporte aéreo ou por rolamento de partículas do solo pela ação do vento. Ocorre normalmente

em regiões planas, vegetação natural escassa e de ventos fortes, de índice pluviométrico baixo e\ou em regiões onde as estações chuvosas são concentradas numa determinada época do ano (de curta duração), clima seco e temperaturas elevadas. As condições pedológicas são: solo pouco coeso, seco, de textura fina, de superfície uniforme e topografia plana (EMBRAPA, 1995).

Em erosão por geleira, que consiste na “abrasão” da superfície quando a geleira flui sobre ela e no “arranque”, quando a água penetra as diáclases das rochas, que ao se expandirem exercem uma força mecânica como de uma “alavanca” (DERRUAU, 1988). Nas regiões circumpolares, tais paisagens e suas feições são o resultado das ações mecânicas ao longo de centenas, ou mesmo milhares de anos, que coalescem a fragmentação sob efeitos combinados do gelo e do degelo, sob o peso de uma geleira combinado com seu movimento gradual. O gelo erode a superfície terrestre e carrega as rochas quebradas e os detritos do solo para longe, junto das massas deslizantes (NSIDC, 2020).

Em erosão pela neve, que consiste no movimento da neve em forma de avalanches cujo processo erosivo sucede por meio de alta pressão e velocidade. As avalanches possuem elevado poder destrutivo e normalmente devastam as áreas afetadas. Esse tipo de erosão também pode ser engendrada pelo movimento lento de uma camada de neve ao longo de uma superfície descongelada do solo, durante o degelo da primavera. Esse tipo de erosão afeta principalmente áreas submontanhosas, de clima ameno e sazonal (HOLÝ, 1980). O congelamento e o degelo do solo são reconhecidos como fatores agravantes da erosão do solo (WISCHMEIER; SMITH, 1978). O acúmulo de água e calor na camada superficial, associado à baixa rugosidade da camada impermeável congelada, aumenta o risco de erosão do solo, assim como o derretimento aumenta a capacidade de escoamento superficial, intensificando a erosão durante o degelo (SADEGHI; RAEISI; HAZBAVI, 2018).

Em erosão fluvial, que consiste na remoção dos materiais do barranco ou desgaste dos planaltos, dentre outros relevos, que removem porções do solo das margens dos rios, seja pela ação fluvial (correntes, ondas) ou pela precipitação pluviométrica por meio do escoamento superficial (FERNANDEZ, 1990). A erosão das margens de um rio, como elemento da erosão fluvial, é aquela que destrói as margens dos rios, exercendo papel crucial no aumento da largura do canal. Este tipo de erosão contribui significativamente no incremento da carga de fundo dos rios, na turbidez e provoca destruição progressiva da área marginal, depreciando áreas ribeirinhas e restringindo o seu uso (THORNE; TOVEY, 1981).

Em erosão Hídrica, que consiste em apresentar-se em duas formas: Laminar e Linear. Optou-se então, por partir do princípio de que os tipos de erosão superficial advêm substancialmente de dois processos. Segundo Pinheiro (2008) a Laminar é intensificada pela dinâmica do escoamento superficial de água, quando o mesmo possui força suficiente para caucionar o arraste das partículas liberadas como um todo, transportando-as sem estruturar canais definidos. Ainda segundo o autor citado acima, a Linear, por sua vez, sucede pela concentração de fluxos d'água em passagens preferenciais, arrastando as partículas e esculpindo sulcos erosivos, podendo derivar ravinas e posteriormente voçorocas, quando o entalhamento da ravina permite o afloramento do nível freático.

A Laminar, é conhecida popularmente por erosão em lençol ou superficial, se caracteriza pela desagregação e arraste das partículas mais leves do solo em camadas uniformes, desgastando-a camada por camada, homoganeamente retirando lâminas na superfície do solo (EMBRAPA, 1995). A erosão de camadas delgadas do solo sobre toda área é muito difícil de ser diagnosticada e pode ser visivelmente percebida quando as raízes das árvores ficam expostas. Diante de suas características, em dias chuvosos as enxurradas ficam mais barrentas, os solos tornam-se mais claros e a produtividade decai progressivamente, gerando problemas sobre a fertilidade do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Em erosão em Sulcos, consiste na concentração do escoamento superficial em determinados pontos, ocasionado por pequenas irregularidades do declive do terreno, no qual, engendra pela ação de precipitações pluviométricas pequenos canais, drenos ou escoadouros, que com o passar do tempo vão se aprofundando e podendo interferir e conseqüentemente gerar efeitos nocivos na qualidade do uso da terra. É um processo hidráulico, onde a tensão cisalhante do fluxo solo-água desagrega e transporta partículas do solo, sendo nitidamente perceptível nos diferentes tipos de relevo, principalmente em depressões, devido as irregularidades do terreno (EMBRAPA, 1995; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Já a erosão em Ravinas, advém da Erosão em Sulcos, nada mais do que o resultado do “aumento das dimensões do raio hidráulico e do perímetro molhado dos sulcos de erosão pela contínua ação cisalhante do escoamento” (LAFAYETTE; CANTALICE; COUTINHO, 2011, p. 2168). Dessa forma, ainda segundo os autores citados, compreende-se que o comportamento hidráulico do escoamento superficial das ravinas é o mesmo dos sulcos de erosão. Ocorrem quando a água do escoamento superficial escava o solo alcançando seus horizontes inferiores e, em seguida, a rocha. Têm forma retilínea, alongada e estreita, onde excepcionalmente se

ramificam, não atingem o nível freático e apresentam perfil transversal em forma de "V".

E em erosão por Voçoroca ou Boçoroca, que consiste em crateras erosivas de grande porte que geralmente se desenvolvem em áreas de cabeceiras de drenagem, com a ação das águas superficiais (escoamento superficial) e subsuperficiais (nível freático) por erosão externa e interna. Possui normalmente fundo chato, de paredes íngremes e instáveis, estruturação profunda e alargada. No voçorocamento os desmoronamentos são frequentes e contínuos, principalmente em períodos chuvosos, acelerando ainda mais seu comprimento e profundidade, que induzem na formação de uma morfologia de anfiteatros nas cabeceiras das drenagens (SALOMÃO, 1994).

3.1.2 Fatores que influem à erosão

“A água em todas as suas formas possui uma grande importância na elaboração das paisagens, através da erosão” (PINHEIRO, 2008, p. 27). Dentre as mais diversas formas de erosão, a hídrica é a mais comum, de maior abrangência e distribuição no território brasileiro e no mundo (HASSET; BANWART, 1992 *apud* GUERRA; JORGE, 2012). Normalmente, o processo de erosão hídrica é condicionado por cinco fatores, dentre eles: precipitação pluviométrica, solo, topografia, cobertura e manejo e práticas conservacionistas (WISCHMEIER, 1962). A combinação desses fatores determina a intensidade e as variações obtidas pela modelagem (CUNHA; GUERRA, 2006).

A atuação da precipitação pluviométrica sob processos erosivos depende, em tese, da sua intensidade e da quantidade que desagua sobre o solo, pois, apesar de uma grande quantidade de água precipitada, se a chuva for longa e de baixa intensidade, os danos erosivos podem ser mínimos. Contudo, caso seja o contrário, uma menor quantidade de tempo de precipitação com uma alta intensidade volumétrica de água, os danos erosivos podem ser alarmantes (WISCHMEIER, 1962). No que diz respeito a tal conjuntura, a oscilação pode variar muito durante o período de uma chuva.

O solo adentra nos processos erosivos sob algumas premissas, sendo a principal delas: as propriedades físicas (textura, estrutura, densidade, porosidade, permeabilidade, fluxo de água, ar e calor). Isso porque a textura é expressa pela proporção dos componentes granulométricos da fase mineral do solo, areia, silte e argila e a forma como tais partículas se arranjam têm-se uma taxa de infiltração, permeabilidade, densidade e porosidade (SILVA et al., 2003), sendo a capacidade de infiltração e a estabilidade estrutural, os atributos físicos mais

expressivos e que estão intrinsecamente concernentes com a erodibilidade do solo (WISCHMEIER, 1971).

A topografia também influencia na oscilação quantitativa de perda de solo e isso ocorre devido ao grau de variação de inclinação do terreno, uma vez que, elevada topografia proporciona maior velocidade e concentração do escoamento hídrico superficial, engendrando erosão mais incisiva. Além disso, a perda de solo é significativamente mais frágil às alterações de declividade do que de comprimento de rampa (WISCHMEIER, 1971; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Dessa forma, na medida em que o manejo elimina a cobertura vegetal, a superfície fica cada vez mais exposta. A cobertura do solo age como proteção na redução da velocidade do escoamento hídrico, imposta por resíduos vegetais e por plantas que impedem que a água da chuva caia diretamente sobre o solo, assim como o fluxo hídrico escoar livremente sobre o mesmo. A densidade da cobertura vegetal é princípio fundamental da proteção do solo, assim como a utilização racional da vegetação é um dos princípios básicos de sua conservação (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Contudo, com a grande demanda do uso da terra, é uma tarefa cada vez mais árdua diminuir suas taxas de erodibilidade e erosividade, dependendo da execução das práticas conservacionistas, que por sua vez, representam a implementação de práticas de conservação do solo, sendo elas: o preparo e plantio em contorno (nível) e o terraceamento e plantio em faixas em contorno, possibilitando reduzir a relação entre a perda de solo e manejo agrícola (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Mas para almejar seu objetivo, devem ser levadas em consideração as principais características condicionantes da capacidade de uso do solo, sendo: a unidade do solo, a declividade do terreno, a erosão e o uso atual que vem sendo empregado (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Outros aspectos que podem ser considerados determinantes na erosão dos solos são os agentes sociais, econômicos (HOLÝ, 1980) e políticos devido a participação do Estado e da implementação de políticas públicas cada vez mais preocupados no diagnóstico e na implementação de programas de regeneração dos solos. Esta mediação afeta diretamente a vida dos proprietários rurais, tanto os das áreas erodidas, como a dos locais onde ocorre o assoreamento, derivado do transporte de sedimentos. Muito além disso, há uma desigualdade apontada em relação aos pequenos proprietários, que são ignorados cotidianamente pelo Estado quanto pela iniciativa privada, resultando na ausência de políticas para investimento em

pesquisa, assistência técnica e créditos rurais (GUERRA, 1994; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

No entanto, mesmo quando há tecnologias e avanços cada vez mais técnico-científicos capazes de sanar e até mesmo solucionar o problema da erosão dos solos, os pequenos proprietários rurais não possuem acesso a tais avanços, ficando, portanto, tão marginalizados quanto os próprios ambientes socioeconômicos onde habitam. As desigualdades existentes são relacionadas às oportunidades tecnológicas e econômicas adequadas, e a falta de acesso entre grande parte das pessoas afetadas pela erosão e os grupos poderosos, são ao mesmo tempo, também a causa e consequência da erosão dos solos (GUERRA, 1994).

3.1.3 Saúde do solo vs. degradação ambiental

Melhorar a saúde do solo nos sistemas agrícolas tornou-se uma das principais prioridades nos últimos anos, principalmente devido à crescente conscientização do papel do solo no controle dos ciclos da Terra, bem como os serviços ecossistêmicos ancorados e regulados pelo mesmo, o colocando numa posição crítica para almejar as metas de desenvolvimento internacional e geopolíticas dos recursos naturais (MOL; KEESTRA, 2012; MILLER; SPOOLMAN, 2015; TURNER et al., 2018). Apesar dos recentes ganhos referentes a saúde geral dos solos, as preocupações com a erosão do solo de cunho antropogênico aumentaram (MCBRATNEY; FIELD; KOCH, 2014).

A segurança do solo nunca foi uma temática tão amplamente discutida como atualmente, contudo, desde 1965 já se eram redigidos materiais sobre a erosão acelerada e medidas para seu controle em terras cultivadas (FAO, 1965). Reconhece-se a função ativa e essencial que a segurança do solo tem para enfrentar com os desafios globais de hoje, sendo alguns deles: segurança alimentar, segurança hídrica, redução das mudanças climáticas, prestação de serviços ecossistêmicos, entre outros, tudo para garantir que o solo coadjuve para superar tais desafios e se sobreponha as dimensões da saúde do solo, de modo a serem mais entendidas, desenvolvidas e promovidas (TURNER et al., 2018).

Estudos revelam que 30% dos solos do mundo estão degradados e que dentre as principais ameaças estão: a erosão, a compactação e a perda da matéria orgânica, que chegam a atingir aproximadamente um terço das terras do globo terrestre. A principal conclusão relatada pela pesquisa é que a degradação dos solos no mundo é alarmante e pode trazer consequências

desastrosas nas próximas décadas para milhões de pessoas nas áreas mais vulneráveis. As três principais ameaças possuem apenas uma única gênese: a exploração desacerbada do solo pela sociedade (FAO, 2015).

Fazendo uma retrospectiva do cenário ambiental, no início dos anos 90 estimava-se que 56% do solo global estava degradado em proporções leves a severas de erosão do solo pela água (OLDEMAN, 1992). Como a erosão hídrica é extremamente vertiginosa quando se há a conversão da vegetação em terras cultivadas, a erosão acelerada tornou-se um fenômeno generalizado e representa para os dias atuais um obstáculo para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, uma vez que, 40% do solo do globo terrestre é usado para as atividades agrícolas (FOLEY, 2017).

Por isso, é tão importante o trabalho de mapear e visualizar o potencial natural de erosão quanto a perda de solos em escala local, regional, nacional e mundial, servindo de escudo e arcabouço para a aplicação de novas abordagens de forma a frear o fenômeno erosivo acelerado quanto as problemáticas envolvidas em torno deste. É preciso reforçar as principais políticas ambientais e agrícolas, como a Política Agrícola Comum da União Européia (PAC), os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS), a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD) e a Plataforma Intergovernamental de Políticas Científicas sobre Serviços de Biodiversidade e Ecossistemas (IPBES), a continuarem desenvolvendo alternativas e metas para diminuir cada vez mais as taxas de erosão (ALEWELL, 2019).

3.1.4 Paisagem: visão sistêmica de suas potencialidades e fragilidades ambientais

Ao analisar os aspectos físicos e socioeconômicos de uma paisagem, é possível identificar suas potencialidades quanto fragilidades. Muito além disso, a paisagem permite incorporar as atividades humanas como elemento fonte de energia, criando e recriando cenários. Dessa forma, o relevo pode ser considerado uma unidade paisagística, por ser elemento visual de fácil percepção e um dos responsáveis pela estruturação do espaço, em virtude de seu papel na organização e distribuição dos elementos no espaço, possibilitando e limitando seus usos quanto aplicações (DE NÓBREGA; EDÉZIO DA CUNHA, 2011). Segundo Bertrand (1971, p. 2):

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos dispartados. É, numa determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto

instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.

É unicamente e amplamente sistêmica a concepção paisagem, superfície terrestre e erosão. É a combinação dos elementos físicos, biológicos e antrópicos que nos possibilitam compreender e relacionar a atuação do fenômeno erosivo e de seus agentes protagonistas para o delineamento das feições do relevo, como do globo terrestre. Muito além disso, são determinantes de quão benéfica ou maléfica será tal relação no ambiente em que atuam, engendrando inúmeras possibilidades (BERTRAND, 1971; CHORLEY, 1971; BERTALANFFY, 1973; CHRISTOFOLETTI, 1979).

Dentre as possibilidades, a degradação ambiental é a mais preocupante delas, sendo necessário a compreensão a respeito das formas dos processos resultantes do exercício da sociedade a intervir nos mecanismos de dinâmica natural. Isso tem direcionado os estudos de Geografia Física a um maior engajamento para com questões relacionadas à sociedade e, posteriormente, uma aproximação com as ciências sociais, e em especial com a Geografia Humana. O planejamento constitui-se em uma ação que abrange diversos parâmetros, sendo crucial a implementação do social, econômico e ambiental (GIRÃO; CORRÊA, 2004).

Nas zonas rurais a degradação e/ou impactos ambientais são mais perceptíveis, muitas das vezes derivado da falta de planejamento para o manejo das terras cultivadas, ficando em evidência pela observação as paisagens degradadas ou solos que apresentem ínfimos índices de fertilidade e demasiados processos erosivos. A intensificação de práticas agrícolas e mudanças no uso e ocupação da terra, traz consigo devastações de áreas florestais e de cerrado justamente para aproveitamento e otimização agrícola. No entanto, refletem ação sobre o ambiente muitas das vezes sem o devido comprometimento para com a manutenção das condições pré-existentes (GIRÃO; CORRÊA, 2004).

Dentre as diferentes e numerosas ações prejudiciais ao ambiente rural, a aceleração dos processos erosivos por meio de desmatamentos e até mesmo pelo mau uso do solo, compõe-se em uma das mais agressivas e nefastas ações do homem sobre um dos mais essenciais elementos do sistema natural, o solo (GIRÃO; CORRÊA, 2004; GUERRA; MENDONÇA, 2004; CUNHA; GUERRA, 2006; GUERRA; JORGE, 2012). Tendo em vista a atual conjuntura, a perda de solos é desproporcional à sua renovação e muito corriqueira. “Falar de equilíbrio dinâmico de um sistema, primeiro, nos remete a uma análise das teorias sobre evolução das formas” (FIERZ, 2015, p. 606), posteriormente, remete à desarmonia entre a natureza e a

sociedade.

O conceito de equilíbrio dinâmico de Hack (1960) originou-se dos princípios relacionados à teoria geral dos sistemas de Bertalanffy (1973), tendo como referência Gilbert (1877); Davis (1899) com suas teorias da evolução das formas na superfície terrestre. O conceito requer estado de balanço entre forças opostas de maneira que elas operem em taxas iguais e seus efeitos se anulem reciprocamente para ocasionar o estado estável, no qual, a energia está constantemente e ininterruptamente entrando e saindo do sistema (HACK, 1960; FIERZ, 2015).

O Princípio básico do sistema de Hack (1960, p. 81), é a de que “as paisagens e os processos que as formam são parte de um sistema aberto, que se encontra em estado estável de balanço”. Nessa perspectiva, “existe um balanço entre os processos de erosão e resistência das rochas” (HACK, 1960, p. 86), onde “todos os elementos são erodidos na mesma taxa” (HACK, 1960, p. 85) e “as diferenças e as características da forma são explicáveis em termos de relações espaciais, no qual os modelos geológicos são a primeira consideração” (HACK, 1960, p. 85).

Hack (1960) não apenas elaborou um modelo de mudança que sucede ao longo do tempo em virtude das variações às condições ambientais, mas, também considerou que as mudanças sucedem na mesma forma que as condições de equilíbrio variam, porém fortalece a concepção de que isso não é estritamente necessário para atribuir o tipo de mudança evolucionária antevista por Davis (1988). O equilíbrio dinâmico se tornou princípio universal empregado para as feições e as problemáticas que circundam as paisagens, pois, assume que a paisagem se desenvolve pelo contínuo desgaste (FIERZ, 2015).

Para a pesquisa em questão, as concepções de Hack (1960) sobre o balanço natural e o equilíbrio dinâmico servem para realçar a necessidade de se estabelecer a harmonia entre a perda de solo por erosão e a sua renovação. Enfatiza também que a erosão geológica passou a ser remodelada, na maioria das vezes, pela erosão acelerada devido a intensidade da atuação antrópica sobre o sistema. Fala-se muito em desenvolvimento sustentável, mas, pouco se é aplicado e o mosaico mais expressivo desta concepção são as paisagens cada vez mais drasticamente alteradas, problemáticas eminentes e até mesmo desastres naturais cíclicos.

3.2 Modelagem erosiva

De modo a evitar a continuidade da conjuntura atual, “a arte de produzir conhecimentos,

na perspectiva da sustentabilidade e da educação ambiental, está condicionada aos impactos e alternativas que possibilitam a construção de uma sociedade democrática, justa e ecologicamente sustentável” (REIGOTA, 2007). Todos os setores da sociedade devem conversar entre si, no qual, os avanços científicos devem ser implementados para preencher as lacunas que o desenvolvimento provoca na natureza. A ciência deve labutar na e para a sociedade, contrariando o cenário atual, onde a conscientização só se evidencia com a imposição da lei ou com o ganho lucrativo, em virtude do baixo interesse de parte da sociedade para a manutenção e preservação do solo.

A modelagem erosiva entra em questão como um aparato substancial de auxílio a previsão do potencial natural de erosão e na remediação da perda de solos, expressando visualmente por meio de produtos cartográficos taxas e dados de locais potencialmente sujeitos a erosão laminar, por meio do auxílio dos Sistemas de Informação Geográficos - SIG's e equações de perdas de solo. Segundo Pinheiro (2008) são inúmeros os autores que têm utilizado a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) ou *Universal Soil Loss Equation (USLE)*, estruturada por Wischmeier; Smith (1965), obtendo resultados significativos com a equação em questão. De acordo com Alewell et al. (2019) trata-se de um dos modelos mais antigos e por isso amplamente testado em diversos cenários.

O termo “modelagem” é derivado da palavra “modelo”, originada do latim *Modus*, definindo-se como medida justa ou aquilo com que se mede qualquer objeto, fenômeno ou ser (SARAIVA, 2019). A modelagem erosiva pela água possui um longo histórico diante dos primeiros estudos publicados em revistas internacionais, estipulando quase sete décadas usando conjuntos de dados norte-americanos (ALEWELL et al., 2019). A gênese de modelos do gênero USLE esteve em seus primórdios amparada pelos EUA com o intuito de ser uma ferramenta de apoio à decisão de gerenciamento e foi fundamentada em milhares de estudos controlados em parcelas de campo e pequenas bacias hidrográficas (WISCHMEIER; SMITH, 1965).

A comunidade científica labutou cotidianamente e simultaneamente para o melhoramento da aplicabilidade de modeladores erosivos. A maioria deles contém elementos categorizados com aspectos físicos e antrópicos, permanecendo atraentes do ponto de vista prático (MORGAN; NEARING, 2011; KINNELL, 2014; BORRELLI et al., 2017). “Muitos modelos matemáticos categorizados como empíricos, conceituais, baseados em física ou orientados a processos estão disponíveis para estimar a erosão do solo em diferentes escalas espaciais e temporais” (KING; DELPONT, 1993; ZHANG; O'NEILL; LACEY, 1996; TOY,

2002; JETTEN; GOVERS; HESSEL, 2003; MERRITT; LETCHER; JAKEMAN, 2003; DE VENTE; POESEN, 2005; MORGAN, 2005; VRIELING, 2006; KARYDAS; PANAGOS; GITAS, 2014 apud ALEWELL et al., 2019, p. 204, tradução nossa).

Muito antes das equações preditivas se tornarem um sucesso, os primeiros trabalhos para o desenvolvimento de equações que fossem capazes de avaliar perdas de solo em determinadas áreas iniciaram-se por volta da década de 30, mais especificamente na região de Corn Belt, nos Estados Unidos (ALEWELL et al., 2019). A partir dos anos 30, Cook (1936) conceituou o termo “erodibilidade do solo”, utilizando como base os estudos de observação de Bennett (1886); Service (1937), mensurando a erosão por meio de parcelas experimentais e de propriedades do solo (textura, estrutura, matéria orgânica e composição química), descrevendo atributos de erosão e desgaste do solo (GÓMEZ, 2012).

Baseando-se nestes estudos, Zingg (1940) publicou a primeira equação preditiva para calcular a perda de solo, correlacionando a intensidade de perdas de solo com o comprimento e grau de declividade do terreno. Laws (1940); Ellison (1944) reconheceram a chuva como fator determinante da erosão, Smith (1941), por sua vez, acrescentou-lhe os fatores de práticas conservacionistas, instituindo-se o conceito de “limite específico de perdas de solo”, com o intuito de organizar um método gráfico para instituir as práticas conservacionistas no ambiente de estudo. Browning; Parish; Glass (1947) acrescentaram os fatores de erodibilidade do solo e manejo, elaborando ainda um conjunto de tabelas para facilitar o seu emprego em campo. Musgrave (1947) exibiu a equação com variáveis de intensidade pluviométrica, tipo de solo, relevo e cobertura vegetal.

Em 1946, na região de Ohio - EUA, foi criada uma comissão nacional para predição das perdas de solo, que tinha como intuito ajustar a equação do *Corn Belt* a outros ambientes cultivados, que apresentassem até então problemáticas referentes a erosão pela chuva. Tal comissão reestudou cada fator de forma isolada e adicionou o fator chuva como parte da equação (MUSGRAVE, 1947). Este trabalho em grupo não foi apenas crucial como consumou uma nova equação, conhecida como “Equação de Musgrave”, sendo amplamente utilizada para estimativas mundiais de erosão em bacias hidrográficas BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Contudo, as equações não podiam ser expandidas a novas áreas por falta de informações básicas e de métodos para a adaptação dos valores dos fatores, esses determinados pelas disparidades na distribuição das chuvas, nos tipos de chuvas aguardadas, nas práticas agrícolas

locais, na duração do período de crescimento da cultura e outras variáveis. Finalmente, no ano de 1950 uma equação de perdas de solo foi aceita e reconhecida, com a suplantação de variadas limitações advinda das anteriores. Em 1954, a vigente equação de perdas de solo foi completamente estruturada e desenvolvida, cujo aperfeiçoamento originou-se da união e interpretação analítica dos dados essenciais de perdas de solo e de água à disposição em várias áreas dos Estados Unidos, a partir de 1950 por Wischmeier; Smith em 1965 (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; ALEWELL et al., 2019).

Segundo Bertoni; Lombardi Neto (2005, p. 249):

Essas análises determinaram várias melhorias de importância e que foram incluídas na equação, tais como: (a) um índice de erosão de chuva; (b) um método de avaliar os efeitos do manejo de uma cultura com vistas às condições climáticas locais; (c) um fator quantitativo de erodibilidade do solo; (d) um método de que lava em conta os efeitos de interpelações de certas variáveis, tais como nível de produtividade, sequência de culturas e manejo dos resíduos.

E apesar de que Wischmeier; Smith (1965) sejam comumente mencionados como os criadores da equação preditiva, o desenvolvimento do conceito de modelagem e até mesmo seu desenrolamento iniciaram-se muito antes, sendo a equação de perdas de solos a consequência de 20 anos de estudos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; ALEWELL et al., 2019). Wischmeier; Smith (1965) na verdade, junto de figuras, tabelas e equações para todos os cinco fatores da USLE, publicaram um guia explicando a aplicação e o seu uso minuciosamente. Este guia foi divulgado pelo *US National Runoff and Soil Loss Data Center*, em colaboração entre o Serviço de Pesquisa Agrícola e a *Purdue University*, o que derivou da análise estatística de mais de 10.000 anos-plot de dados de escoamento pluvial e perda de solo.

No Brasil, os primeiros trabalhos utilizando a equação de perdas de solo foram desenvolvidos por Bertoni; Lombardi Neto; Benatti Jr. em 1975 empregando dados existentes para as condições do Estado de São Paulo. A partir desta data, outros muitos autores vêm utilizando e aplicando a equação preditiva EUPS e suas variáveis com o intuito de avaliar os fatores da equação em outras regiões do Brasil. Dentre os autores nacionais, muitos podem ser citados, pois, obtiveram eficácia e satisfatoriedade nas pesquisas desenvolvidas em território brasileiro, sendo até então reconhecidos como autores de maior ênfase em estudos de modelagem erosiva e perdas de solo no país.

Tavares (1986) foi o primeiro a aplicar a EUPS em bacias hidrográficas, sendo considerado pioneiro em tal procedimento. Nessa temática, maior parte da produção científica foi publicada a partir de 1990, tendo Chaves (1991), Campos Filho et al. (1991), Margolis; Glindo; Netto (1991), Sparovek et al. (1991) citados por Barreto (2007) como precursores da aplicação da EUPS neste período, implementando, impulsionando e promovendo estudos de modelagem, integrando as variáveis envolvidas no processo erosivo do solo como meio de diagnóstico preditivo de ênfase ambiental.

Carvalho (1994) abordou sobre os conceitos de erosão hídrica, transporte de sedimentos e deposição nos cursos d'água, enfatizando os modos de medição na natureza e tratamento dos dados obtidos, aplicados em bacias hidrográficas e em reservatórios. Bueno (1994) produziu uma Carta de Expectativa à Erosão, apresentando resultados qualitativos da interação entre os dados de potencial natural à erosão com os dados de ocupação do solo. Cunha (1997) quantificou as perdas de solo seguindo os apontamentos clássicos, contudo, aplicou o mapeamento de feições de vertente para estimar as perdas de solo para cada feição mapeada, minimizando a generalização da EUPS com as formas de vertentes.

Souto (1998) desenvolveu uma análise espacial e temporal da produção de sedimentos em microbacia rural com o modelo AGNPS (*Agricultural Nonpoint Source*) e técnicas de SIG's (Sistema de Informações Geográficas). Marcomin (2002) realizou a análise ambiental de uma bacia hidrográfica por meio da caracterização e diagnóstico dos fatores paisagísticos (altitude, declividade, rede viária, uso da terra e tipo de solo) e perda de solo por erosão empregando a EUPS. Burin (1999) empregou a EUPS junto ao programa Idrisi, determinando que a qualidade dos solos e as técnicas de manejo utilizadas na bacia estudada propiciaram baixa perda de solos. Oliveira (2000) estudou a modelagem erosiva por meio da dinâmica do uso da terra.

Veniziani Júnior (2004) utilizou índices de vegetação para estimativa de proteção do solo, empregando a EUPS. Minoti (2006), por sua vez, trabalhou com a quantificação de erosão, da produção de sedimentos e de alguns parâmetros do ciclo hidrológico por compartimento de bacia hidrográfica, utilizando a EUPS e SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Pinheiro (2008) consistiu em estimar o Potencial Natural à Erosão Laminar (PNE) e a perda de solo por meio da EUPS, e em analisar os processos geomorfológicos atuantes na área de estudo. Fernandes (2008) utilizou sensoriamento remoto para analisar as variações do uso da terra na perda de solo em assentamentos agrários por meio da EUPS.

Pereira (2010) empregou o uso do geoprocessamento e do sensoriamento remoto para

elaboração de dados para a modelagem erosiva, contudo, utilizou como aparato a MEUPS. Destarte, muitos outros autores podem ser citados, por terem não apenas atingindo o êxito em seus estudos, mas, por conseguirem em cada uma das pesquisas identificar novas observações sobre o uso e aplicações das equações preditivas, sejam elas favoráveis ou desfavoráveis. Pinheiro (2012) desenvolveu estudos sobre a dinâmica erosiva e a inter-relação entre os segmentos da vertente e as formas das mesmas, assim como, a variação de perdas de solo de acordo com os setores da alta, média e baixa vertente utilizando modelo EUPS.

3.2.1 Considerações sobre o uso e a aplicabilidade do modelo EUPS

O método EUPS, assim como qualquer outro método também possui limitações, essas abordadas em inúmeras publicações e trabalhos de cunho científico. Dentre as deficiências, certamente a que mais chama a atenção é a não simulação da deposição do solo (sedimentação) e que, geralmente, não existem também dados medidos o bastante para estipular precisamente fatores únicos para todas as situações e cenários precedentes (WISCHMEIER; SMITH, 1965, 1978). Dessa forma, é uma equação que superou as limitações climáticas e geográficas, se levados em consideração a origem de seus primeiros estudos e, por ser um modelo generalizado denominou-se *Universal Soil Loss Equation – USLE* (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; ALEWELL et al., 2019).

Outra limitação apontada diz respeito ao método empírico, no qual, o empirismo não proporciona a extrapolação para o campo, uma vez que, as circunstâncias experimentais dispõem de escalas muito menores e condições extremamente características para o ambiente de experimento (STOCKING, 1980). Contudo, a concepção deste modelo não apenas se fundamenta na descrição e simulação, mas “na compreensão de um processo, capturando os parâmetros *mensuráveis* confusos e delineando um algoritmo matemático da relação entre esses parâmetros e a saída medida (neste caso, medida corroída de sedimentos)” (ALEWELL et al., 2019, p. 210, tradução nossa).

“A EUPS tem sido usada em todo o mundo (Figura 2) para uma variedade de propósitos e sob muitas condições diferentes, simplesmente porque parece atender melhor à necessidade do que qualquer outra ferramenta disponível” (RISSE et al., 1993, p. 826). Tal modelagem é uma parametrização parcimoniosa tão amplamente empregada em todo globo terrestre pela sua simples e alta capacidade de flexibilidade e acessibilidade aos dados, tendo ao seu favor extensa

literatura científica, comparabilidade de resultados, permitindo adequar o modelo a quase todos os tipos de condições e regiões geográficas, assim como significativa importância para estudos de ênfase ambiental (WISCHMEIER; SMITH, 1965, 1978).

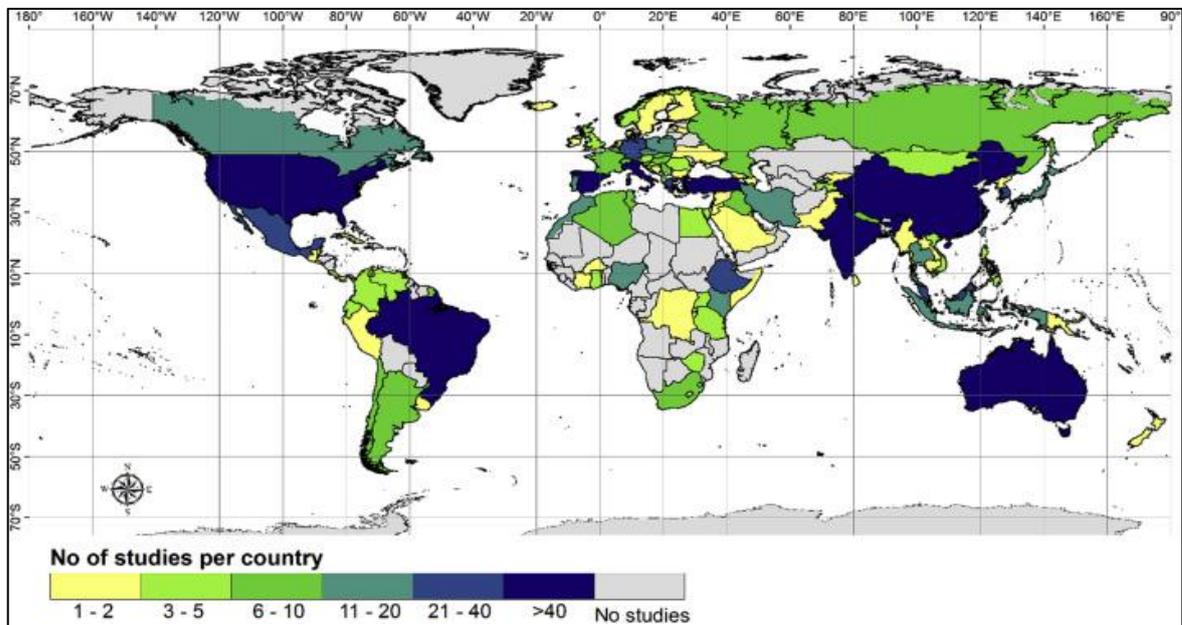


Figura 2 - Artigos publicados por meio de modelagem USLE ou RUSLE no período de 40 anos (1977 a 2017) demonstrado em distribuição geográfica

Fonte: Alewell et al., 2019

Por isso, atualmente, a Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS e a Equação Universal de Perdas de Solo Revisada – REUPS (Figura 3), são de longe os modelos de previsão de erosão do solo mais amplamente aplicados em quase todos os continentes (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; ALEWELL et al., 2019). Os modelos de erosão possuem a tendência de apresentar maior ênfase para a representação dos processos físicos propícios a tal fenômeno, no qual, estes por sua vez tendem a uma explícita representação da área onde a erosão sucede e retratam o espaço de modo bastante simplificado (JETTEN; GOVERS; HESSEL, 2003).

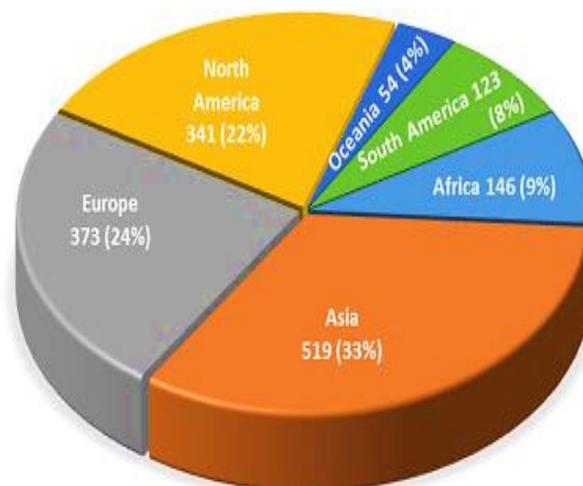


Figura 3 - Número de estudos por continente junto a porcentagem do número total de publicações (1977 a 2017)
 Fonte: Alewell et al., 2019

Sua impulsão deve-se também bastante pelo advento dos Sistemas de Informação Geográfica – SIG’s (JETTEN; GOVERS; HESSEL, 2003), “que permitem e facilitam a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem” (PINHEIROS; CRIVELARO, 2018, p. 39). Tal ferramenta fragmenta a informação em diferentes camadas temáticas e armazena-as de forma independente, possibilitando trabalhar com dados isolados ou correlacionados de modo rápido e simples, permitindo associar a informação existente por meio da posição e topologia dos objetos, tendo como finalidade o engendramento de novas informações.

A utilização das equações preditivas (Quadro 1) e dos Sistemas de Informação Geográfica – SIG’s, pode ser tanto acadêmica como aplicada, a depender dos objetivos almejados. No entanto, na maioria das vezes os estudos brasileiros partem de instituições acadêmicas com o intuito de estudar áreas possíveis de sua aplicação, como aparato de inovação e desenvolvimento de novas técnicas para o planejamento ambiental.

Segundo Minella et al., (2010) os propósitos acadêmicos estão relacionados com a possibilidade de compressão e descrição dos mecanismos do fenômeno erosivo. Por sua vez, com o propósito aplicado, os modelos são empregados para prever a perda de solos por erosão e identificar áreas possíveis de serem afetadas por esse processo. Ambos podem ser aplicados juntos, mas não necessariamente dependem um do outro.

Quadro 1: Exemplos de utilização acadêmica e aplicada dos modelos preditivos de erosão

Utilização acadêmica	Utilização aplicada
<ul style="list-style-type: none"> • Representar os diferentes tipos de erosão e suas interações; • Analisar os processos de destacamento das partículas da massa de solo, transporte das partículas e deposição dos sedimentos erodidos, em função das características da chuva, do solo, do relevo e cobertura vegetal; • Analisar os mecanismos de conexão entre os processos erosivos nas vertentes e na rede fluvial; • Avaliar em que nível de discretização do meio físico é possível representar os processos erosivos e hidrológicos em diferentes escalas e condições. 	<ul style="list-style-type: none"> • Calcular as taxas de erosão para avaliar as perdas do potencial produtivo dos solos, a degradação dos solos e os impactos econômicos; • O planejamento integrado de bacias hidrográficas com vistas à preservação dos recursos hídricos e à manutenção do potencial produtivo dos solos; • Demonstrar previamente os efeitos da alteração do uso e do manejo dos solos sobre o volume de escoamento superficial e a taxa de erosão.

Fonte: Adaptado de Linella et al., (2010)

Dentre os modelos para avaliar a erosão hídrica, podem ser citados: USLE: *Universal Soil Loss Equation*; RUSLE: *Revised Universal Soil Loss Equation*; MUSLE: *Modification Uniserval Soil Loss Equation*; SLEMSA: *Soil Loss Estimation Model for Southern Africa*; WEPP: *Water Erosion Prediction Project*; EPIC: *Erosion Productivity Impact Calculator*; AGNPS: *Agricultural Nonpoint Source*; GLEAMS: *Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems*; CREAMS: *Chemical Runoff Erosion Assessment Management System*. Esta gama de possibilidades é representada por modelos matemáticos, constituídos pelas variações de tipos de solo, vegetação nativa ou artificial (culturas), presença de água no solo e no ambiente, variação pluviométrica, clima, dentre outros.

Modelos matemáticos, sejam eles físicos, estatísticos, teóricos, etc., são muito empregados em campos científicos e da atividade humana, como: Matemática, Geografia, Economia, Física, Química, Biologia, Psicologia, Astronomia, Engenharias, dentre outros. Isso ocorre porque muitos problemas práticos necessitam de modelos matemáticos, pois, os cenários e situações decorrentes são amplamente heterogêneos, no entanto, a abordagem e a filosofia subjacentes são as mesmas. Por exemplo, o estudo de análise ambiental nas proximidades de um rio, a forma da asa de uma aeronave, um sistema econômico ou manejo agrícola, uma análise populacional e até mesmo um sistema matemático são um conjunto de números naturais (SODRÉ, 2007).

“Os modelos podem ser usados para dois fins: testar resultados teóricos e simular

condições naturais” (PENTEADO, 1978, p. 3). Há uma forma matemática unificada que ampara várias teorias científicas e congruentemente matemáticas, na qual tais técnicas podem ser apresentadas como Dinâmica Geral, que tem se desenvolvido em áreas conhecidas como: Teoria de Sistemas e Teoria de Controle, como é o caso do Cálculo Diferencial e Equações Diferenciais, que facilitam o progresso em estudos e trabalhos com problemas referentes a modelagem (SODRÉ, 2007).

As informações e dados aqui levantados evidenciam e enfatizam o modelo EUPS como viável a ser empregado. Não obstante, “devem ser reconhecidas as limitações quanto aos valores absolutos que esta pode apresentar e a necessidade de uma avaliação qualitativa dos resultados, tendo em vista que a dinâmica geomorfológica não é agregada ao modelo” (PINHEIRO, 2008, p. 47). Nesse sentido, associa-se tais valores e dados qualitativos com os elementos físicos da área e como eles podem ajudar no estudo da fragilidade erosiva de bacias hidrográficas e do estudo em questão.

Verificou-se a importância da modelagem erosiva e de suas difusas e profundas equações preditivas, ratificando a excelência de seu método e dos estudos que por meio desse são amparados, não esquecendo, obviamente, de seus pormenores e limitações, que são tão singelos e pequenos se comparado a grandiosidade das equações matemáticas. A seguir, abordar-se-á a aplicação da EUPS e as difundidas MUSLE e RUSLE de forma aprofundada, bem como os fatores que integram as referidas equações, em seus respectivos capítulos.

3.3 Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)

Reiterando, a taxa de erosão de um ambiente específico é determinada pela forma intrínseca em que os níveis das múltiplas variáveis físicas e antrópicas são combinados. As equações erosivas de solo foram desenvolvidas e aprimoradas para permitir que índices preditivos de perda de solo e potencial erosivo fossem capazes de expressar taxas qualitativas e quantitativas, de forma espacial e em suas mais diversas escalas, evidenciando nos ambientes e nos mais diversos cenários dados de erosão acelerada por meio de equações matemáticas (WISCHMEIER, 1962, 1971; WISCHMEIER; SMITH, 1958, 1965, 1978). Segundo Gómez (2012, p. 22) “a formula USLE é empregada pela multiplicação de coeficientes empíricos dos fatores influentes apresentados na equação”, sendo eles:

$$A = R_x K_x L_x S_x C_x P$$

Onde, de acordo com Bertoni; Lombardi Neto, (2005, p. 250) podem ser descritos como:

A = perda de solo calculada por unidade de área, ton./ha;

R = fator chuva: índice de erosão pela chuva, (MJ/ha.mm/ha);

K = fator erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25 m, ton/ha/ (MJ/ha.mm/ha);

L = fator comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25m para o mesmo solo e grau de declive;

S = fator grau de declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa;

C = fator uso e manejo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator **K** é avaliado;

P = fator prática conservacionista: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo.

Segundo Pinheiro (2008, p. 48) esta equação pode ser dividida em dois grupos de variáveis:

R, K, L, S: relacionados às características naturais da área em estudo; **C, P**: relacionados às formas de ocupação e uso da terra, derivados da interferência humana.

3.3.1 Fatores que afetam as perdas de solo

3.3.1.1 Fator de Erosividade da Chuva (R)

O fator R, desenvolvido por Wischmeier; Smith (1978), estima o fenômeno erosivo proveniente de precipitações pluviométricas, quando as gotas de água da chuva atingem a superfície e impactam o solo nu em termos de energia cinética, medindo em unidade de energia (MJ/ha.mm/ha). Em outras palavras, “o fator R é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção”

(BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005, p. 250).

Originalmente, o fator R é obtido pelo cálculo do Índice de Energia da chuva para 30 minutos (EI30), em eventos superiores a 12.5 mm ou chamados “eventos erosivos”. Os eventos erosivos são nada mais do que chuvas torrenciais, conhecidas popularmente por chuvas intensas que desaguam em curto período de tempo, no caso em questão, 30 minutos. Os valores pluviométricos são registrados por meio de pluviógrafos, quando os dados da chuva são transpostos em gráficos (pluviografia), caracterizando cada uma destas e seu comportamento temporal (WISCHMEIER; SMITH, 1978; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; GÓMEZ, 2012).

O cálculo da energia cinética da chuva depende, primeiramente, do tamanho das gotas e da velocidade final de impacto. A intensidade total da precipitação é tida pela quantidade de água que desagua em cada evento (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Extensivas pesquisas com dados de perdas de solo correlacionados as características pluviométricas, evidenciaram que quando os fatores, exceto o da chuva, permanecem constantes, as perdas de solo provocadas pelas chuvas em áreas cultivadas são propriamente equivalentes ao valor do produto de dois atributos de chuva: sua energia cinética total e sua intensidade máxima em 30 minutos (WISCHMEIER; SMITH, 1958).

Esse produto, simboliza a interação que calcula o efeito de como a erosão por impacto, salpico e turbulência se combinam com a enxurrada para transportar as partículas do solo desprendidas. O produto da energia cinética pela intensidade ou também conhecido como valor EI – Índice de erosão, é legitimado como a melhor relação disponível para medir a potencialidade erosiva da chuva (WISCHMEIER; SMITH, 1959 *apud* BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). As gotas de chuva são aqui caracterizadas de acordo com Foster et al. (1981) como energia decorrente do movimento. Essa energia cinética é representada em Megajoule/hectare-milímetros de chuva, e seus valores são expressados pela equação:

$$E c = 0,119 + 0,0873 \log I$$

Onde, de acordo com Bertoni; Lombardi Neto, (2005, p. 252) podem ser descritos como:

E c = energia cinética em Megajoule/ha-mm;

I = intensidade da chuva em mm/h.

Considerando, segundo Wischmeier; Smith (1978) que as gotas de precipitação pluviométrica de tamanho médio não tendem a aumentar quando a intensidade de chuva excede valor de 76mm/ha, esse valor é o limite superior do campo de definição da variável I, sendo segundo Bertoni; Lombardi Neto (2005) a energia cinética igual a 0,283 MJ/ha-mm. O quadro 2 expressa os valores da energia cinética da precipitação natural, auferidos com a utilização da equação anteriormente citada, para os inúmeros referentes aos valores de intensidade pluviométrica. Os valores de intensidade máxima em 30 minutos são calculados pelos diagramas de pluviógrafos.

Quadro 2: Energia cinética da chuva expressada em Megajoule por hectare, milímetro de chuva

Intensidade mm/h	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0,000	0,032	0,058	0,073	0,084	0,093	0,100	0,105	0,111	0,115
1	0,019	0,123	0,126	0,129	0,132	0,134	0,137	0,139	0,141	0,143
2	0,145	0,147	0,149	0,151	0,152	0,154	0,155	0,157	0,158	0,159
3	0,161	0,162	0,163	0,164	0,165	0,166	0,168	0,169	0,170	0,171
4	0,172	0,172	0,173	0,174	0,175	0,176	0,177	0,178	0,178	0,179
5	0,180	0,181	0,182	0,182	0,183	0,184	0,184	0,185	0,186	0,186
6	0,187	0,188	0,188	0,189	0,189	0,190	0,191	0,191	0,192	0,192
7	0,193	0,193	0,194	0,194	0,195	0,195	0,196	0,196	0,197	0,197
8	0,198	0,198	0,199	0,199	0,200	0,200	0,201	0,201	0,201	0,202
9	0,202	0,203	0,203	0,204	0,204	0,204	0,205	0,205	0,206	0,206
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,206	0,210	0,213	0,216	0,219	0,222	0,224	0,226	0,229	0,231
20	0,233	0,234	0,236	0,238	0,239	0,241	0,243	0,244	0,245	0,247
30	0,248	0,249	0,250	0,252	0,253	0,254	0,255	0,256	0,257	0,258
40	0,259	0,260	0,261	0,262	0,262	0,263	0,264	0,265	0,266	0,267
50	0,267	0,268	0,269	0,270	0,270	0,271	0,272	0,272	0,273	0,274
60	0,274	0,275	0,275	0,276	0,277	0,277	0,278	0,278	0,279	0,280
70	0,280	0,281	0,281	0,282	0,282	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283
80	0,283									

Fonte: Bertoni; Lombardi Neto (2005)

O índice de erosão EI_{30} , é de acordo com Bertoni; Lombardi Neto, (2005, p. 252) é dado pelo produto:

$$EI_{30} = Ec \times I_{30}$$

Onde:

EI_{30} = índice de erosão em Megajoule/hectare multiplicado por milímetros/hora;

Ec = energia cinética da chuva;

I_{30} = intensidade máxima em 30 minutos, em milímetros/hora.

A soma dos valores de EI é realizada para cada chuva, de forma isolada e em determinado período, proporcionando dentro daquele período um diagnóstico numérico. A soma de todos os valores de EI para precipitações pluviométricas maiores que 10 mm, ou

inferiores que acarretaram notável perda de solo, desaguadas em um ano, em dado local, geram o valor anual de EI. Dessa forma, o valor de R da equação, para dado local, representa a média dos valores anuais de EI para um longo período de tempo, de no mínimo 20 anos ou mais (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). É considerado o índice mais utilizado no Brasil devido as características climáticas do país.

Quando se almeja estimar as perdas anuais médias de solo, o fator R corresponde ao valor médio do índice de erosão anual para o respectivo local. Outro método utilizado para estimar as perdas de solo é por meio de chuva individual ou por períodos usando o valor apropriado de R. No entanto, são escassos ou até mesmo inexistentes em algumas regiões do país análises feitas por diagramas de pluviógrafos, referentes a energia cinética, as quais são extremamente extenuantes e morosas, fazendo com que inúmeros pesquisadores buscassem correlacionar o índice de erosão com fatores climáticos, estes por sua vez, de fácil medida e que não necessitam de registros de intensidade de chuva (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Segundo Irvem; Topaloglu; Uygur (2007) o Índice de Fournier (IF) empregado por Arnoldus em 1977, é uma ferramenta que auxilia no cálculo da erosividade, utilizando dados de pluviômetros para a produção de dados erosivos, tendo como base dados climáticos. Essa equação foi aplicada a princípio no Norte da América e no Leste da África, engendrando expectativas sobre seu uso e alterações posteriores para tal índice. Para o Brasil, o IF possibilita que pesquisadores produzam diferentes equações de correlação com dados do fator R obtidos por meio de pluviógrafo, para as diferentes regiões do país, em distintas escalas, podendo dessa forma encontrar inúmeros valores e equações de R (SILVA, 2004). O Índice de Fournier (IF) é expressado pela equação:

$$IF = \frac{\sum_{i=1}^{12} 2p_i^2}{P}$$

Onde, de acordo com Silva (2004, p. 253) podem ser descritos como:

IF = índice de energia;

P₁ = média mensal de precipitação;

P = média anual.

A estipulação dos valores da erosividade (fator R), em um período anual, propicia detectar os meses nos quais a perda de solo e água são mais consideráveis e por esta razão desempenha função importante no planejamento de práticas conservacionistas, baseadas na

máxima cobertura do solo em períodos críticos de maior capacidade erosiva das precipitações pluviométricas (WISCHMEIER; SMITH, 1978; HUDSON, 1995). A incumbência desse fator representa a variabilidade espacial, em que, pretende-se definir a distribuição espacial da erosividade de precipitações em determinada região. Para o Estado de Minas Gerais autores como: Val (1985), Antunes (1986), Moreira (2002), Aquino (2005), Oliveira (2006), Viola (2006), Mello et al. (2007) desenvolveram pesquisas sobre o comportamento espacial e temporal das chuvas e diagnósticos sobre os índices de erosividade por meio das mesmas no estado e municípios mineiros.

Val (1985) aplicou o índice de erosividade das chuvas no município de Lavras (MG), Antunes (1986) realizou a caracterização climática do Estado de Minas Gerais, Moreira (2002) elaborou pesquisas sobre a distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno, Aquino (2005) usou a variabilidade da erosividade de acordo com os padrões de chuva para o Sul de Minas Gerais. Oliveira (2006) desenvolveu estudos de erosão hídrica em áreas florestais no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais, Viola (2006) estudou o comportamento espacial e temporal de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais e Mello et al. (2007) trabalhou com análises da erosividade mensal e anual referentes as chuvas no estado de Minas Gerais.

Conclui-se sobre o fator erosividade da chuva R, que mesmo sendo aplicado de forma isolada ou em conjunto com os outros fatores da USLE, o mesmo ampara estudos de ênfase ambiental relacionados com a fragilidade erosiva por meio de precipitações pluviométricas ocorridas em determinados ambientes por meio da intensidade e duração do fenômeno atmosférico, obtendo êxito na composição dos modelos matemáticos e no seu próprio uso, normalmente acadêmicos e até mesmo aplicados.

3.3.1.2 Fator de Erodibilidade do Solo (K)

O fator de erodibilidade do solo K, também conhecido como apenas fator K, é conceituado como “o efeito integrado de processos que regulam a recepção da chuva e a resistência do solo para desagregação de partículas e o transporte subsequente” (ELLIOT; LAL, 1994 *apud* GÓMEZ, 2012, p. 24). Contudo, a conceituação de “erodibilidade do solo” é dessemelhante do termo “erosão”. Pois, o fator K representa a resistência natural do solo a ser erodido (ICKIS; RIVERA, 1997), mostrando que solos dessemelhantes sofrem com diferentes taxas de erosão nas mesmas situações de igualdade nos demais fatores (KIRKBY; MORGAN,

1984).

Sabe-se que alguns tipos de solo são mais facilmente e naturalmente erodidos que outros, mesmo quando a chuva, o declive, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são aplicadas de forma idêntica. Essa diferença explícita é ocasionada pelas propriedades inerentes ao solo e denomina-se como erodibilidade do solo. A intensidade do fenômeno erosivo de determinada área pode ser influenciada, sobretudo, pelo declive, pelas propriedades pluviométricas e cobertura vegetal e manejo — do que propriamente pelas propriedades do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

“Os estudos sobre índices de erodibilidade consideram características físicas do solo observadas em campo, relativas à agregação, estabilidade de agregados, capacidade de infiltração e retenção, entre outros” (GÓMEZ, 2012, p.24). As propriedades do solo que propiciam a erodibilidade pela água são principalmente aquelas que: afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento hídrico; resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte gerados por precipitações pluviométricas e escoamento superficial (WISCHMEIER; SMITH, 1965).

“O fator de erodibilidade do solo K tem seu valor quantitativo determinado experimentalmente em parcelas unitárias, sendo expresso, como a Perda de Solo A por unidade de Índice de Erosão da Chuva EI” (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005, p. 258). Uma das metodologias empregadas para obtenção de estimativas da erodibilidade, consiste na correlação entre a erosividade da chuva (fator R) e as perdas de solos por meio de observações em parcelas experimentais com precipitação simulada. Sua aplicação consiste na vantagem de acelerar o adquirecimento de dados cruciais a respeito de práticas de manejo do solo e culturas, objetivando a conservação tanto do solo como da água (WISCHMEIER, et al., 1971).

As parcelas unitárias possuem comprimento e declividade uniforme em alqueive, no qual, os valores são escolhidos arbitrariamente como termo de comparação. No entanto, há estudos que estimaram medidas usadas em equações de perdas de solo porque, de certa forma, representam as dimensões mais comuns nos estudos de perdas por erosão. Estes estudos foram realizados no Estado de São Paulo (local onde se concentra o maior número de publicações referentes a modelagem erosiva), pelo Instituto Agrônomo de Campinas – Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo. Os valores da parcela unitária, dessa forma, são: 25m de comprimento e declividade uniforme de 9% em alqueive (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

No Brasil, ainda são incipientes as pesquisas correlacionadas com a erodibilidade do solo, devido a vagarosidade para aquisição dos resultados dos experimentos realizados com precipitações pluviométricas naturais. Tal fato é prejudicial para o conhecimento das taxas de erodibilidade, fator importantíssimo para o planejamento conservacionista e principalmente para a sustentabilidade dos solos (SILVA et al, 2009). E como apresentado, a possibilidade de estudos de erodibilidade em parcelas experimentais empregando métodos de simulação podem ser usados para buscar aumentar os dados do fator K, contudo, as melhores estimativas são obtidas por meio de escoamento natural, realizados em períodos longos e nas condições adequadas de terreno (ROMKENS, 1985).

“Face às dificuldades apresentadas quanto à instalação de parcelas de perdas de solo no campo, custo e morosidade para determinação da erodibilidade, muitos autores têm buscado desenvolver modelos visando sua estimativa de maneira direta” (EDUARDO, 2012, p. 9). Wischmeier et al. (1971) foi pioneiro em desenvolver um método eficaz de estimativa da erodibilidade do solo. Este, por sua vez, consiste em uma apresentação gráfica (Nomograma), baseado na combinação dos atributos físicos dos solos (textura, estrutura e permeabilidade) com porcentagem de matéria orgânica (Figura 4).

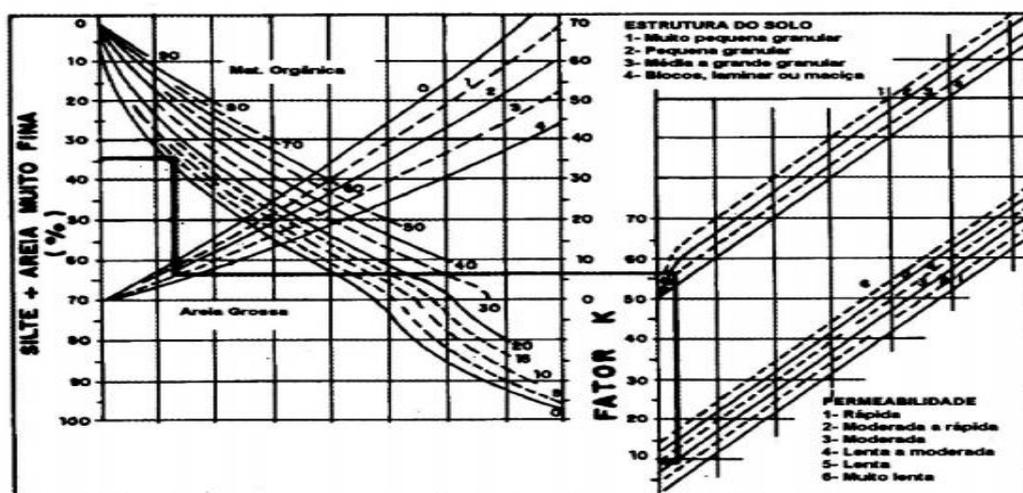


Figura 4 - Nomograma de Wischmeier; Smith
Fonte: Wischmeier et al. (1971)

O nomograma de Wischmeier; Smith (1978) é apenas indicado para casos específicos, não sendo recomendado para fração silte acima de 70%. De acordo com a EMBRAPA (2006), o nomograma não é indicado também para estimativas do valor K de Latossolos do Cerrado. Pois, o método subestima o valor em solos com alto teor de argila, sendo necessário mais dados

de K mensurados na região para possibilitar o refinamento e andamento de métodos indiretos de estimativa mais confiáveis desse fator da USLE. “Estimativas indiretas, com base no nomograma ou outras relações de predição de propriedades do solo devem ser cuidadosamente consideradas em relação ao tipo de solo para a qual essas relações foram derivadas” (EDUARDO, 2012, p. 9).

Um estudo realizado por Silva et al. (2000) teve como intuito avaliar métodos indiretos para determinação da erodibilidade (K) de Latossolos brasileiros (Quadro 3), testando vinte e três métodos, de forma ajustada, para que a erodibilidade fosse expressa no Sistema Internacional de Unidades (SI). Foram obtidas amostras do horizonte A de Latossolos de várias regiões geográficas do Brasil, determinadas por métodos diretos em parcelas experimentais sob chuva natural ou simulada. A conclusão do estudo revelou que nenhum dos 23 métodos testados é recomendável para a estimativa da erodibilidade do conjunto dos Latossolos estudados, sendo necessário o desenvolvimento de modelos específicos para este grupamento de solos.

Quadro 3 - Modelos indiretos de estimativa da erodibilidade (fator K)

Autores	Modelos indiretos	Modelos aplicados
Dumas (1965)	Modelos para solos da Tunísia	(I), (II), (III), (IV), (V)
Wischmeier et al. (1971)	Modelo desenvolvido para a região do Meio-Oeste dos EUA	(VI)
Roth et al. (1974)	Modelo para subsolos argilosos dos EUA	(VII)
Lombardi Neto; Bertoni (1975), baseado em Middleton (1930)	Modelo de relação de erosão	(VIII)
El-Swaify; Dangler (1977)	Modelos desenvolvidos para solos do Havaí (EUA)	(IX), (X)
Römkens et al. (1977)	Modelos desenvolvidos para subsolos argilosos dos EUA	(XI), (XII), (XIII)
Paez (1989)	Modelo para solos da Venezuela	(XIV)
Lombardi Neto; Bertoni (1975), mod. por Lima et al. (1990)	Modelo de relação de erosão	(XV)
Lima et al. (1990)	Modelo adap. do método anterior para Latossolos brasileiros	(XVI)
Denardin (1990)	Modelos para solos do Brasil	(XVII), (XVIII)
Roloff; Denardin (1994)	Modelos para solos do Estado do Paraná	(XIX), (XX)
Roloff; Denardin (1994)	Modelo para Latossolos (horizonte Bw) e Areias Quartzosas do Estado do Paraná	(XXI)
Roloff; Denardin (1994)	Modelo para solos Podzólicos e Terra Roxa Estruturada (horizonte Bt) do Estado do Paraná	(XXII)
Chaves (1994)	Modelo desenvolvido para os solos da região do Vale do Rio São Francisco	(XXIII)

Fonte: Modificado de Silva et al. (2000)

Por isso, é de fundamental importância para análise do fator K, o conhecimento dos modelos indiretos aplicados e dos tipos de solos, no qual, os mesmos precisam se compatibilizar para que os resultados sejam os mais pertinentes. Essa problemática é recorrente na maioria dos modelos de análise que compõem os fatores do tipo USLE, por serem métodos desenvolvidos em outros países, com outras características, circunstâncias e cenários. Na maioria deles, existem adaptações até mesmo para as heterogêneas regiões do Brasil e de certa forma estão continuamente sendo melhoradas para que os modelos possam ser empregados em muitas outras regiões do globo terrestre.

O estudo citado anteriormente enfatiza que, por mais que haja adaptações ou até mesmo a aplicabilidade dos métodos originais, não significam que eles fornecerão dados satisfatórios, eles podem, contudo, oferecer uma estimativa aproximada. Há outros inúmeros modelos indiretos que não foram apresentados nessa composição e, por isso, tais resultados apresentados não podem ser generalizados. Deve-se levar em consideração também o período do estudo, constituindo duas décadas desde sua publicação e possíveis avanços técnico-científicos desde a data de sua publicação.

Nessa perspectiva, dentre os autores brasileiros que aplicaram o método de erodibilidade da chuva (fator K), destacam-se: Freire; Pessotti (1974), Lombardi Neto; Bertoni (1975), Montenegro (1976), Scopel (1977) Angulo (1983), Dedecek; Resk; Freitas Júnior (1986), Denardin (1990), Marques et al. (1997), Silva (1997). Para o Estado de Minas Gerais temos: Oliveira; Bahia (1984), Lima (1987), Muggler (1998), Lima; Andrade (2001). A maioria destes estudos trouxeram para o país inovação e pioneirismo em estudos de erodibilidade, erosão e planejamento ambiental, fazendo com que outros muitos fossem desenvolvidos.

Freire; Pessotti (1974), Lombardi Neto; Bertoni (1975) aplicaram pesquisas sobre erodibilidade dos solos do Estado de São Paulo, Montenegro (1976) realizou estudos sobre as características físicas e fator de erodibilidade de solos da depressão central do Rio Grande do Sul, assim como Scopel (1977) que analisou as características físicas de solos da região litoral-norte do Rio Grande do Sul. Angulo (1983) trabalhou com as relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros, Dedecek; Resk; Freitas Júnior (1986) compararam as perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-Escuro em diferentes cultivos sob chuva natural.

Denardin (1990) avaliou a erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos, Marques et al. (1997) trabalhou com a adequação de métodos indiretos para

estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil, Silva (1997) correlacionou a erosividade da chuva com a proposição de modelos para estimar a erodibilidade de Latossolos brasileiros. Para o Estado de Minas Gerais, Oliveira; Bahia (1984) avaliou a erodibilidade de seis solos do município de Lavras, usando o nomograma de Wischmeier et al. (1971), Lima (1987) desenvolveu pesquisas referentes a perdas de solo e água em dois Latossolos sob cerrado, com diferentes preparos e chuva simulada, Lima; Andrade (2001) estudaram a erodibilidade entressulcos e atributos de solos com B textural e B latossólico do Sul de Minas Gerais.

Conclui-se sobre o fator de erodibilidade do solo K, que mesmo sendo aplicado de forma isolada ou em conjunto com os outros fatores da EUPS, ampara estudos de ênfase ambiental relacionados a fragilidade erosiva por meio de precipitações pluviométricas ocorridas em determinados ambientes, avaliando a erodibilidade por meio dos tipos de solos, declive, pelas propriedades pluviométricas e cobertura vegetal e manejo. Destarte, um erro muito comum é confundir o fator K com o fator R, sendo que os mesmos apresentam características muito distintas de análise, sendo semelhantes apenas quando buscam estimar taxas de perdas de solo e potencial natural de erosão, obtendo êxito na composição dos modelos matemáticos e no seu próprio uso, normalmente acadêmicos e até mesmo aplicados.

3.3.1.3 Fator Comprimento e Grau de Declive (LS)

A intensidade de erosão pela água segundo Beskow et al. (2009) é fortemente afetada tanto pelo comprimento do declive, como pelo seu gradiente. Esses dois efeitos são pesquisados de forma isolada e representados na equação de perda de solo EUPS por L e S, respectivamente (WISCHMEIER; SMITH, 1965). O comprimento de rampa (fator L) refere-se a distância do ponto de origem da gota de água da chuva até o local onde a mesma, interligada ao escoamento superficial, diminui sua energia cinética e sedimenta em vertentes de vale, ou quando caminha ao encontro de um canal definido, podendo ser parte de uma rede de drenagem ou terraço (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Já o fator declividade (fator S), caracteriza-se pelo ângulo ou o índice de inclinação do terreno (FARINASSO et al., 2006).

“O fator LS interfere na dinâmica erosiva através do comprimento da vertente e da inclinação do relevo, sendo fatores fundamentais para a compreensão do processo do escoamento hídrico superficial” (PINHEIRO; CUNHA, 2011, p. 12). “A importância da

extensão da vertente e da declividade do relevo está no fato de que são determinantes no fluxo de matéria e energia, que por sua vez determinarão a intensidade da capacidade erosiva” (PINHEIRO, 2008, p. 56).

O fator comprimento de declive L e o seu gradiente S nada mais são do que “a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em declive qualquer a perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 25 metros de comprimento com 9% de declive” (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005, p. 259). Segundo Foster et al. (1981), Bertoni; Lombardi Neto (2005) para o emprego de combinações especificadas de comprimento e grau de declive, foi elaborado uma representação gráfica (Gráfico 1), apresentando as curvas obtidas para o fator (LS) por meio da relação comprimento e grau de declive utilizando a equação:

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} (1,36 + 0,97 S + 0,1385 S^2)$$

Onde,

L = comprimento do declive em metros;

S = grau do declive em porcentagem.

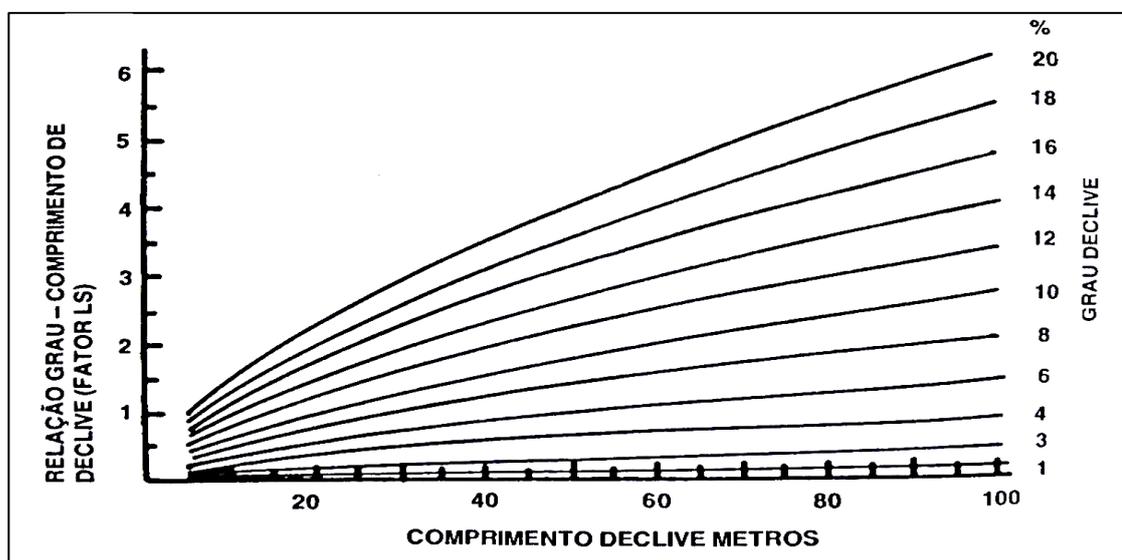


Gráfico 1 - Curvas do fator LS da equação de predição de perdas por erosão

Fonte: Bertoni; Lombardi Neto (2005).

Com a mesma equação citada anteriormente, o (Quadro 4) foi elaborado de acordo com várias combinações de grau de declive e comprimento de rampa. Com os valores de comprimento e grau de declive estabelecidos, pressupõe-se valores de declives

fundamentalmente uniformes, dessa forma, não considerando que eles são côncavos ou convexos, pois, seus efeitos e conclusões sobre as perdas de solo por erosão não são ainda bem avaliados. No entanto, dados limitados indicam que a aplicação do gradiente médio de um comprimento de rampa pode subestimar as perdas de solo de declives convexos e superestimar declives côncavos. Em rampas onde a parte final se apresenta mais declivosas que a superior, o gradiente deve ser empregado para representar o declive em todo o comprimento de rampa no cálculo do fator LS (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Quadro 4 - Curvas de fator LS da equação de predição de perdas por erosão

		Comprimento de rampa (metros)													
Declive	%	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	80	100
1		0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	1,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,16	0,18
2		0,06	0,09	0,12	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,35	0,41
4		0,14	0,22	0,28	0,33	0,38	0,43	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,67	0,80	0,92
6		0,23	0,35	0,45	0,54	0,62	0,69	0,77	0,83	0,90	0,96	1,02	1,07	1,29	1,48
8		0,32	0,49	0,63	0,76	0,87	0,98	1,08	1,17	1,26	1,34	1,43	1,51	1,81	2,08
10		0,41	0,64	0,82	0,98	1,13	1,27	1,40	1,52	1,64	1,75	1,86	1,96	2,36	2,71
12		0,51	0,79	1,02	1,22	1,40	1,57	1,73	1,89	2,03	2,17	2,30	2,43	2,92	3,36
14		0,61	0,95	1,22	1,46	1,68	1,89	2,08	2,26	2,43	2,60	2,76	2,92	3,51	4,03
16		0,71	1,11	1,43	1,71	1,97	2,21	2,44	2,65	2,85	3,05	3,23	3,42	4,10	4,72
18		0,82	1,27	1,64	1,97	2,27	2,54	2,80	3,04	3,27	3,50	3,72	3,93	4,71	5,43
20		0,93	1,44	1,86	2,23	2,57	2,88	3,17	3,44	3,71	3,96	4,21	4,45	5,34	6,14

Fonte: Bertoni; Lombardi Neto (2005)

Bertoni (1959) determinou uma equação que possibilita calcular as perdas médias de solo para os variados graus de declive e comprimentos de rampa, tendo como base os dados de perdas por erosão obtidos nos principais tipos de solo do Estado de São Paulo, em período contínuo de 10 anos de observações em talhões de diferentes comprimentos e graus de declive. O cálculo do comprimento e grau de declive (fator LS) para a equação de perdas de solo elaborado por Bertoni (1959) é expressada pela equação:

$$T = 0,145 \times D^{1,18} \quad (1)$$

Onde, segundo Bertoni; Lombardi Neto (2005, p. 260):

T = perda de solo, em quilogramas/unidade de largura/unidade de comprimento;

D = grau de declive do terreno, em porcentagem.

e

$$T = 0,166 x C^{1,63} \quad (2)$$

Onde:

T = perda de solo, em quilograma/unidade de largura;

C = comprimento de rampa do terreno, em metros.

Para as condições-padrão, as equações citadas anteriormente (1 e 2) tornam-se:

$$LS = 0,00984 C^{0,63} D^{1,18} \quad (3)$$

S = fator topográfico;

C = comprimento de rampa em metros;

D = grau de declive em porcentagem.

O fator LS pode ser simplesmente calculado no campo em escalas de parcela experimental ou treinamento, porém, para a obtenção destas medidas em bacias hidrográficas ou escalas globais, o fator citado não é recomendado ou viável, devido às limitações de tempo e recursos humanos. Contudo, o progresso, diversificação e disponibilidade de tecnologias cresceu e se fortaleceu desde que a EUPS foi elaborada, possibilitando uma perspectiva diferente na aquisição e processamento de dados para o seu cálculo (CAPRA, 1997). Os Sistemas de Informação Geográfica - SIG's se tornaram ferramentas de apoio cotidianamente usadas para o desenvolvimento e elaboração dos fatores USLE por meio de representações visuais (cartas temáticas).

Sua sofisticação não está apenas direcionada em estimar o fator LS, mas vem acompanhando junto ao melhoramento e aprimoramento de *softwares* e *hardwares* em uma estimativa cada vez mais precisa de dados preditivos de perda de solos por erosão. Satélites e sensores remotos são usados por possibilitarem a obtenção, retenção de dados e informações chaves para o cálculo em escalas de bacia hidrográficas e regionais (REMORTEL et al., 2001), mediante a elaboração de cartas de Cartas de Extensão de Vertentes e Carta Clinográfica, também denominada Carta de Declividade, tendo com o cruzamento de ambas a gênese da Carta de Fator Topográfico LS, que “aponta as áreas mais susceptíveis à dinâmica erosiva, no tocante aos aspectos do relevo” (PINHEIRO et al., 2014, p. 5).

Diante de todas suas funcionalidades, a maior delas é referente ao planejamento ambiental, extremamente indispensável devido a intensidade e velocidade em que as atividades antrópicas atuam no espaço geográfico, no qual, um manejo adequado possibilita a redução de impactos ambientais e maiores ganhos tanto nas esferas econômica e ambiental, como na própria conscientização social da população como um todo (PINHEIRO; CUNHA, 2011). As atividades humanas também são importantes sob outra perspectiva, a qual diz respeito ao ambiente onde as mesmas são estabelecidas e implementadas sobre a superfície terrestre, pois, “podem acarretar desequilíbrios no relevo através da alteração dos fluxos de matéria e energia” (PINHEIRO, 2008, p. 57).

Dentre os autores brasileiros que se destacaram aplicando o fator LS, podem ser citados: Silva (2003), Galdino; Weill (2011), Bueno; Arraes; Miqueloni (2011), Pinheiro; Cunha (2011), Ruthes (2012). Para o Estado de Minas Gerais, as referências citadas são: Pinheiro et al. (2014), Durães; Mello (2016), Rodrigues et al. (2017). A maioria destes estudos trouxeram para o país o desenvolvimento de estudos referentes ao Fator Topográfico LS, erosão e planejamento ambiental, fazendo com que outros muitos fossem desenvolvidos. Por ser um fator que correlaciona o relevo e seu declive, a geomorfologia e a geomorfologia ambiental ganharam destaque em pesquisas de modelagem preditiva.

Tavares (1986); Costa (2005) consideraram o comprimento médio das vertentes como extensão do percurso superficial, Galdino; Weill (2011) estimaram o fator topográfico da RUSLE em bacias hidrográficas, Bueno; Arraes; Miqueloni (2011) aplicaram o sistema de informação geográfica para determinação do fator comprimento e grau de declive (LS) em bacias hidrográficas, Pinheiro; Cunha (2011) trabalharam com a importância da geração do fator topográfico da EUPS para modelagem erosiva em bacias hidrográficas, Ruthes (2012) usou o Sistema de Informação Geográfica - SIG' na Determinação do Fator Topográfico em bacias hidrográficas.

Para o Estado de Minas Gerais, Pinheiro et al. (2014) gerou o fator topográfico em bacia hidrográfica, fazendo uma análise de extensão de vertentes, Durães; Mello (2016) trabalhou com a distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo aplicado em bacia hidrográfica, Rodrigues et al. (2017) desenvolveu pesquisas sobre a estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica aplicado em bacia hidrográfica.

Conclui-se sobre o fator comprimento e grau de declive (LS), fator esse da EUPS relacionado às formas de relevo e também denominado como fator topográfico, que o estudo

das formas do relevo ratificou com seus inúmeros trabalhos e anos de desenvolvimento que os delineamentos da superfície terrestre influenciam no processo de escoamento hídrico. Sendo, dessa forma, crucial para o entendimento e quantificação do fenômeno erosivo, erosão acelerada e variabilidade das principais propriedades dos solos. A quantificação da erosão associada às formas de paisagem tem apresentado subsídios para a determinação de zonas específicas de manejo e possíveis soluções para mitigação dos processos erosivos e cenários que levam as perdas de solo em zonas rurais. (SOUZA et al., 2003).

3.3.1.4 Fator Uso e Manejo do Solo (C)

O fator uso e manejo do solo C nada mais é do que a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em condições específicas e as perdas equivalentes de um terreno mantido continuamente exposto e cultivado (WISCHMEIER; SMITH, 1965). O fator C mescla os tipos de cobertura, níveis de produção e técnicas associadas de cultivo (FAO, 1965). A cobertura vegetal, seja ela natural ou introduzida, é umas das medidas de maior relevância em termos de prevenção da erosão, pois, interfere na energia cinética das gotas das precipitações pluviométricas (fator R) e diminuiu o efeito do escoamento superficial e subsuperficial no relevo (fator LS), embora este papel protetor seja de difícil avaliação (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

As perdas de solo que sucedem em uma área mantida continuamente exposta podem ser estimadas pelo produto dos termos R, K, L e S da equação preditiva de perdas de solo. No entanto, se a área estiver cultivada, tais perdas serão amenizadas devido à proteção que cada cultura dispõe ao solo. Essa redução está sujeita as combinações de cobertura vegetal, sequência de cultura e práticas de manejo. Depende também do período de crescimento e desenvolvimento da cultura durante a estação chuvosa. Os resultados das variáveis uso e manejo não podem ser avaliados de forma independente, devido às inúmeras interações que sucedem no ambiente estudado (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Ross (2004) organizou (Quadro 5) com os graus de proteção ao solo referente aos tipos de cobertura vegetal cultivada, seja ela natural ou introduzida pelas atividades agrícolas. Tais informações não expressam dados quantitativos para a aplicação como fator C da EUPS, contudo, este quadro serve para sustentar análises do tipo qualitativo para a aplicação do referido fator, envolvendo os tipos de cobertura da terra e os níveis que as mesmas protegem o solo. Isso, apresenta de maneira crucial como as características vegetais influenciam na perda

de solo por erosão, assim como exprimem a necessidade da manutenção de áreas florestais para preservação e manutenção da vida do solo e de seres subjacentes que nele habitam e dele necessitam, seja direta ou indiretamente.

Quadro 5 - Graus de proteção por tipos de cobertura vegetal

Graus de Proteção	Tipos de Cobertura Vegetal
(1) Muito Alta	Florestas/ matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
(2) Alta	Formações arbustivas naturais com extrato herbáceo denso. Formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa). Mata homogênea de pinos densa. Pastagens cultivadas sem pisoteio de gado. Cultivo de ciclo longo como o cacau.
(3) Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/ terraceamento como o café, laranja com forrageiras entre ruas. Pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com subbosque de nativas.
(4) Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja) com solo exposto entre ruas. Culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão) com o cultivo em curvas de nível/ terraceamento.
(5) Muito Baixa a Nula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: Organizado por Ross (2004)

Os níveis de proteção por tipos de cobertura vegetal formam um conjunto das variáveis e interações entre os usos e manejos do solo. Segundo Bertoni; Lombardi Neto (2005) uma cultura pode ser plantada continuamente em um mesmo ambiente ou em rotação com outras. Seus restos podem ser retirados, mantidos na superfície, agregados próximos à superfície ou totalmente enterrado com o preparo do solo. Quando deixados na superfície, podem ser mantidos do jeito que foram colhidos ou cortados. Além disso, o preparo do solo pode fazer com que a superfície do terreno fique bastante irregular ou lisa. As diferentes combinações das variáveis apresentadas possivelmente expressam diferentes efeitos nas perdas de solo.

A proteção disposta pela cobertura vegetal durante o seu ciclo vegetativo é gradual e oscila de acordo com o modo de realização aplicada para cada tipo de manejo. Para a análise ser mais prática e de rápido diagnóstico, dividiu-se segundo Wischmeier; Smith (1960) *apud* Bertoni; Lombardi Neto (2005, p. 262) em (Quadro 6) o ano agrícola em cinco períodos ou

estádios da cultura, estabelecidos de tal modo que os efeitos de cobertura e manejo possam ser considerados aproximadamente uniformes dentro de cada período, a saber:

Quadro 6 - Razão de perdas de solo entre área cultivada e área continuamente descoberta

Cobertura, sequência e manejo	Produtividade	Razão de perda de solo por período de estágio de cultura				
		D	1	2	3	4
				%		
Milho, contínuo, palha queimada	Média	37	30	21	6	1
Milho, contínuo, palha enterrada	Média	23	19	17	4	2
Milho, contínuo, palha superfície	Média	—	5	2	1	1
Algodão, contínuo, convencional	Média	40	60	40	50	20
Soja, contínuo, convencional	Média	35	30	20	20	5
Pasto (1º ano), rotação	—	—	—	40	—	—
Pasto (2º ano), rotação	—	—	—	0,4	—	—
Milho, rotação, após pasto	Média	10	11	8	4	1
Milho, rotação, plantio direto após pasto	Média	—	8	5	3	1
Soja, rotação após milho	Média	15	12	20	4	3
Soja, rotação, plantio direto após milho	Média	—	8	10	4	3
Algodão, rotação após soja	Média	20	20	30	15	13
Cana-de-açúcar (1º ano) convencional	Média	—	—	15	—	—
Cana-de-açúcar (2º ano)	Média	—	—	0,15	—	—

Fonte: Bertoni; Lombardi Neto (2005)

- (a) **período D** = preparo do solo: desde preparo ao plantio;
- (b) **período 1** = plantio: do plantio a um mês após o plantio;
- (c) **período 2** = estabelecimento: do fim do período 1 até dois meses após o plantio;
- (d) **período 3** = crescimento e maturação: de dois meses após o plantio até a colheita;
- (e) **período 4** = resíduo de colheita até o preparo do solo.

Em bacias hidrográficas a alteração da cobertura vegetal acarreta variados impactos no meio ambiente, sendo o primeiro deles a alteração do escoamento superficial — o intensificando e conseqüentemente elevando a produção de sedimentos. No entanto, a proteção relativa da cobertura vegetal não é apenas dependente do tipo de vegetação, do *stand* e de seu desenvolvimento, mas também da oscilação dos heterogêneos meses ou estações do ano. A eficiência em reduzir a erosão, é em suma, dependente da quantidade pluviométrica que sucede durante esse período, quando a cultura e as práticas de manejo apresentam uma proteção mínima. Constata-se que o fator C mensura o efeito combinado de todas as relações das variáveis de cobertura e manejo descritas acima (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Dentre todos os fatores da EUPS (R, K, L, S, C e P), o fator C é o que mais demanda dificuldade para a obtenção de dados devido as suas inúmeras possibilidades de combinações entre as práticas de manejo, instalações e rotações de culturas, realizadas simultaneamente ou de forma separada para um mesmo ambiente (DEMARIA; LOMBARDI NETO, 1997). “O resultado final do fator C é função da integração de fatores (solo, clima, topografia, característica do material ou prática de manejo adotada), considera-se o valor numérico deste fator válido especificamente para a região onde o mesmo foi determinado” (SILVA; SCHULZ, 2001, p. 615).

Dessa forma, “para determinar o valor do fator C para uma rotação de culturas ou cultura continuada, é necessário, em primeiro lugar, determinar as datas prováveis de plantio e colheita, tipo de preparo do solo e manejo dos restos culturais, bem como a produção média esperada” (BERTONI; LOMBARDI NETO (2005, p. 264). Dentre os autores brasileiros que se destacaram aplicando esta abordagem, podem ser citados: Lopes; Cogo; Levien (1987), Dedecek; Resck; Freitas Jr. (1986), Cogo (1988), Bertol (1994), Demaria; Lombardi Neto (1997), Eltz (1997), Silva; Schulz (2001), Bertoni; Lombardi Neto (2005).

Lopes; Cogo; Levien (1987) analisou a eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica, Dedecek; Resck; Freitas Jr. (1986) estudaram as perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo vermelho escuro nos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural, Cogo (1988) trabalhou com os conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solos para fins de controle da erosão hídrica, Bertol (1994) desenvolveu pesquisas sobre erosão hídrica em cambissolo húmico distrófico sob diferentes preparos de solo e rotação de cultura, Demaria; Lombardi Neto (1997) avaliaram a razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho.

Por sua vez, Eltz (1997) relacionou as perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais, Silva; Schulz (2001) analisou a estimativa do fator C da EUPS para cobertura morta de resíduos vegetais de origem urbana para as condições de São Carlos (SP), Bertoni; Lombardi Neto (2005) que desenvolveram uma gama de dados relacionados a ocorrência de erosão, noções gerais sobre os solos, fatores que influenciam na erosão, práticas conservacionistas e sistemas de manejo, levantamento e planejamento conservacionista, equação de perdas de solo com aplicabilidade no Estado de São Paulo, assim como metodologias de pesquisa para erosão e fatores educacionais, sociais e econômicos

favoráveis à conservação do solo.

Constata-se sobre o fator uso-manejo do solo (C) ou apenas fator C que, sua relação é totalmente integrada não somente pelos tipos de cobertura, níveis de produção e técnicas associadas de cultivo, mas com outros elementos naturais como o solo, clima, topografia, etc. Essa relação demonstra explicitamente o contexto sistêmico em que estão inseridos a correlação de análise entre os fatores de equações preditivas com o ambiente de estudo, sendo totalmente necessários para fundamentação de pesquisas de cunho geográfico com ênfase ambiental. A quantificação da erosão associada às formas de paisagem tem apresentado subsídios para a determinação de zonas específicas de manejo e possíveis soluções para mitigação dos processos erosivos acelerados.

3.3.1.5 Fator Práticas Conservacionistas (P)

O fator práticas conservacionistas (P) ou apenas fator P da equação de perdas de solo EUPS, representa “a relação entre a intensidade esperada de tais perdas com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo)” (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005, p. 266). Em outras palavras, representa a relação de perda de solo por erosão com ou sem a aplicação de práticas conservacionistas. Em geral, dependendo do país, da cultura, do uso da terra e da tecnologia estas práticas podem variar muito, assim como as taxas de perda de solo (GÓMEZ, 2012).

As práticas conservacionistas podem ser classificadas em: vegetativas (empregando a própria vegetação), edáficas (modificações nos sistemas de cultivo) e mecânicas (estruturas artificiais construídas mediante a remoção ou disposição adequada de porções da terra). Cada uma destas práticas soluciona parcialmente as perdas de solo, sendo necessário a aplicação simultânea das mesmas para que se aumente a eficácia dos procedimentos empregados — a fim de abranger com maior amplitude os diversos aspectos relacionados ao fenômeno erosivo acelerado (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

A escolha das práticas de prevenção e proteção à erosão são realizadas em função dos aspectos ambientais e socioeconômicos de cada região, assim como as características da propriedade em questão. Dentre a classificação das práticas conservacionistas, podem ser empregadas: práticas vegetativas (florestamento e reflorestamento, plantas de cobertura, cobertura morta, rotação de culturas, formação e manejo de pastagem, cultura em faixa, faixa

de bordadura, quebra vento e bosque sombreador, cordão vegetativo permanente, manejo do mato e alternância de capinas); práticas edáficas (cultivo de acordo com a capacidade de uso da terra, controle do fogo, adubação: verde, química, orgânica e calagem); e práticas mecânicas (preparo do solo e plantio em nível, distribuição adequada dos caminhos, sulcos e camalhões em pastagens, enleiramento em contorno, terraceamento, subsolagem, irrigação e drenagem) (CARVALHO, 2009).

O manejo do solo, quando realizado de forma adequada, deve abranger um conjunto de práticas agrícolas que proporcionem máxima retenção da água das chuvas, fazendo com que reduza a velocidade de escoamento hídrico não infiltrado no solo, elevando a capacidade de armazenamento de água e proporcionando boas condições físicas e químicas do solo para o desenvolvimento das culturas (DENARDIN, 1984). “As práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas” (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005, p. 266).

O quadro 7 expressa alguns valores do fator P, da equação de perdas de solo, para as práticas conservacionistas de proteção do solo contra erosão, obtidos pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo de Campinas (SP), elaborado por Bertoni; Lombardi Neto (2005). Nessa perspectiva, qualquer que seja a prática conservacionista empregada, ela deve ser capaz de manter o comprimento de rampa restrito a limites, fazendo com que a cobertura do solo não perca sua efetividade na dissipação da energia cisalhante da enxurrada, contribuindo para redução do fenômeno erosivo acelerado e das problemáticas decorrentes do mesmo (BERTOL et al., 1996).

Quadro 7 - Valor do fator P da equação de perdas de solo EUPS para algumas práticas conservacionistas.

Práticas conservacionistas	Valor de P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de campinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Fonte: Bertoni; Lombardi Neto (2005).

Existem inúmeras práticas conservacionistas que podem ser empregadas para os mais diferentes tipos de cultura e situações econômicas, o que não pode acontecer é a não aplicação das mesmas, prática essa um tanto corriqueira nas diferentes regiões brasileiras. Quando não se

utilizam as práticas conservacionistas, a erosão laminar retira camadas superficiais do solo, tendo a precipitação pluviométrica como agente carreador, removendo a matéria orgânica, nutrientes, fertilizantes e agroquímicos. Com a retirada destes do local das plantações, esses sedimentos são depositados em ambientes partindo de montante a jusante, chegando a interferir em canais pluviais ou até mesmo rios e lagos, contribuindo para as enchentes, assoreamento e deterioramento da qualidade da água (EMBRAPA, 2006).

Dentre os autores brasileiros que se destacaram aplicando o fator P da EUPS, podem ser citados: Bertol et al. (1996) avaliou a erosão hídrica em cambissolo húmico distrófico sob diferentes preparos de solo e rotação de cultura, Volk; Cogo; Streck (2004) estudou a erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal, Carvalho et al. (2009) trabalhou com as características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo.

Gilles et al. (2009) por sua vez avaliou as perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação, Pruski (2009) aplicou práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica, Martins et al. (2010) utilizou o fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do Estado do Espírito Santo.

Conclui-se sobre o fator de práticas conservacionistas (P) que sua utilização é crucial para a conservação e manutenção do solo, dos recursos hídricos e das lavragens como um todo, onde a eficiência e satisfatoriedade, seja em questões ambientais ou econômicas, depende em suma de boas práticas de manejo agrícola. Dentre os fatores da EUPS (R, K, L, S, C e P), o fator P é o que mais necessita de estudos, sendo ainda carente em dados tabelados de perdas de solo em relação a práticas conservacionistas, ficando a escolha dos pesquisadores os tipos de metodologias abordadas para obtenção destes dados. Essa necessidade é relacionada com a intrinsecidade entre o tipo de prática e as características do ambiente estudado, sendo inúmeras as mesmas e suas combinações.

3.3.2 Equação Universal de Perda de Solo Revisada (REUPS)

Uma das formas de minimizar os efeitos causados pela erosão acelerada é direcionada aos estudos preditivos, onde uma parcela dos mesmos tem como intuito mensurar qualitativamente

e representar espacialmente áreas sujeitas a erosão do solo. A EUPS, como visto anteriormente, é uma equação importantíssima entre os modelos preditivos empíricos matemáticos que alcançou tal objetivo, mas que com o passar do tempo seu uso, aplicabilidade e metodologia passaram por inúmeras avaliações e instigaram modificações. Johnson; Savabi; Loomis (1984) apontaram a necessidade de precisão da análise das condições de cobertura vegetal e gerenciamento em áreas de pastagens, principalmente no que diz respeito aos fatores que influenciam a erosão.

A contextualização da REUPS é importante para a pesquisa em questão, uma vez que, a partir do modelo EUPS, o mesmo foi revisado e melhorado e dessa forma apresenta-se como uma das possibilidades de aplicação para predição de perdas de solos por erosão. Por ser um modelo melhor elaborado, a REUPS demanda tempo e para pesquisas de cunho acadêmico como mestrado, sua aplicação quase não ocorre devido o tempo necessário para a composição de dados para o referido modelo. São poucos os estudos que abordam a aplicação dos seus fatores em língua portuguesa, por isso a real necessidade de alguns de seus aspectos mais importantes serem abordados nessa pesquisa.

Weltz; Kidwell; Fox (1998) afirmam que a EUPS é um modelo concentrado e que não separa fatores como: crescimento, decomposição, infiltração, escoamento superficial, descolamento ou transporte do solo. Segundo Alewell et al. (2019) tais críticas crescentes vinculados as limitações da EUPS foram recebidas e respondidas pelas agências e comunidades científicas em ciências do solo dos EUA, objetivando-se em atualizar a referida equação e assim gerar uma nova variável revisada. Nasce de muitos estudos, de acordo com Wischmeier; Smith (1978), Risse et al. (1993), Bertoni; Lombardi Neto (2005), Alewell et al. (2019) um dos modelos matemáticos empíricos mais difundidos no mundo, a Equação Universal de Perda de Solo Revisada – REUPS ou Revised Universal Soil Loss Equation – RUSLE.

A RUSLE (Figura 5) foi atualizada na década de 90 e manteve sua formula multiplicativa de acordo com o modelo EUPS. Contudo, possui elementos auxiliares fundamentados em processos, como: o cálculo da erodibilidade do solo com variável tempo, crescimento das plantas, gerenciamento de resíduos, decomposição de resíduos e rugosidade da superfície do solo em função das condições físicas e processos biológicos. Também dispõe de valores atualizados para dos fatores de erosividade R, abrangem novos componentes topográficos (fatores L e S), que contemplam erosão de sulcos e entre sulcos, ponderações a respeito da sazonalidade do fator K e fatores P suplementares para pastagens e drenagem

subterrânea (ALEWELL et al., 2019).

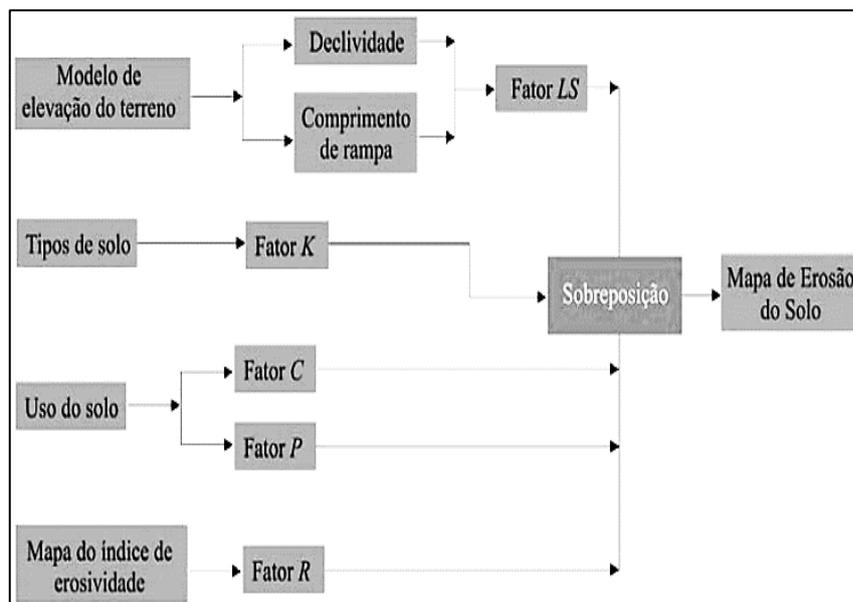


Figura 5 - Fluxograma de atividades necessárias para o emprego da RUSLE
 Fonte: Silva et al., (2007)

Dessa forma, utiliza-se a equação:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Onde, de acordo com Silva (2008, p. 47) podem ser descritos como:

A = estimativa de erosão específica, ou seja, é a perda de solo por unidade de área e por unidade de tempo, habitualmente em ton/ha.ano;

R = fator erosividade da precipitação, é quantificado em termos de energia produzida pelo impacto das gotas de chuva junto com taxa de arraste do solo resultante do escoamento superficial, ou seja, é a capacidade da chuva de desprender e transportar sedimentos, expresso em MJ.mm/ha.h.ano;

K = fator de erodibilidade do solo, refere-se à capacidade do solo sofrer erosão. Define-se como a perda de solo de uma parcela-padrão com 22 metros de comprimento, 9% de declividade e continuamente em solo nu, lavrado segundo o maior declive. Representa a susceptibilidade de diferentes solos a serem erodidos de acordo com suas características físicas, químicas e biológicas, com unidade de medida expressada em ton.ha.h/ha.MJ.mm;

L = fator comprimento da vertente, relação de perdas de solo entre um comprimento de vertente qualquer, e um comprimento de vertente de 22 metros para o mesmo solo e mesmo grau de inclinação, tendo estreita relação com o fator **S**;

S = fator de declividade da vertente, relação de perdas de solo entre um declive qualquer, e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa, complementa o valor de **L**;

C = fator de uso e manejo do solo, relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator **K** é avaliado;

P = fator de práticas conservacionistas, relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo.

O método tradicional para o cálculo da perda de solo por meio da RUSLE dispõe como resultado a média de longo prazo para ambientes considerados homogêneos, não sendo exequível discretizar detalhadamente a variabilidade espacial da perda de solo e das áreas fontes de sedimentos, especialmente em áreas que possuem relevos muito complexos, a exemplo de bacias hidrográficas e vertentes. O emprego da equação citada anteriormente com os Sistema de Informações Geográficas – SIG's, possibilita discretizar espacialmente os fatores que determinam a perda de solo e, por conseguinte, engendrar o cálculo da RUSLE, independente da complexidade espacial dos fatores (UHDE et al., 2009).

Quando mencionados as vantagens de se usar a RUSLE, a que mais chama a atenção é que ela se baseia no mesmo banco de dados que a EUPS, modificando alguns cálculos fundamentados em processos ambientais variáveis, seja no tempo ou sistema erosivo. Todavia, assim como qualquer outro modelo, a equação revisada também apresenta limitações, sendo elas referentes aos fatores multiplicativos básicos (NEARING, 2004 *apud* ALEWELL et al., 2019). Segundo Kinnell (2010) os modelos do tipo USLE foram desenvolvidos para antever a perda média anual de solo a longo prazo, conseguindo atingir a satisfatoriedade necessária para a aplicação em algumas localizações geográficas, mas segundo Alewell et al. (2019) frequentemente não são capazes de prever a erosão de eventos, referente ao fato de que a USLE e sua revisão RUSLE não consideram o escoamento pluviométrico explicitamente. Contudo, ainda segundo os autores citados anteriormente (2019, p. 205, tradução nossa):

Hoje, a modelagem do tipo EUPS foi mais avançada para atender a vários requisitos especiais e necessidades específicas. Por exemplo, Bagarello; Di

Stefano; Ferro; Pampalone (2017), bem como Larson; Lindstrom; Schumacher (1997) adaptaram modelos do tipo EUPS para modelagem de erosão do solo baseada em eventos. A modelagem do tipo EUPS também tem sido usada em todos os tipos de tipos extremos de ecossistemas e em vários cenários de manejo, por exemplo, desde solos vulcânicos no Chile com clima mediterrâneo (STOLPE, 2005) até o possível impacto de mitigação da agricultura orgânica nas taxas de erosão do solo nas montanhas, bacias hidrográficas na Coreia do Sul (ARNHOLD et al., 2014) ou a comparação da agricultura convencional com a agricultura orgânica no norte da Baviera (AUERSWALD; KAINZ; FIENER, 2003).

A lógica da RUSLE é fundamentada nos processos físicos quanto antrópicos (fig. 6), assim como a EUPS, tendo forma pragmática e pré-estabelecida para a obtenção e avaliação dos dados. O lado esquerdo da figura representa as informações específicas de gerenciamento em campo inseridas pelo usuário da equação. Já no lado direito da imagem, contém os conjuntos de bancos de dados gerais, esses estruturados em programas computacionais, sendo os arquivos de dados também geralmente definidos pelos usuários (RENARD; FERREIRA, 1993).

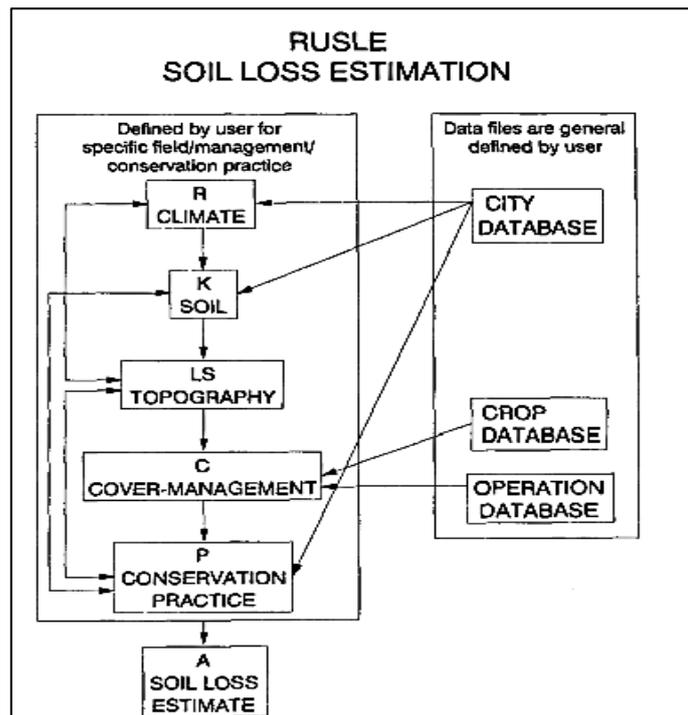


Figura 6 - Fluxo lógico de RUSLE para um típico cálculo da perda de solo
Fonte: Renard et al. (1997)

Os exemplos citados referem-se ao *city database* que contém informações climáticas, solo e topografia, o *crop database* possui parâmetros definidos de características vegetativas de

crescimento e resíduos na superfície quanto no subsolo, e o *operations database* que estabelece os efeitos das operações de campo no solo, na colheita e nos resíduos (RENARD et al., 1997). Os bancos de dados citados são referências utilizadas nos primórdios da utilização da RUSLE em aparatos computacionais. Atualmente, os Sistemas de Informações Geográficas – SIG's são muito mais completos e extensivos, permitindo a correlação de inúmeros bancos de dados de forma simultânea e operacional.

O modelo de perda de solos revisada proposto por Renard et al. (1997), possibilita estimar o potencial de erosão levando em consideração a interação e correlação entre a energia da precipitação pluviométrica, as características de solo e relevo, assim como do uso e manejo empregado (SANTOS; BLANCO; PESSOA, 2015). Nessa perspectiva, a eficiência, abrangência e satisfatoriedade de qualquer modelo preditivo aumenta com o emprego dos Sistemas de Informações Geográficas – SIG's, quando o mesmo pode ser utilizado. Além disso, Yue-Qing et al. (2008) mencionaram o uso do modelo RUSLE com o SIG's, sendo o mesmo o modelo matemático empírico amplamente difundido, representando a heterogeneidade espacial da erosão do solo na superfície terrestre a partir de dados simplificados.

3.3.2.1 Fatores da RUSLE e as disparidades referentes a EUPS

Segundo Renard et al. (1994), os fatores da equação RUSLE apresentam diferenças significativas em relação a EUPS (Quadro 8) e essas dessemelhanças fazem com que as taxas de erosão e suas variáveis diante dos cenários estudados sejam muito distintas umas das outras, assim como os métodos e matérias utilizados para obtenção dos dados, esses que serviram de arcabouço para multiplicação dos valores em fatores e, conseqüentemente, para a obtenção dos resultados conquistados em representações espaciais (materiais cartográficos).

Em relação ao fator erosividade da chuva R, os valores de R são muito mais precisos em toda metade Ocidental dos Estados Unidos e abrange correções e suavizações aprimoradas e refinadas, assim como preenchimento de lacunas no Leste dos EUA. As correções realizadas do primeiro modelo (EUPS) para sua variável (RUSLE) permite reduzir os efeitos erosivos das gotas das precipitações pluviométricas que caem em áreas alagadiças. Um fator R equivalente foi elaborado para refletir o escoamento superficial de solos congelados e parcialmente descongelados (RENARD et al., 1994).

Quadro 8 - Diferenças entre as equações EUPS e RUSLE

Factor	Universal Soil Loss Equation (USLE)	Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)
R	Based on long-term average rainfall conditions for specific geographic areas in the U.S.	Generally the same as USLE in the Eastern US. Values for Western States (Montana to New Mexico and west) are based on data from more weather stations and thus are more precise for any given location. RUSLE computes a correction to R to reflect the effect of raindrop impact for flat slopes striking water ponded on the surface.
K	Based on soil texture, organic-matter content, permeability, and other factors inherent to soil type.	Same as USLE but adjusted to account for seasonal changes such as freezing and thawing, soil moisture, and soil consolidation.
LS	Based on length and steepness of slope, regardless of land use.	Refines USLE by assigning new equations based on the ratio of rill to interrill erosion, and accommodates complex slopes.
C	Based on cropping sequence, surface residue, surface roughness, and canopy cover, which are weighted by the percentage of erosive rainfall during the six crop stages. Lumps these factors into a table of soil loss ratios, by crop and tillage scheme.	Uses these subfactors: prior land use, canopy cover, surface cover, surface roughness, and soil moisture. Refines USLE by dividing each year in the rotation into 15-day intervals, calculating the soil loss ratio for each period. Recalculates a new soil loss ratio every time a tillage operation changes one of the subfactors. RUSLE provides improved estimates of soil loss changes as they occur throughout the year, especially relating to surface and near-surface residue and the effects of climate on residue decomposition.
P	Based on installation of practices that slow runoff and thus reduce soil movement. P factor values change according to slope ranges with some distinction for various ridge heights.	P factor values are based on hydrologic soil groups, slope, row grade, ridge height, and the 10-year single storm erosion index value. RUSLE computes the effect of stripcropping based on the transport capacity of flow in dense strips relative to the amount of sediment reaching the strip. The P factor for conservation planning considers the amount and location of deposition.

Fonte: Renard et al. (1994)

Em relação ao fator erodibilidade do solo K, os pesquisadores da EUPS notaram que a erodibilidade inerente do solo oscila de acordo com o tempo, devido o afrouxamento do solo por ciclos de gelo-degelo e também por reconsolidação em virtude da extração de umidade do solo no decorrer da estação de crescimento, tendo a RUSLE mensuradora desse efeito. O valor

K temporal retrata maior umidade do solo na primavera e, dessa forma, maior escoamento. A correção temporal de K não é utilizada em áreas localizadas a Oeste de 105° de longitude (Id., 1994).

Em relação ao fator comprimento e grau de declive LS, o efeito da topografia sobre a erosão oscila de acordo com o tipo de erosão, a depender, principalmente, se a erosão é em sulcos ou entre sulcos (laminar e linear), ou uma combinação de ambas, sendo também descoberto que a relação EUPS não se ajusta bem para dados de encostas íngremes. Essas duas problemáticas foram corrigidas na RUSLE, tendo relações aplicadas a comprimentos de inclinação inferiores a 15 pés, enquanto na EUPS já não é aplicado tal relação. Além disso, uma equação topográfica especial é aplicada em áreas de cultivo na região Noroeste dos EUA e cordilheira para descrever a erosão de sulcos enfraquecido pelo degelo (Id., 1994).

Em relação ao fator uso-manejo do solo C, o uso desse fator é consideravelmente mais flexível se o dividindo em uma série de subfatores, os quais representam o uso anterior da terra, cobertura das culturas e rugosidade da superfície, possibilitando maior abundância de dados a serem coletados e desagregação dos mesmos para análises de forma isolada, permitindo inúmeros diagnósticos avaliativos da área de estudo. Outro termo também é adicionado ao fator C da RUSLE, o qual não era pertencente a sua progenitora, sendo esse termo capaz de expressar a umidade antecedente do solo (Id., 1994).

Em relação ao fator práticas conservacionistas P, a equação RUSLE possui uma mistura tecnológica no mensuramento empírico da erosão, baseado em processos que viabilizam uma melhor medida do efeito da erosão em contorno e cultivo em tiras. Com o cultivo em tiras, o fator P (práticas conservacionistas) para planejamento e conservação é mensurado com base em quantidade e localização da deposição (Id., 1994).

Se compararmos a EUPS com a RUSLE, ambas possuem diferenças como semelhanças, assim como ambas ganham destaque em suas aplicações, evidenciando êxito e satisfatoriedade em sua utilização, sendo até então consideradas os modelos mais difundidos deste parâmetro. Cada uma das equações matemáticas citadas tende a serem direcionadas para devidos fins, a depender das necessidades do pesquisador e de sua pesquisa, sempre levando em consideração os cenários estudados e a ênfase do estudo. Então, conclui-se que a RUSLE conseguiu ser tão boa quanto sua progenitora e emprega com seus fatores elementos cruciais para diagnósticos preditivos de erosão, os expressando especialmente por meio de aparatos computacionais.

3.3.2.2 Mudanças realizadas na RUSLE

Segundo Renard et al. (1994) foram realizadas alterações nos fatores da Equação Universal de Perda de Solo Revisada – REUPS ou *Revised Universal Soil Loss Equation* – RUSLE, onde a mesma foi submetida a testes completos pelo *United States Department of Agriculture* – USDA, *Agricultural Research* – ARS, entre outros. Essas alterações foram implementadas na versão mais recente da RUSLE, sendo certificadas e liberadas pelo *Soil and Water Conservation Society* – SWCS, os quais alteraram os fatores de erosividade da chuva R, erodibilidade do solo K, uso-manejo do solo C e práticas conservacionistas P.

No que diz respeito ao fator erosividade da chuva, foi realizado um leve redesenho no valor R no Leste dos EUA, para reajustar e refinar os dados adquiridos em relação ao cálculo em áreas alagadiças e também erosividade do solo em relação a precipitações pluviométricas torrenciais. No que concerne o fator erodibilidade do solo, as alterações dizem respeito aos cálculos de K utilizando nomogramas, no qual, os mesmos se tornaram mais precisos ao estabelecer e estimarem valores baseado na combinação dos atributos físicos dos solos (textura, estrutura e permeabilidade) com porcentagem de matéria orgânica, obtendo dessa análise taxas preditivas de erodibilidade (RENARD et al., 1994).

Quanto ao uso-manejo do solo (fator C), houve uma reestruturação referente aos insumos, proporcionando mais flexibilidade na descrição dos sistemas de cultivo e principalmente na conservação de sistemas de lavoura ou aqueles que envolvem forragens em rotações. Em relação as práticas conservacionistas P, as alterações refinaram os cálculos de efeito de contorno, tornando-os completamente novos, baseando-se em processos de rotinas para estipular o efeito dos cultivos em tiras e estabelecerem dessa forma um conjunto completo de rotinas para labutar com as práticas de conservação utilizadas em pastagens (Id., 1994).

As mudanças que foram efetuadas na maioria dos fatores RUSLE vieram da necessidade de incluir os avanços científicos para análises preditivas, não que o modelo simples da RUSLE não funcione bem ou não seja satisfatório, contudo, o modelo melhorado proporciona novas características e possibilidades de análise. Com o desenvolvimento interrupto da ciência, inúmeras outras adaptações por pesquisadores são elaboradas para modelos matemáticos preditivos e isso auxilia na sua difusão, uma vez que, as adaptações na maioria das vezes incluem localizações geográficas antes não apropriadas para seu uso.

3.3.3 Equação Universal de Perdas de Solo Modificada (MEUPS)

A MUSLE é uma modificação da EUPS e ambas se assemelham e diferenciam em alguns aspectos. A Equação Universal de Perdas de Solo Modificada – MEUPS ou *Modified Universal Soil Loss Equation – MUSLE* tem sido utilizada em inúmeras condições e localizações geográficas, sob diferentes perspectivas. Suas variáveis foram determinadas ou estimadas por meio de diversas abordagens com níveis de precisão dessemelhantes, sendo importante enfatizar que em alguns casos de sua aplicação, nenhuma calibração ou modificação são utilizadas, apesar dos baixos desempenhos resultantes dessa abordagem (ADEGHI, 2014).

A contextualização da MEUPS é importante para a pesquisa em questão, uma vez que, a partir do modelo EUPS, o mesmo foi modificado e melhorado e dessa forma apresenta-se como uma das possibilidades de aplicação para predição de perdas de solos por erosão. Por ser um modelo melhor elaborado, a MEUPS demanda tempo e para pesquisas de cunho acadêmico como mestrado, sua aplicação quase não ocorre devido o tempo necessário para a composição de dados para o referido modelo. São poucos os estudos que abordam a aplicação dos seus fatores em língua portuguesa, por isso a real necessidade de alguns de seus aspectos mais importantes serem abordados nessa pesquisa.

O modelo MUSLE foi proposto por Williams em 1975, no qual, “modificou a equação original do modelo, substituindo o fator erosividade da chuva por um fator referente aos efeitos do escoamento superficial na produção de sedimentos” (SCHULTZ, SIEFERT, SANTOS, 2013, p. 133). A maior vantagem em utilizar tal modelo está em sua capacidade de prever a produção de sedimentos para eventos isolados, fazendo com que as taxas resultantes de sua aplicação sejam mais precisas (WILLIAMS; BERNDT, 1977). “Assim, para a MUSLE a quantificação do aporte de sedimentos ocorre em função da ação cisalhante do escoamento superficial na desagregação do solo e produção de sedimentos” (SCHULTZ, SIEFERT, SANTOS, 2013, p. 133).

Se a EUPS é utilizada para estimar a erosão média anual em vertentes, a MUSLE é empregada para estimar o aporte de sedimentos em escalas de bacia hidrográfica e por eventos individuais (WILLIAMS, 1975, WISCHMEIER; SMITH, 1978). A segunda equação citada, é um modelo empírico que substitui o fator de erosividade da chuva R, fortemente usado na EUPS, por um fator de escoamento. Este modelo demanda que as estimativas de suas variáveis, como a calibração de seus coeficientes, sejam adequadas para as condições locais (SILVA;

CHAVES; CAMELO, 2011).

Grande parte dos estudos utilizando a MUSLE são executados na Ásia, América do Norte e Europa, com várias pesquisas também desenvolvidas no Irã, principalmente nos últimos 10 anos, tendo o Brasil déficit de dados de aporte de sedimentos referentes a bacias hidrográficas e eventos isolados, por meio de metodologias que concernem tal equação (ADEGHI, 2014). Por ser um método relativamente novo, seu uso possui aplicabilidade considerada morosa e seu uso instiga questionamentos e mais pesquisas, estando frequentemente em modificação.

A equação modificada tem sido geralmente empregada no Brasil em pesquisas que visam quantificar a produção de sedimentos em pequenas e médias bacias hidrográficas (SANTOS et al., 2014). Seu potencial expressa-se na simplicidade de sua estrutura, do número relativamente baixo de parâmetros empregados e na facilidade de calibração e aplicação (AVANZI et al., 2008). Contudo, para que se tenha dados o suficiente para a calibração dos coeficientes, é necessário que estudos sejam realizados em período mínimo 3 anos consecutivos, fazendo com que a MUSLE demande mais tempo em sua aplicação.

Entre os fatores empíricos essenciais para a utilização deste modelo, estão os fatores de cobertura vegetal C e os coeficientes de ajuste “a” e “b” que representam as condições locais. São extremamente escassos os estudos para a calibração e validação de tais coeficientes empíricos para o Brasil, principalmente para a região Nordeste e, mais especificamente para a vegetação de Caatinga, referentes a suas formas de uso e manejo (SANTOS et al., 2014). Tais necessidades fazem com que a MUSLE seja pouco aplicada em território brasileiro, por demandar muito tempo se comparado com outros modelos matemáticos que propõem o mesmo tipo de análise e pela carência de dados disponíveis.

Por outro lado, refletindo por meio de outras perspectivas, o modelo se encaixa na realidade brasileira quando considerado a disponibilidade e qualidade de dados cartográficos e hidrológicos (CHAVES, 1991). Por ser um país extenso, de delineamentos heterogêneos e características ambientais diversas, o Brasil possui grande número de estudos de cunho ambiental, no qual, tais estudos não só produzem matérias cartográficos, como também frequentemente fazem com os mesmos estejam ininterruptamente em constante aprimoramento e refinamento.

A MUSLE eleva a precisão dos índices de previsão de produção de sedimentos, exclui a necessidade de precipitações acumuladas mensais e é utilizável em chuvas torrenciais locais.

As precipitações acumuladas mensais não são exigidas na MUSLE pelo fato de que, o fator de pluviosidade representar a energia empregada apenas no destacamento de sedimento. Já o fator de escoamento representa a energia utilizada no destacamento e transporte do sedimento. Em testes realizados em diferentes localidades dos EUA, a equação explicou 80% ou mais da variação de produção individual de sedimentos por tempestade nas 60 bacias hidrográficas estudadas, com áreas que variam de 0,01 a 234 km² e declives que oscilam entre 01 a 30% (WILLIAMS; BERNDT, 1977).

A mensuração do escoamento, na maioria das vezes, nunca é disponível no planejamento de recursos hídricos, sendo o escoamento normalmente previsto com um modelo hidrológico. Nesse sentido, para avaliar adequadamente e precisamente a predição por meio da MUSLE, o emprego do escoamento é necessário. Além do índice volumétrico do escoamento, a vazão de pico de cada tempestade também é um parâmetro importante para a referida equação. As avaliações iniciam desde o pico do fluxo até as taxas e índices estabelecidos a partir dos hidrogramas previstos e do tempo de computação considerável usado (*Id.*, 1977). Dessa forma, a MUSLE é expressada pela equação:

$$Y = a (Q \times q_p)^b K \times C \times P \times LS$$

Onde, segundo Williams; Berndt (1977, p. 1100, tradução nossa) podem ser descritos como:

Y = aporte de sedimento no exutório da bacia em um determinado evento (ton.);

Q = volume de escoamento superficial (m³);

q_p = vazão de pico do evento (m³/s);

K = fator de erodibilidade do solo em (t. h\MJ mm);

LS = fator comprimento e grau de declive;

C = fator de uso e manejo do solo;

P = fator de práticas conservacionistas;

“a” e “b” = coeficientes de ajuste representantes das condições específicas locais.

Os valores de Q e de q_p são adquiridos a partir do escoamento superficial e embora os fatores Q e q_p sejam fortemente correlacionados, o fator Q é mais concernente ao processo de destacamento e o fator q_p é mais direcionado ao transporte de sedimentos. Quando o fluxo é retardado pela cobertura vegetal, vegetação morta, entre outros, a taxa do fator q_p sofre uma

atenuação, reduzindo assim o transporte de sedimentos. (WILLIAMS; BERNDT, 1977). As etapas necessárias (Figura 7) na previsão da produção de sedimentos são, segundo os autores supracitados (1997, p.1102, tradução nossa):

1. calibrar o modelo de escoamento superficial para a bacia hidrográfica a ser estudada.

As entradas a serem obtidas são:

a) precipitação pluviométrica diária;

b) evaporação média mensal da superfície da água;

c) número da curva SCS de condição II (determina a quantidade aproximada de escoamento superficial de uma chuva, mesmo em uma área específica, sendo o número da curva baseado no grupo hidrológico do solo da área, uso da terra, tratamento e condição hidrológica);

d) escoamento médio anual mensurado (determina o valor ideal do coeficiente de depleção da umidade do solo, quando medido pode ser introduzido o escoamento mensal para obter comparação das medições mensais, anuais e previstas.

Aproximadamente 3 anos de dados, são geralmente, adequados para calibrar o modelo de escoamento. Ao calibrar o modelo, o coeficiente de depleção da umidade do solo é ajustado para forçar a concordância entre o escoamento médio anual e o previsto. Saída obtida:

a) coeficiente de depleção do índice de umidade do solo;

b) número médio da curva;

c) escoamento diário, mensal e anual (desvios-padrão mensais e anuais das medidas, escoamento previsto e R2 (coeficiente de escoamento)).

2. determinar a relação entre a vazão máxima e o volume.

a) área, relevo e comprimento da bacia hidrográfica;

b) o número médio da curva SCS da saída de calibração;

c) distribuição de chuvas com duração de 24 horas (relação profundidade-duração é necessária para cada uma das três frequências diferentes de tempestades, sendo elas: 100, 10 e 1 ano). Saída obtida:

a) Hidrogramas de escoamento superficial para cada uma das três tempestades de frequência diferentes;

b) vazão e volume de pico (o volume de escoamento é plotado com a vazão máxima para determinar as constantes a partir da platagem dos valores de pico e volume).

3. Prever a produção de sedimentos. As entradas necessárias são:

a) utilização dos fatores da USLE (que são os mesmos da MUSLE) K, C, P, LS;

b) precipitação pluviométrica diária;
 c) evaporação média mensal da superfície da água;
 d) coeficiente de depleção da umidade do solo (saída de calibração do sedimento previsto na bacia hidrográfica calibrada). Saída obtida:

- a) taxas de escoamento e de sedimentos diário, mensal e anual;
 b) desvio padrão mensal e anual do escoamento e da produção de sedimentos.

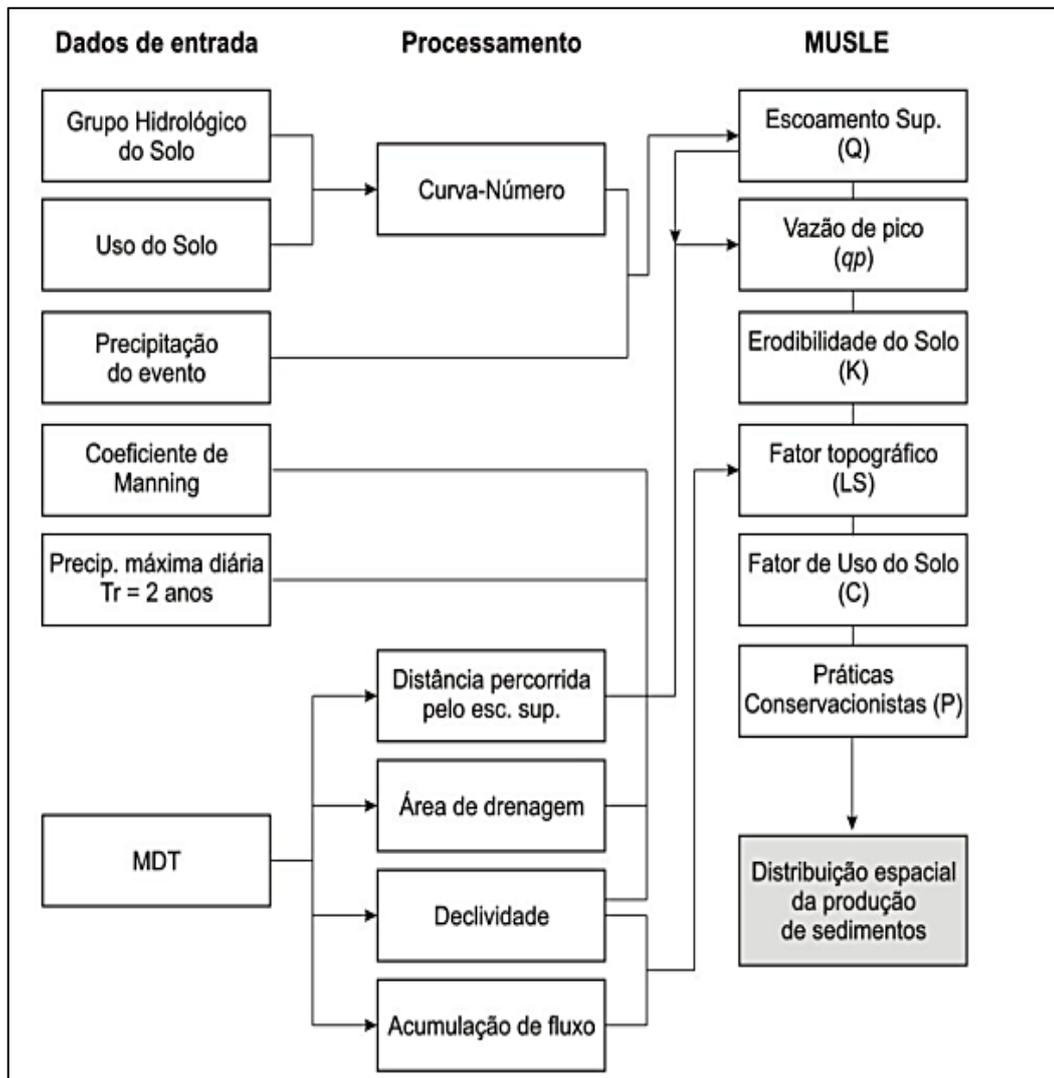


Figura 7 - Fluxograma de atividades para a estimativa da produção de sedimentos utilizando a MUSLE

Fonte: Schultz; Siefert; Santos, (2013)

Modelos estimadores de erosão como a MUSLE e derivadas, mesmo tendo sido elaboradas para fins relacionados a predição de taxas de perdas de solo e potencial natural de

erosão, têm sido muito usadas na hidrologia para a previsão do aporte de sedimento em pequenas e médias bacias hidrográficas (SILVA, 2010). “Modelos matemáticos estimadores de erosão podem ser gerados a partir de gráficos hidrossedimentológicos, ter base causal, estocástica (aleatória no tempo) ou ainda empírica” (SADEGHI et al., 2007 *apud* SILVA, 2010, p.7).

Além da MUSLE, outros modelos também são capazes de simular a erosão na escala da bacia hidrográfica, como por exemplo: *Agricultural Non-Point Source pollution model – AGNPS*, *Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation – ANSWERS*, *Limburg Soil Erosion Model – LISEM*, *A Kinematic Runoff na Erosion Model – KINEROS*, *Soil and Water Assessment Tool – SWAT* e *Water Erosion Prediction Project – WEPP* (SCHULTZ, SIEFERT, SANTOS, 2013).

A integração da MUSLE com os Sistemas de Informação Geográfica - SIG's foi proposta por Zhang et al. (2009) e recebeu o nome de ArcMUSLE. Segundo Schultz, Siefert, Santos (2013) com a utilização deste aparato o modelo preditivo assumiu caráter distribuído, possibilitando ser usada para identificação de áreas fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. O ArcMUSLE possui a função de integrar a equação original da MUSLE e o método Curva Número (CN) ao software ArcGIS para quantificar e analisar a variabilidade espacial da produção de sedimentos na escala de bacias hidrográficas.

Por ser a mais nova das difusões da equação EUPA, a MUSLE não possui fácil acesso a materiais bibliográficos que dizem respeito a sua gênese e quando se tem, muitos deles apresentam alterações se comparado com o modelo original. As alterações referentes a equação ficam visíveis na metodologia e na aplicação devido as calibrações específicas. Tais dificuldades fazem com que sua descrição seja menos aprofundada e seus detalhes de aplicação mais inexatos e dubitáveis.

4. METODOLOGIA

4.1 Arcabouço teórico

O arcabouço teórico da pesquisa dividiu-se em quatro categorias, sendo elas: o emprego da abordagem sistêmica fundamentada pelos autores Chorley (1971), Bertalanffy (1973), Christofolletti (1979), que estruturam a perspectiva das interações espaciais e dos fatores atuantes dessa interrelação; A conceituação e definição da atuação do fenômeno erosão, fundamentada pelos autores Seixas (1984), Conciani (2008), Bigarella (2003);

Os autores Wischmeier; Smith (1975) que fundamentam o modelo preditivo USLE, por terem sido pioneiros na união dos fatores e tabulação correlacionada dos mesmos no EUA; Os autores Bertoni; Lombardi Neto (2005) fundamentam a aplicação da EUPS em território brasileiro, sendo reconhecidos como destaques no Brasil e no Sudeste do país pelas cruciais pesquisas preditivas com escopo enfatizado no referido modelo matemático.

4.2 Método, técnica e metodologia

O método empregado na pesquisa em questão é o dedutivo, que segundo o entendimento clássico, “é o método que parte do geral e, a seguir, desce ao particular. A partir de princípios, leis ou teorias consideradas verdadeiras e indiscutíveis, prediz a ocorrência de casos particulares com base na lógica” (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 27). Desse modo, “Parte de princípios reconhecidos como verdadeiros e indiscutíveis e possibilita chegar a conclusões de maneira puramente formal, isto é, em virtude unicamente de sua lógica” (GIL, 2008, p. 9).

Já a técnica empregada é referente a Equação Universal de Perdas do Solo – EUPS é considerado um modelo preditivo matemático de perdas de solos que se sobressai a outras técnicas concernentes que avaliam a perda de solos engendrada pela erosão laminar (WISCHMEIER; SMITH, 1965, 1978; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; ALEWELL et al., 2019). Tal modelo exprime a ação dos principais fatores que influenciam a erosão pela ação pluviométrica. Segundo Gómez (2012, p. 22) “a formula EUPS é empregada pela multiplicação de coeficientes empíricos dos fatores influentes apresentados na equação”, sendo eles:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Onde, de acordo com Bertoni; Lombardi Neto, (2005, p. 250) podem ser descritos como:

A = perda de solo calculada por unidade de área, t/ha;

R = fator chuva: índice de erosão pela chuva, (MJ/ha.mm/ha);

K = fator erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura (MJ/ha.mm/ha);

L = fator comprimento de rampa: relação de perdas de solo entre um comprimento de comprimento de rampa;

S = fator grau de declive: relação de perdas de solo entre um declive;

C = fator uso e manejo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas de terreno mantido continuamente descoberto;

P = fator prática conservacionista: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática.

A metodologia consiste, primeiramente, na elaboração de materiais cartográficos para posteriormente, os dados gerados serem aplicados na Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS. Dessa forma, a primeira carta a ser desenvolvida foi a Carta Hipsométrica, na qual representa cotas hipsométricas da bacia em questão e foi elaborada com base nas cotas da mesma. Para obtenção das cotas foi utilizado quatro imagens DEM SRTM de 30 metros, baixado em 01/08/19 pelo site Earth Explorer da NASA. No programa Qgis 3.8.0 foi realizado análises que geraram o processamento das imagens a tornando apenas uma e posteriormente aplicável para obtenção dos dados de elevação, ficando pronta para classificação das cotas adaptadas para a área de estudo, por a bacia hidrográfica não possuir atributos extremos de altimetria.

A Carta de Declividade expressa as classes de declive seguindo a tangente da inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal, medindo e evidenciando as proporções de declive. Para obtenção das cotas foi utilizado quatro imagens DEM SRTM de 30 metros, baixado em 01/08/19 pelo site Earth Explorer da NASA. No programa Qgis 3.8.0 foi realizado análises que geraram o processamento das imagens a tornando apenas uma e posteriormente aplicável para obtenção dos dados de declive, ficando pronta para classificação das cotas adaptadas para a área de estudo, por a bacia hidrográfica não possuir atributos extremos de declividade.

Já a Carta de Uso da Terra evidencia os tipos de atividades de cunho antrópicos aplicados

na bacia hidrográfica em questão. Para obtenção dos tipos de uso, foi utilizado uma imagem do satélite LANDSAT 5 baixado do catálogo de imagens do INPE em 12/10/19, realizando a classificação automática no programa ArcMap 10.6.1, no qual foi criado banco de dados com amostras espectrais de diferentes classes e o programa elaborou uma carta com os diferentes usos da terra. Foi realizado trabalho de campo para confirmação dos dados obtidos. Segundo dados disponibilizados pelo site do INPE, o satélite LANDSAT 5 revisita a mesma área a cada 16 dias.

A Carta de Práticas Conservacionistas expressa a aplicação e não aplicação dos tipos de práticas conservacionistas no solo da referida bacia. Foi elaborada por meio de imagem de satélite CBERS2, realizando a vetorização visual dos tipos de práticas no programa AutoCad 2016. As classes de conservação encontradas nos manejos foram definidas de acordo com os estudos de Bertoni; Lombardi Neto (2005).

A Carta de Extensão de Vertentes expressa o diâmetro em metros da vertente. Foi elaborada a partir do vetor limite da bacia hidrográfica por meio dos programas AutoCad 2016 e Qgis 3.8.0. Delimitou-se para confecção da carta, primeiramente, as bacias e sub-bacias para que posteriormente fosse possível fazer as faixas buffer. As faixas buffer iniciam-se a partir do curso hídrico em direção a parte alta da vertente e finalizado essa etapa se poligonizou as mesmas em faixas de 100 em 100. Sua menor extensão foi mensurada em 100 metros e a maior quantificada em 2.300 metros. As medidas adotadas nas faixas buffer foram desenvolvidas por Pinheiro; Caetano (2020), onde Pinheiro (2012) propôs a segmentação das vertentes como metodologia de aplicação para EUPS.

A Carta do Fator LS expressa áreas que possuem maior vulnerabilidade à dinâmica erosiva. Foi elaborada com o emprego do programa TerrSet, que nele foi aplicado álgebra de mapas adicionando a fórmula proposta por Bertoni (1959) [$LS = 0,00984 C^{0,63} D^{1,18}$], sendo assim possível cruzar os dados da Carta de Declividade e Extensão de Vertentes. É considerada uma das cartas em que os resultados são diretamente relacionados com a erosão laminar, evidenciando áreas de maior vulnerabilidade erosiva.

A Carta do Fator K expressa os valores dos tipos de solos. Foi elaborado por meio de 3 etapas, sendo elas: trabalho de campo para coleta dos solos, análise dos solos em laboratório e tabulação dos dados obtidos. A primeira etapa consistiu em coletar superficialmente solos do horizonte A da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG, levando em consideração o fenômeno erosivo laminar e as necessidades do fator de erodibilidade da EUPS.

A segunda, em laboratório, fora realizada a análise granulométrica dos solos, descrita no subtópico 4.4, análise de determinação da umidade de solo, descrita no subtópico 4.5 e matéria orgânica pelo método volumétrico pelo bicromato de potássio, descrita no subtópico 4.6. Para a tabulação dos dados obtidos, foi empregado a metodologia proposta por Denardin (1990) para obtenção da erodibilidade do solo, sendo a mesma expressada por:

$$K = 0,00000748 * M + 0,00448059 * P - 0,0631175 * DMP + 0,01039567 * R \quad (1)$$

Onde,

$$M (\%) = (areia\ fina + silte) * [(areia\ fina + silte) + areia\ grossa] \quad (2)$$

Onde,

P = Permeabilidade do perfil de solo, codificada conforme Wischmeier et al. (1971);

DMP (mm) = Diâmetro médio ponderado das partículas menores que 2 mm, obtido pela seguinte equação (ARRAES et al., 2010):

$$DMP = \frac{[(0,65 * areia\ grossa) + (0,15 * areia\ fina) + (0,0117 * silte) + (0,00024 * argila)]}{100} \quad (3)$$

$$R = [(areia - areia\ muito\ fina) * \frac{teor\ de\ matéria\ orgânica\ (\%)}{100}] \quad (4)$$

A Carta de Potencialidades Erosivas expressa áreas da bacia hidrográfica onde há maior potencial da atuação da erosão laminar. Foi elaborada com o emprego do programa Spring, que nele foi aplicado álgebra de mapas adicionando a formula da EUPS ($R_x K_x L_x S$) sendo assim possível cruzar os dados da Carta de Declividade, Carta de Extensão de Vertentes, Carta do Fator K, Carta do Fator LS e dados do fator R. É considerada uma das cartas em que os resultados são diretamente relacionados com a erosão laminar evidenciando áreas de maior potencialidade erosiva.

A Carta de Perdas de Solos expressa a predição de áreas da bacia hidrográfica propícias a perda de solo por erosão laminar. Foi elaborada com o emprego do programa TerrSet, que nele foi aplicado álgebra de mapas adicionando a formula da EUPS ($R_x K_x L_x S_x C_x P$) sendo assim possível cruzar os dados da Carta de Declividade, Carta de Extensão de Vertentes, Carta de Uso da Terra, Carta de Práticas Conservacionistas, Carta do Fator K, Carta do Fator LS e

dados do fator R. É considerada o resultado final da combinação dos fatores da EUPS, por apresentar a resultância da combinação multiplicada de todos os coeficientes da equação matemática.

4.3 Análise granulométrica dos solos

Para a elaboração da análise de granulometria, em primeiro lugar foi realizado a coleta dos solos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG (Figura 8) entre as datas 14/02 (J1 a J4), 20/03 (J5 a J10) e 14/05 (J11 a J17). Os critérios adotados são relacionados com as necessidades da EUPS, especificamente com o fator de erodibilidade K, desta forma, os solos foram coletados em nível superficial, uma vez que, o modelo preditivo matemático avalia apenas erosão laminar, sendo retirado amostras em níveis de até 20 centímetros de profundidade.

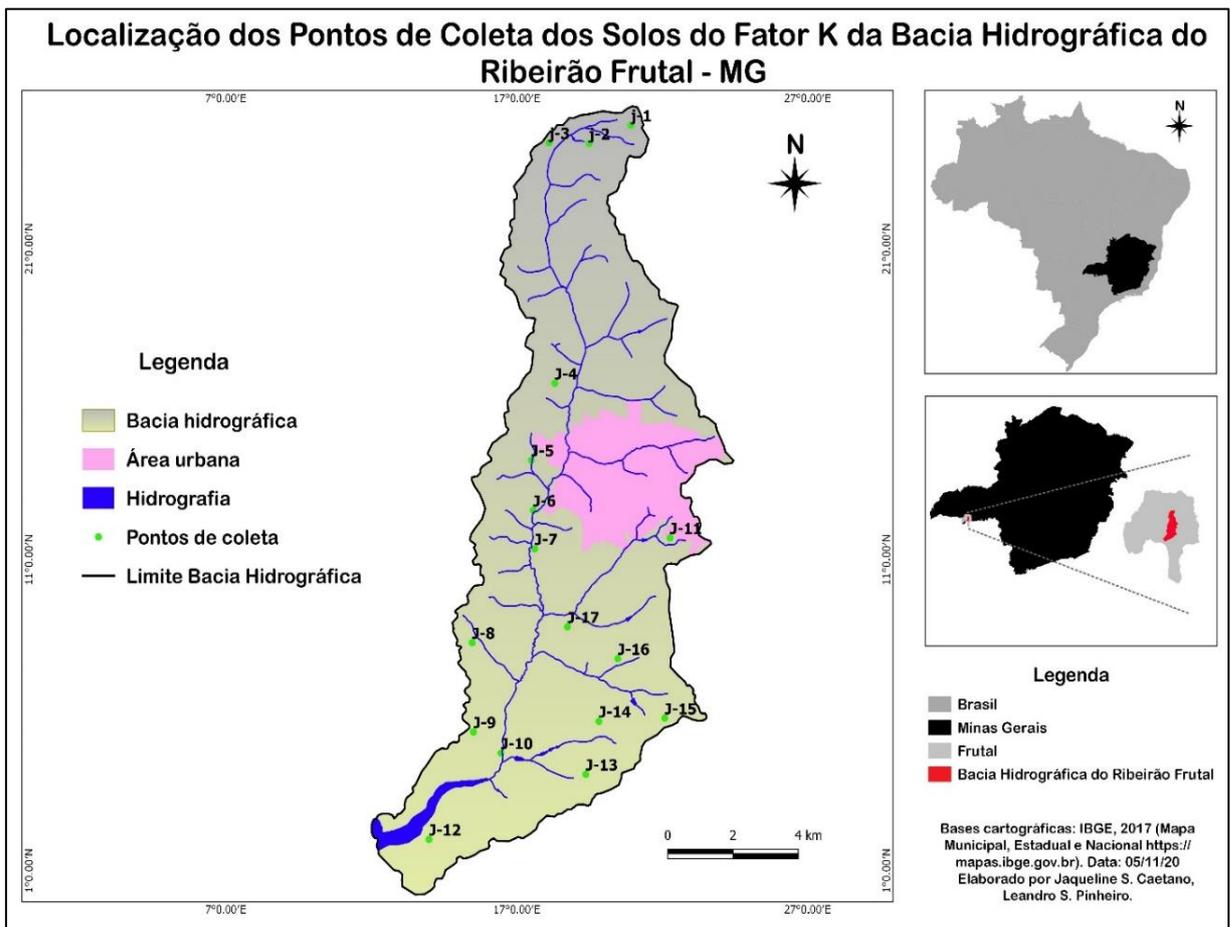


Figura 8 - Localização dos solos coletados na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG
Fonte: Caetano; Pinheiro (2020)

Em laboratório, foi seguido como base de instrução o manual de análise de solos da Embrapa (1997), dessa forma, os solos foram separados em 17 béqueres, mensurados o seu peso, previamente tarado e colocados para secar na estufa em 40° C por 24 horas. Posteriormente, os solos foram tratados com almofariz com pistilo, para que seus grãos se uniformizassem para o processo de peneiramento. As peneiras utilizadas para o peneiramento foram as de malha de 2,0 mm com latas de alumínio com tampa com capacidade de 200 mL para reter o solo no processo de peneiramento. Com o auxílio de um funil, o solo depois de peneirado foi colocado em saquinhos plásticos numerados de acordo com os pontos coletados.

Dessa forma, mensurou o peso dos frascos do agitador sem o solo e com o solo, previamente tarado, na balança analítica, a medida de solo utilizada foi de 20,000 g. Consequente, adicionou 100 mL de água destilada e 10 mL de solução de hidróxido de sódio 1 mol L⁻¹. O volume final foi de aproximadamente 150 mL nos frascos de vidros. Quando realizado o mesmo processo nas 17 amostras coletadas, montou-se as garrafas no agitador tipo Wagner, após tampá-las com parafilm. Acionou-se o agitador e dessa forma procedeu com a agitação por 16 horas a 50 rpm. Alternativamente, montou os frascos no agitador horizontal, reciprocante, para agitar por mais 16 horas, a 150 ciclos por minuto. Decorrido o tempo, o agitador foi desligado e os frascos de vidro foram retirados.

Para a separação da areia foi montado sobre a proveta de sedimentação, o funil e a peneira de malha 0,053 mm. Os frascos de vidros retirados do agitador foram utilizados, despejando as amostras, respectivamente, para o peneiramento. Lavou-se os frascos com água destilada para transferir todo o conteúdo para a peneira. Durante o processo, foi utilizado a água destilada para lavagem da areia, parando apenas quando a água despejada tomasse coloração mais próxima do transparente, não deixando ultrapassar o volume final de 1 L. A areia que permaneceu na peneira foi despejada no referido béquer, sendo retirado o excesso de água com uma pipeta e logo depois colocado na estufa para secagem a 105°C por 24 horas.

Para determinação da areia fina e de areia grossa transferiu a areia total obtida no passo anterior para uma outra peneira de malha 0,212 mm, com o fundo já conectado. Procedeu o peneiramento do material, de forma a separar a areia grossa, que ficará retida na peneira, da areia fina, que será recolhida no fundo. Transferiu-se a areia fina que passou pela peneira para a mesma lata que foi usada anteriormente e mensurou seu peso em um béquer na balança analítica com precisão de 0,01 g. O procedimento foi realizado para todas as outras amostras de forma identificada. Para determinação da concentração de areia fina e areia grossa foram

empregados, respectivamente, os seguintes cálculos:

$$T_{af} = \left(\frac{m_{af} * f}{m_i} \right) * \left(\frac{1.000}{S_m} \right) \quad (1)$$

Onde,

T_{af} = Concentração de areia fina em g kg⁻¹;

m_i = Massa inicial da amostra em g;

m_{af} = Massa de areia fina em g;

f = fator de correção de umidade para a massa inicial;

S_m = somatório das massas das frações em g.

$$T_{ag} = \left(\frac{(m_{at} - m_{af}) * f}{m_i} \right) * \left(\frac{1.000}{S_m} \right) \quad (2)$$

Onde,

T_{ag} = Concentração de areia grossa, em g kg⁻¹;

m_i = Massa inicial da amostra, em g;

m_{at} = Massa de areia total em g;

m_{af} = Massa de areia fina, em g;

f = Fator de correção de umidade para a massa inicial;

S_m = somatório das massas das frações, em g.

O líquido despejado durante o processo de peneiramento na proveta de sedimentação foi utilizado para determinação da argila, sendo empregado o método da pipeta. Para a determinação do teor de silte, foi realizado a diferença [(solo total – areia total – argila)]. Desse modo, em relação a argila, foi preparado uma nova prova de controle (todos os reagentes, exceto o solo). Adicionou-se 10 mL da solução de hidróxido de sódio 1 mol L⁻¹ na proveta de sedimentação completando até atingir a marca de 1 L com água destilada. Foi mensurada a temperatura da suspensão de uma das amostras e da prova controle com termômetro, estabelecendo, portanto, 23° C para a amostra e 22° C para o “branco” (prova de controle). Para o somatório da massa das frações foi empregado o seguinte cálculo:

$$S_m = \left(\frac{m_{af} * f}{m_i} \right) + \left(\frac{(m_{at} - m_{af}) * f}{m_i} \right) + \left(\frac{(m_{sa} - m_{ar}) * f}{m_i * R_v} \right) + \left(\frac{(m_{ar} - m_{br}) * f}{m_i * R_v} \right)$$

Onde,

S_m = Somatório das massas das frações em g;

m_{af} = Massa de areia fina em g;

m_{at} = Massa de areia total em g;

m_{sa} = Massa de silte + argila seca em estufa em g;

m_{ar} = Massa de argila seca em estufa em g;

m_{br} = massa do controle seca em estufa em g;

m_i = Massa inicial da amostra em g;

R_v = Razão do volume pipetado para o volume total da proveta;

f = Fator de correção de umidade para a massa inicial.

Destarte, deu-se continuidade ao processo, agitando a suspensão de cada amostra nas provetas de sedimentação, inclusive da prova controle, utilizando-se do bastão de agitação de vidro para cada amostra. Realizou a agitação vigorosa por 1 minuto, sendo a mesma executada de forma manual. Aguardou-se o tempo de sedimentação da fração silte, conforme o tabelamento da Embrapa (1997), estipulando tempo de sedimentação de 03h:41 min. Passado o tempo de sedimentação da fração silte, inseriu-se a pipeta a 5 cm de profundidade e pipetou 25 mL da suspensão de argila.

Posteriormente, transferiu a alíquota para béquer seco, limpo, previamente identificado e tarado, levando-os para secagem em estufa a 105° C, por 24 horas. Após o período de secagem, os béqueres contendo os resíduos pipetados foram retirados secos da estufa, deixados esfriar no dessecador e pesados em balança com precisão de 0,001 g. Para determinação da concentração de argila e silte foram empregados, respectivamente, os seguintes cálculos:

$$T_{arg} = \left(\frac{(m_{ar} - m_{br}) * f}{m_i * R_v} \right) * \left(\frac{1.000}{S_m} \right) \quad (1)$$

Onde,

T_{arg} = Concentração de argila em g kg⁻¹;

m_i = Massa inicial da amostra em g;

m_{ar} = Massa de argila seca em estufa em g;

m_{br} = Massa do branco seca em estufa em g;

R_v = Razão do volume pipetado para o volume total da proveta descontado o volume retirado na primeira pipetagem;

f = Fator de correção de umidade para a massa inicial;

S_m = Somatório das massas das frações em g.

$$T_s = \left(\frac{(m_{sa} - m_{ar}) * f}{m_i * R_v} \right) * \left(\frac{1.000}{S_m} \right) \quad (2)$$

Onde,

T_s = Concentração de silte em g kg⁻¹;

m_i = Massa inicial da amostra em g;

m_{sa} = Massa de silte + argila seca em estufa em g;

m_{ar} = Massa de argila seca em estufa em g;

R_v = Razão do volume pipetado para o volume total da proveta;

f = Fator de correção de umidade para a massa inicial;

S_m = Somatório das massas das frações em g.

4.5 Análise de determinação do teor de umidade dos solos

Para a elaboração da análise de umidade dos solos, foi seguido como base de instrução o manual de análise de solos da Embrapa (1997). Dessa forma, para determinação do teor de umidade presente na amostra dos 17 solos coletados, os mesmos foram transportados em embalagem impermeável e vedada. Em laboratório, dispôs-se das amostras em béqueres secos, limpos, previamente identificados e tarados. Mensurou as amostras em balança analítica e as transferiu para estufa a 105-110° C, deixando nesta condição durante período de 24 horas. Dessa forma, os dados representam quatro categorias, sendo elas: o peso do béquer, peso do solo úmido, o peso do béquer mais o solo seco e a umidade em (%). Os cálculos utilizados para tabulação dos dados de umidade (%) foram:

$$\textit{Umidade Gravimétrica} = 100 (a - b) / b \quad (1)$$

$$\textit{Umidade Volumétrica} = 100 (a - b) / c \quad (2)$$

Onde,

a = peso da amostra úmida (g)

b = peso da amostra seca (g)

c = volume da amostra (cm³)

$$\textit{Umidade Volumétrica} = (1) \times d \quad (3)$$

Onde,

(1) = umidade gravimétrica

d = densidade do solo (g/cm³)

4.4 Análise de matéria orgânica: método volumétrico por bicromato de potássio

Para a elaboração da análise de matéria orgânica dos solos, foi seguido como base de instrução o manual da Embrapa (2017). Dessa forma, para a análise em questão, para cada uma das 17 amostras de solos foram utilizados aproximadamente 20 g de terra fina seca em estufa, triturados em gral, posteriormente, passando em peneira de 80 mesh. Foram pesados 0,5 g da terra peneirada, colocadas em erlenmeyer de 250 mL e adicionado 10,00 mL de solução de K₂Cr₂O₇ 0,0667 mol L⁻¹ (bicromato de potássio) nas amostras de solos, respectivamente, em seus frascos demarcados.

Finalizado o processo anterior, foi preparado tubos de ensaio de 25 mm de diâmetro e 250 mm de altura e colocados em estante de alumínio. Desse modo, foram colocados para aquecer em chapa aquecedora atingindo o máximo de 150 °C até a fervura branda, até transparecer a cor amarelo-castanha. Depois de esfriado, foi adicionado 80 mL de água destilada (medida com proveta), 2 mL de ácido ortofosfórico e três gotas do indicador difenilamina a 10 g/L

Para a titulação foi usado a solução de sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol L⁻¹ e anotado o volume gasto durante o processo de viragem. A viragem ocorreu quando a cor escura

desaparece dando lugar a cor verde claro. O cálculo utilizado para tabulação dos dados de porcentagem de carbono orgânico existente em cada amostra foi:

$$C_{org} = \frac{0,003 \times V_d \times (40 - V_a) \times \frac{40}{V_b} \times 10}{m}$$

Onde:

C_{org} - concentração de carbono orgânico no solo, em $g\ kg^{-1}$;

V_d - volume total da solução de dicromato de potássio adicionado na digestão da amostra, em mL;

V_a - volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra, em mL;

V_b - volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco aquecido, em mL;

0,003 - miliequivalente da massa de carbono (peso atômico/valência – 12/4, dividido por 1.000);

10 - transformação de % para $g\ kg^{-1}$;

m - massa da amostra de solo, em g.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Hipsometria

A carta hipsométrica (Figura 9) revela que a Bacia Hidrográfica possui variações altimétricas situadas entre as cotas de 430 a 650 metros, tendo o aumento da elevação de forma contínua e ininterrupta de jusante em sentido a montante. Possui nas margens do canal principal elevações menores entre a faixa de 430 a 540 metros e prossegue em direção às extremidades da borda, adquirindo maior elevação hipsométrica entre a faixa de 540 à acima de 650 metros. Dessa forma, há na Bacia Hidrográfica elevação em sentido a direção Norte, resultando em um local significativo para o estudo de erosão laminar preditiva.

Os resultados obtidos mostram a elevação da altitude em direção as bordas da Bacia, e que, em contrapartida o curso do canal principal possui menor altitude, tendo tal característica típica de Bacias Hidrográficas. Outras características mais intrínsecas à Bacia Hidrográfica estudada referem-se a sua morfologia, na qual, é alongada e nas partes mais largas indica que a velocidade dos cursos hídricos é menor. O formato mais estreito possui relação com a água, é mais encaixado por causa da maior incisão provocada pelos canais hídricos, assim como, a proximidade que a mesma se encontra do Planalto do Rio Grande, composto por relevo de Chapada, localmente denominado e conhecido como Serrinha.

Tal cenário traduz numa região que se encontra geologicamente intercalada de Arenito e Basalto, onde o Basalto advém da Formação Serra Geral situada na calha do Rio Grande e do Arenito advindo da Formação Marília (CPRM, 2003). A relação que ambas formações possuem em comum é a influência que as mesmas engendram na constituição dos tipos de solo e isso ocorre diante das combinações entre as condições microclimáticas, pedogênese, relevo e processos geológicos superficiais (BIRKELAND, 1984). Portanto, aproximadamente até a altitude de 500 metros se encontrara um tipo de solo e abaixo disso outro.

Abaixo de 500 metros de altitude se tem solos correlacionados a rocha ígnea Basalto, advindo da formação Serra Geral e derivando solos de acordo com a classificação pedológica Latossolos, de propriedade vermelho ou vermelho-amarelo, de textura muito argilosa, argilosa e média.

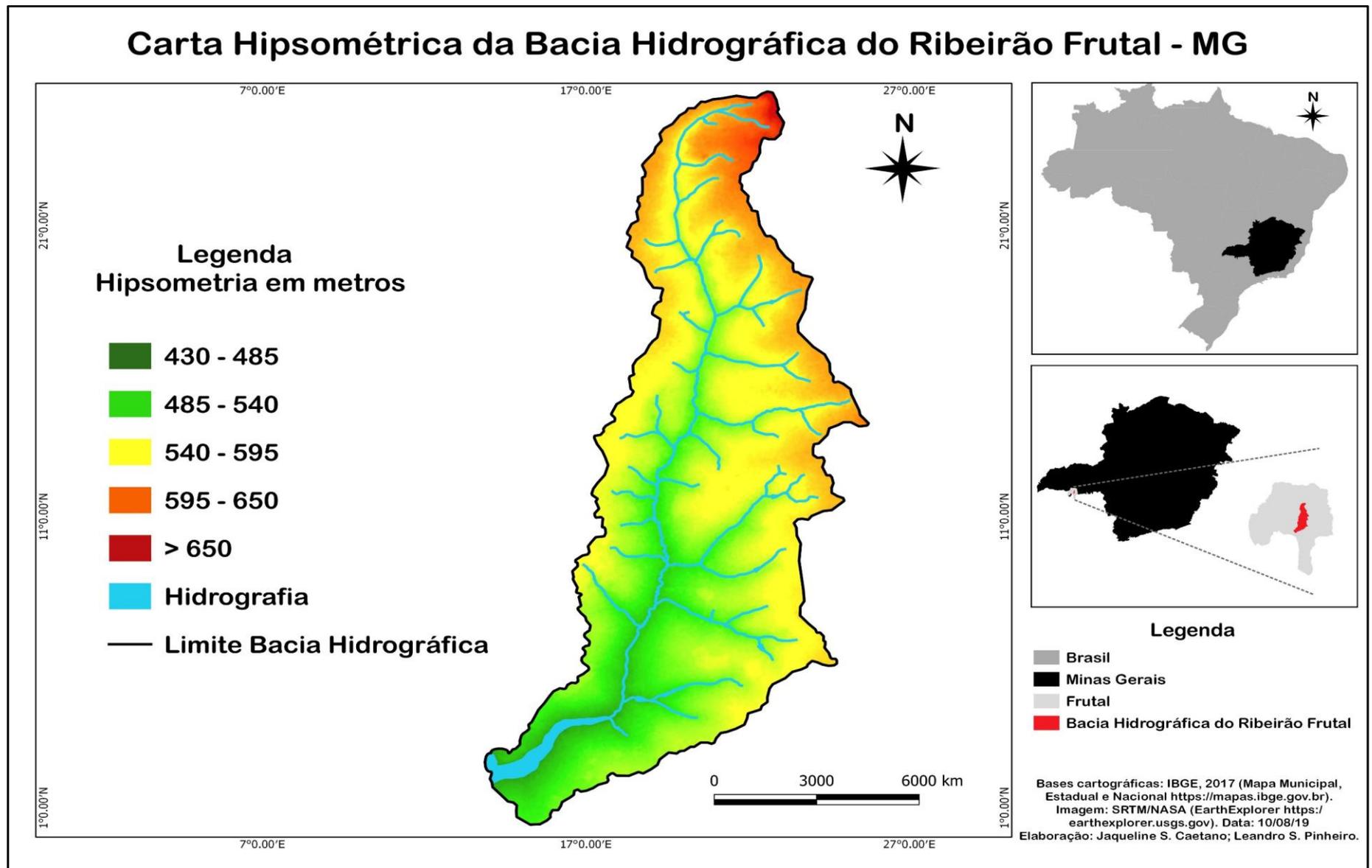


Figura 9 – Carta Hipsométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG
 Fonte: Caetano; Pinheiro (2019)

Consequente, à medida que a altitude vai se elevando, há a variação, e em altitudes maiores atinge-se a Formação Marília que resulta na rocha sedimentar Arenito, de propriedade mais cimentadas e mais resistentes. Correspondente ao último local citado, há uma maior incisão acarretada pelo aumento da declividade, traçando erosão fluvial em sentido mais vertical. Por isso, as bordas da Bacia possuem maior altimetria, principalmente nos setores média e alta Bacia.

O estudo hipsométrico de bacias hidrográficas é fundamental para compreendermos a sua dinâmica, pois, pode-se determinar por tal característica os picos das elevações que separam a drenagem das bacias, assim como as condições microclimáticas, os processos geológicos e geomorfológicos superficiais. É possível compreender sua morfologia e os aspectos que mesmos indiretos podem acarretar no processo erosivo laminar e na perda de solos, uma vez que, a amplitude altimétrica contribui para o escoamento das águas das precipitações pluviométricas (BIRKELAND, 1984).

5.2 Declividade

A carta de declividade (Figura 10) foi elaborada com base nos estudos de Cristo (2013), onde o autor classifica os terrenos planos com declividade entre 0 a 2%, situados adjacentes as drenagens, suscetíveis a ocorrência de inundações periódicas; os terrenos com declives entre 2% a 5% são considerados suave-ondulados, onde podem suceder processos acumulativos; as áreas caracterizadas entre 5% a 15% são apontadas como onduladas e o limite inicial para implementação de algumas atividades antrópicas; os terrenos que denotam declividades maiores que 15% estão sujeitos aos escorregamentos e movimentos de massa. Nesse contexto, também podem ser esperados e considerados em declividades maiores que 15%, índices efetivos de erodibilidade do solo.

Por isso, como a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG não possui atributos extremos de declividade, as cotas foram adaptadas para o presente trabalho, de modo a ser ressaltado e melhor visualizado a declividade, conforme a necessidade da Bacia Hidrográfica. Dessa forma, as cotas de declive se permaneceram entre: 2 – 5%, 5 – 10%, 10 – 15%, 15 – 20% e > 20%. É notório que a declividade se eleva em partes localizadas no centro e em sentido a montante, direção Norte da Bacia Hidrográfica.

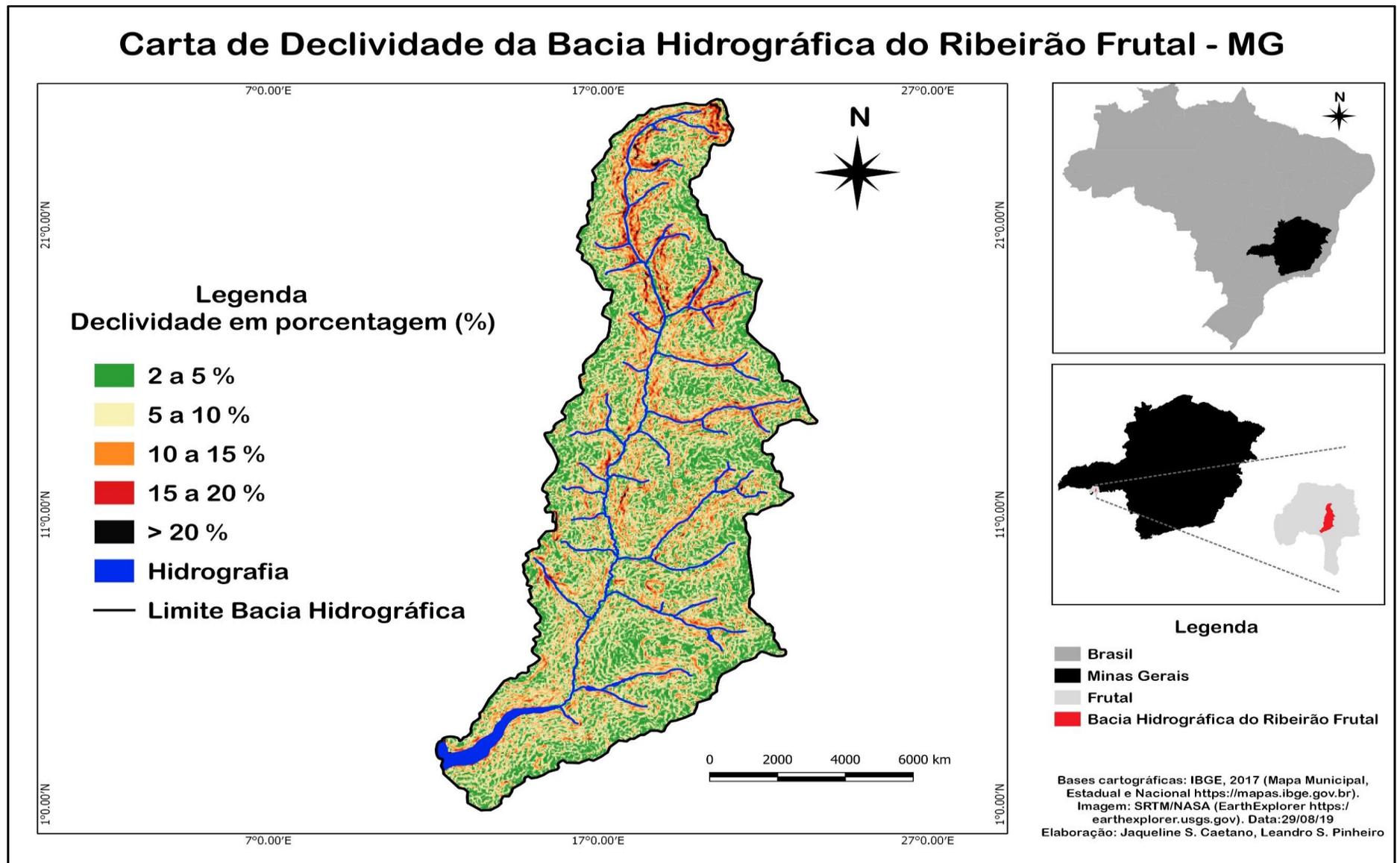


Figura 10 - Carta de Declividade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG
Fonte: Caetano; Pinheiro (2019)

Para melhor obtenção e uso dos resultados é necessário o emprego da visão e interpretação sistêmica, a imprescindível Teoria Geral dos Sistemas. Diante disso, seguindo as características de declividade no alto curso da Bacia do Ribeirão Frutal - MG, encontram-se as suas nascentes, que possuem declive acima de 20%, engendrando escoamento pluvial superficial concentrado e incisivo, com registros de erosão e voçorocamento em sentido Oeste da Bacia. Já no médio curso há a cidade de Frutal (MG), ocasiona maior pressão no meio físico devido a urbanização.

Não sendo o bastante, o perímetro urbano não possui sistema de drenagem adequado, desenvolvendo com a presença de precipitações pluviométricas fluxo hídrico com carreamento de sedimentos, direcionando-os para os diversos setores da Bacia Hidrográfica em questão, apresentando dessa forma, assoreamento em vários pontos dos cursos hídricos. Recebe ainda, no médio curso, dejetos descartados pela população de forma inadequada e resíduos provindos da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município.

No médio e baixo curso, a velocidade do fluxo do Ribeirão Frutal começa a diminuir demasiadamente, em função da baixa declividade do leito em direção à jusante e a proximidade do nível de base, representado pelo facilitado represamento da Hidrelétrica de Marimbondo. Dessa forma, o relevo também caracteriza os usos da terra, fazendo com que haja muitas plantações de monocultura canavieira e, em escala inferior, o exercício da pecuária. Já em contrapartida, no alto curso, prevalece a pecuária, contudo, a declividade mais elevada permite o acondicionamento vegetal de matas, devido a maior dificuldade ao acesso humano.

Em relação a erosão, a discussão será em torno do fator da EUPS denominado LS, no qual unifica o comprimento e o grau do declive. Ambos se tornam muito potencializados quando discutidos juntos, sempre deixando claro que L e S são fatores diferentes e que essas diferenças se unem e apresentam resultados mais complexos sobre a ação de ambos sob a erosão. Se reconhece a relação sistêmica entre grau de declive e o diâmetro de vertente, sendo possível constatar as possibilidades de análise que o fator topográfico propõe.

Muitos autores afirmam que a declividade é agente pivô para a perdas de solos, mas outros fatores, a exemplo, a vegetação, também podem ser cruciais para a diminuição dessa perda, não anulando a declividade, mas fazendo com que esse agente seja menos incisivo e ganhe outras perspectivas de atuação. Isso, todavia, depende de cada cenário, sempre sendo necessário enfatizar os aspectos naturais e antrópico de cada ambiente estudado.

Analisando de forma integrada a paisagem, elevando as interações engendradas entre o

meio físico e os fenômenos adjacentes de origem natural e\ou antrópica, é possível explicar que a na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG, a inclinação do terreno tem fundamental influência no escoamento superficial das águas da chuva, nos processos de erosão do solo, no assoreamento de rios e na ocorrência de inundações e de muitos outros processos que ocorrem em sistemas naturais e antropizados, assim como, também é responsável pela implementação e desenvolvimento das atividades antrópicas.

5.3 Extensão de Vertentes

A Carta de Extensão de Vertentes da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG (Figura 11), evidencia que no setor Norte da bacia há maior declividade, no entanto, a extensão das vertentes é menor. Já no setor Sul sucede o contrário, tendo menor declividade e maior extensão das vertentes. A relação entre as extensões das vertentes é importante para o entendimento de como a erosão hídrica e o escoamento superficial atuam na superfície e como ambos se comportam e modelam o relevo em extensões de vertentes dissemelhantes, gerando interruptamente delineamentos e feições heterogêneas ao perpetuar do tempo geológico.

Ao conceituar o termo ‘vertente’, pode ser descrita como uma forma tridimensional modelada por processos de denudação, atuantes no pretérito e\ou no presente, representando a correlação dinâmica e sistêmica entre o interflúvio e o topo de vale (JAN DYLIK, 1968 *apud* CHRISTOFOLETTI, 1974). “A sua dinâmica pode ser estudada na perspectiva dos sistemas abertos, recebendo e perdendo tanto matéria como energia. As fontes primárias de matéria são a precipitação, a rocha subjacente e a vegetação” (CHRISTOFOLETTI, 1974, p. 46).

O escoamento superficial, segundo Bigarella (2003), é o grande agente responsável pela erosão pluvial, no entanto, quando se inicia tal processo ainda não há energia o bastante para haver erosão, contudo, o potencial erosivo eleva vertente a baixo, influenciado pelo aumento do comprimento da extensão da vertente e pela inclinação da superfície. Para Tánago (1991), é perceptível a existência de um perímetro de menores taxas de erosão nos setores mais elevados da vertente, assim como a ocorrência de fenômenos erosivos de maior intensidade no setor médio e o processo de sedimentação predominante no setor baixo, onde estão localizados os declives menos elevados.

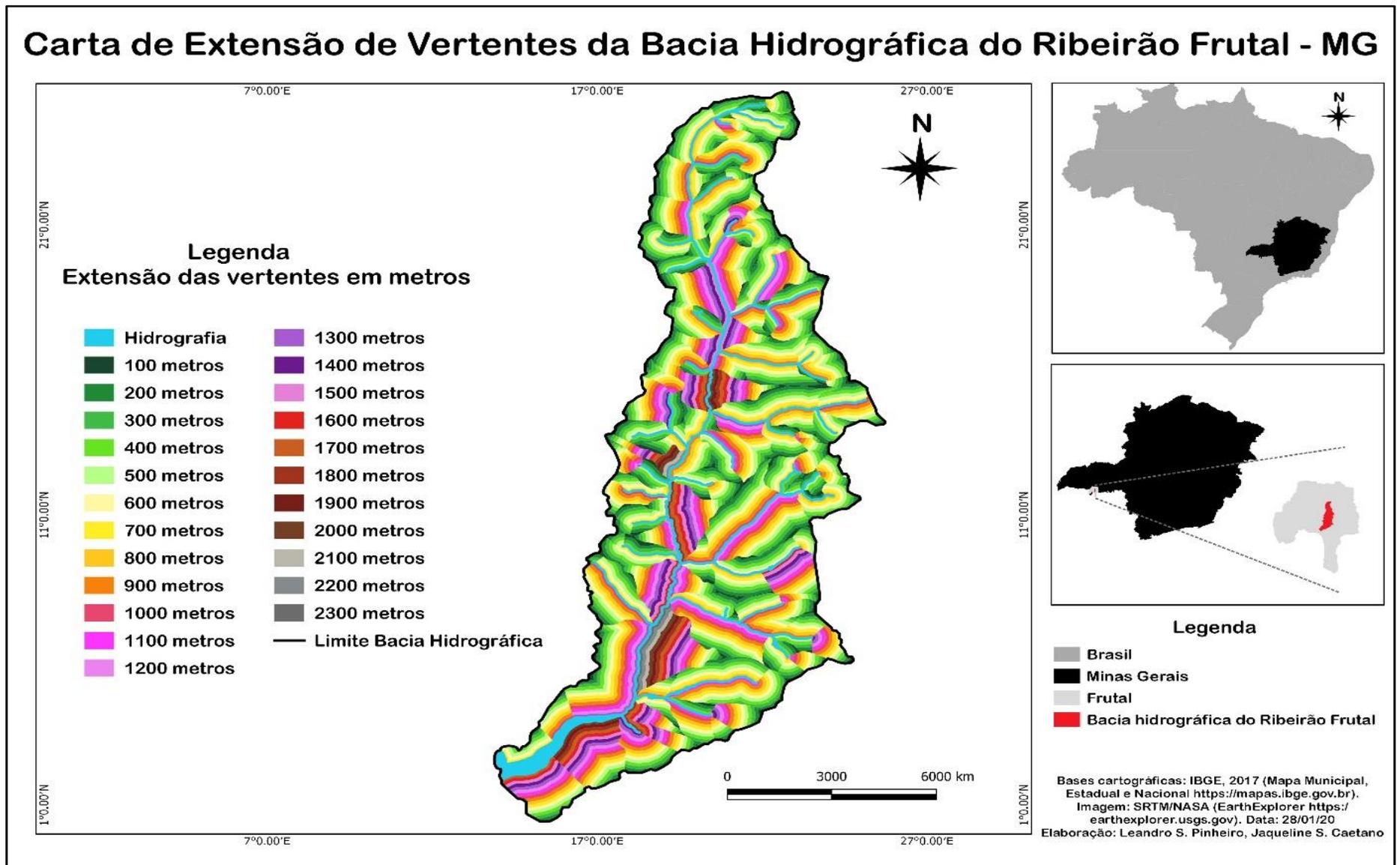


Figura 11 - Carta de Extensão de Vertentes da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG
Fonte: Pinheiro; Caetano (2020)

Para Bertoni; Lombardi Neto (2005, p. 58) o comprimento de rampa está presente na categoria de fatores mais relevantes quando o tema concerne a erosão dos solos, no entanto, os dados referentes a esse fator muitas das vezes são mal interpretados, pois “duplicam o comprimento da rampa, sendo que as perdas de solo são mais que o dobro, porém a perda de solos por hectare não é duplicada”. “A quantidade de solo erodido não pode ser generalizada para toda a vertente, não se deve fazer uma média por hectare dos dados quantitativos obtidos no final da vertente. Dessa forma, ao se considerar um único valor para toda a vertente” (PINHEIRO et al., 2014, p. 59).

Há uma diferenciação da energia cinética do escoamento superficial que advém das precipitações pluviométricas, que quando escoam vertente a baixo, no início da vertente o escoamento possui baixa velocidade e só a partir do ganho de extensão que a velocidade do fluxo pluvial começa a aumentar. Contudo, não significa que a velocidade da água irá dobrar só porque a vertente duplica de extensão. Há outros fatores que influenciam no ganho e na perda de velocidade do fluxo pluvial e um deles é a declividade. A forma do declive, este podendo ser côncavo ou convexo, homogêneo ou deformado, elevados ou menos elevados, a depender do cenário estudado, influencia no aumento ou na diminuição da velocidade do escoamento que por sua vez influencia na perda de solo e deposição de sedimentos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; PINHEIRO, 2012).

“Em princípio, quanto maior o comprimento de rampa, mais enxurrada se acumula, e a maior energia resultante se traduz por uma erosão maior” (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005, p. 56). No entanto, faltam pesquisas e estudos sobre a correlação entre a velocidade do fluxo do escoamento pluvial e a extensão das vertentes, de modo a monitorar, comparar e engendrar resultados confiáveis (PINHEIRO, 2012). A EUPS estima a perda de solo pela erosão laminar, levando em conta os fatores condicionantes da erosão, mas, existem fatores limitantes.

Segundo Pinheiro et al. (2014) a EUPS não considera a geometria das vertentes e abrange parcialmente a concepção da extensão das vertentes, fator esse que possui extrema importância e influência no fenômeno erosivo pluvial da superfície. A EUPS trabalha a taxa em toneladas por hectare ao ano, no entanto, ao aplicar os valores absolutos uma vertente maior tende a fornecer mais material de forma a assorear canais fluviais. “No tocante ao comprimento das vertentes, apesar de sua reconhecida importância na análise erosiva, observa-se, na literatura referente ao uso da EUPS, que as extensões de vertentes são superestimadas na maioria dos trabalhos” (PINHEIRO et al., 2014, p. 50).

Os “dados escassos indicam que o uso do gradiente médio de um comprimento de rampa pode subestimar as perdas de solo de declives convexos e superestimar os dos côncavos” (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005, p. 58). Tal relação dificulta a mensuração de dados preditivos de erosão na extensão das vertentes. “Por meio de suas distintas feições, as vertentes culminam por determinar o destino do escoamento superficial, bem como, condicionar a energia e os efeitos dessa atuação” (PINHEIRO; CAETANO, 2021).

5.4 Declividade e Extensão de Vertentes

A Carta do Fator LS da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG (Figura 12) foi elaborada por meio de álgebra de mapas, cruzando os dados da Carta de Declividade e Extensão de Vertentes, gerando uma nova carta com o fator da EUPS. Os locais de maior probabilidade de ocorrência de erosão estão localizados próximas da baixa vertente, estando diretamente relacionando com maiores extensões da vertente no setor baixo vertente parte Sul e nas classes de declives mais elevadas no setor alta vertente parte Norte da bacia.

O fator topográfico se caracteriza como um dos mais importantes fatores da EUPS para compreensão dos processos de escoamento superficial e erosão hídrica (ROCHA; LOMBARDI NETO; BACELLAR, 1996; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005), por expressar áreas que possuem maior vulnerabilidade à dinâmica erosiva (PINHEIRO, 2012). A análise da vulnerabilidade pode ser detectada a partir de diferentes elementos como tipos de solo, cobertura vegetal, erosividade e tipos de relevo. Na análise da pesquisa em questão, foi utilizado apenas o declive e a extensão de vertentes, por seguir os parâmetros adotados pela EUPS.

Segundo Bertoni; Lombardi Neto (2005, p. 58) “a topografia do terreno, representada pela declividade e pelo comprimento dos lançantes, exerce acentuada influência sobre a erosão. O tamanho e a quantidade do material em suspensão arrastado pela água dependem da velocidade com que ela escorre”. Ainda segundo os autores supracitados, a velocidade do escoamento pluvial é o resultado do comprimento do lançante e do nível de declividade do terreno. Ambas as combinações agem sobre o escoamento de forma a reger sua atuação e a mesma pode proporcionar níveis menos e mais elevados de erosão pluvial sobre o solo, determinando dessa forma os índices de perda e deposição do mesmo.

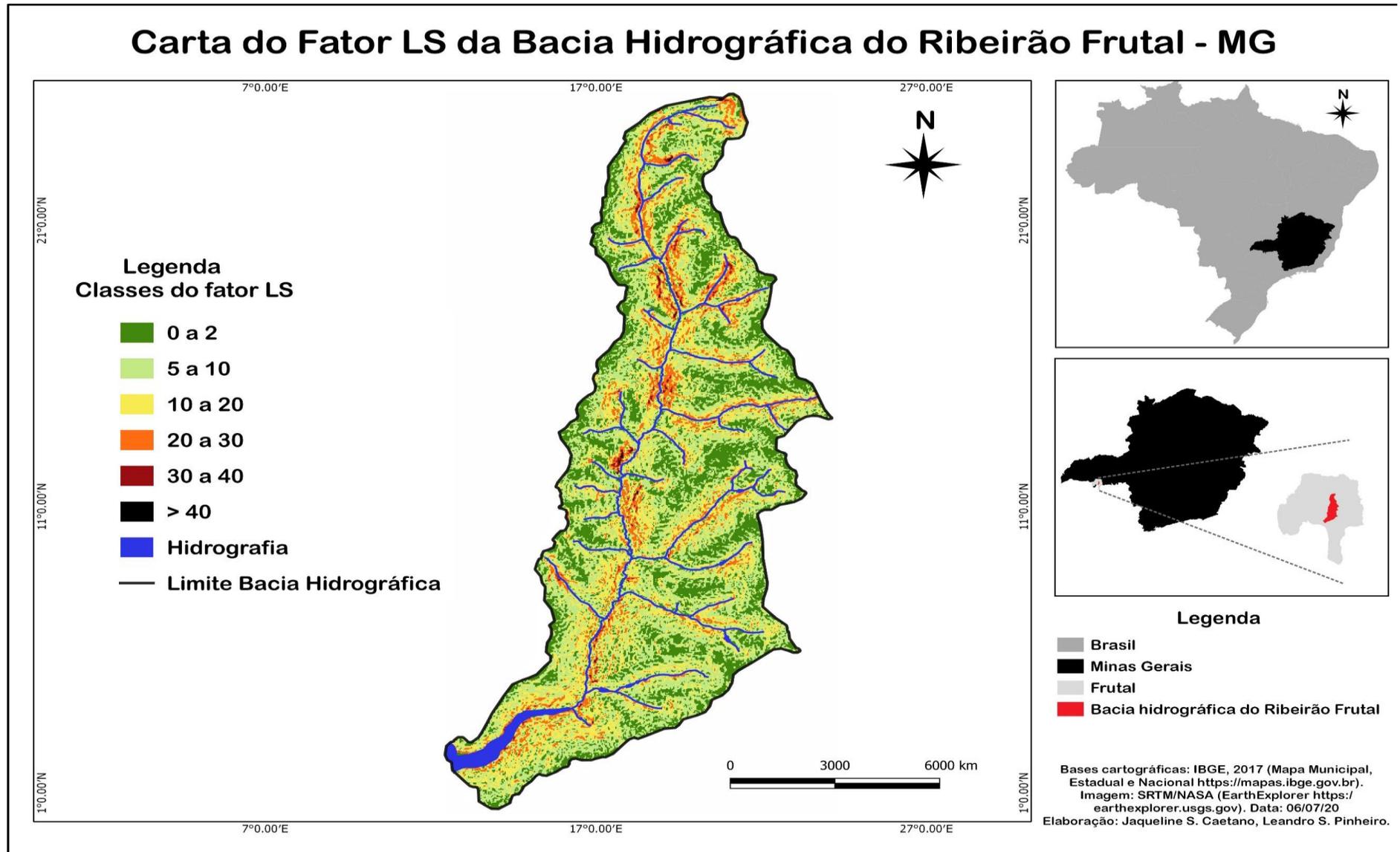


Figura 12 - Carta do Fator LS da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG
Fonte: Caetano; Pinheiro (2020)

No cálculo de porcentagem (%) realizado por meio da carta do fator LS (Tabela 1), é possível analisar a área coberta pelas classes que variam de 0 a > 40. Pode ser corroborado que áreas significativas, em congruência com a vulnerabilidade erosiva, possuem menor porcentagem representativa na bacia hidrográfica, contudo, ainda sim apresentam relevância no fator estudado.

Tabela 1 - Porcentagem de área coberta das classes do fator LS da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG

Classes de LS	Cor representativa / RGB		(%) de área coberta
0 a 2	Verde escuro	R11 / G111 / B36	25,7
5 a 10	Verde claro	R194 / G239 / B135	37,8
10 a 20	Amarelo	R254 / G245 / B90	24,0
20 a 30	Alaranjado	R255 / G128 / B0	10,3
30 a 40	Vermelho escuro	R132 / G0 / B0	1,5
> 40	Preto	R0 / G0 / B0	0,7
-	-	-	100

Fonte: Elaborado pela autora

Dessa forma, se reconhece relação sistêmica entre grau de declive e o diâmetro de vertente, se é possível admitir também as variadas possibilidades de análise que o fator topográfico possibilita. Diante disso, eis algumas, a começar pelas observações referentes as classes do fator LS apresentadas na figura 12. Essas são consideradas adimensionais, ou seja, não há nenhuma dimensão física aplicável, fazendo com que as cores sejam responsáveis pela representação dos índices de maior vulnerabilidade à erosão laminar. Diante das mesmas, as que mais chamam atenção e merecem ênfase são as cores, amarela, alaranjada, vermelha e preta, por representarem localidades de média a grande possibilidade de ocorrência de erosão laminar.

Todas as cores possuem em comum a forma que são analisadas, em outras palavras, todas representam taxas de LS em grau comparativo e contínuo até chegar no que classificamos como limite final representativo, que nada mais é do que um número visualmente representativo no produto cartográfico elaborado, sendo o mesmo e todas as outras taxas de LS baseadas nas classes de declividade e extensão de vertentes. Nessa perspectiva, as cores verde escuro e verde claro não são áreas significativas em congruência com a vulnerabilidade erosiva, mas as cores amarela, alaranjada, vermelha e preta são indícios persistentes na predição de erosão, por combinar fatores diretamente relacionados com os processos que atuam na perda de solos e, conseqüentemente na deposição das partículas arrastadas pelo escoamento superficial.

A cor amarela representa taxa de LS 10 a 20 e localiza-se relativamente próximas da baixa vertente. Essas áreas estão sujeitas a processos acumulativos e limite inicial para implementação de algumas atividades de cunho antrópico, sendo neste caso o emprego da agricultura e pecuária. Por serem áreas de deposição, as perdas de solo se caracterizam como leves e não costumam se elevar em níveis mais graves, de modo a ocorrer sulcos suaves, mas, infreqüentemente ravinas ou voçorocas, contudo, são capazes de diminuir a qualidade e saúde do solo, dos recursos hídricos, assim como da produtividade agrícola em geral.

A cor alaranjada representa taxa de LS 20 a 30 e expressa declividades mais elevadas na porção inferior da vertente, ou seja, na parte mais baixa, conseqüentemente, perto dos canais hídricos, tendo nessas localidades extensões de vertentes mais elevadas. Nessas áreas são esperados índices efetivos de erodibilidade do solo e taxas elevadas de perdas de solos por erosão. Por serem áreas de elevada vulnerabilidade erosiva, as perdas de solo se caracterizam como medianas a graves, de modo a ocorrer sulcos mais profundos, podendo engendrar posteriormente ravinas e voçorocas, sendo capazes de desestabilizar atividades antrópicas e os sistêmicos processos naturais do meio ambiente.

A cor vermelha representa taxa de LS de 30 a 40 e localizam-se em algumas partes próximas da baixa vertente. Essas áreas estão sujeitas aos processos citados anteriormente e condizem dessa forma por ambientes que merecem atenção majoritária. Nota-se que sua representatividade visual expressa no mapa é menor do que as demais cores, no entanto, a concentração dessa cor indica índice alarmante de vulnerabilidade e maior probabilidade do sucedimento de erosão, fazendo com que essas áreas ganhem destaque em ocorrências de níveis mais alarmantes de ravinas e voçorocas. Sabe-se por meio de trabalho em campo que nessas regiões, principalmente na zona Norte da bacia, a erosão laminar e linear são muito comuns e manifestam-se em ambientes de maiores declives.

A cor preta representa taxa de LS >40 e localizam-se em poucas partes da bacia hidrográfica, concentrados em determinados espaços e distribuídos nos perímetros de média e alta bacia. Esse índice como mencionado anteriormente expressa o limite final representativo, que nada mais é do que um número limite visualmente representativo no produto cartográfico elaborado. Não é uma cor muito expressa na carta e encontra-se em algumas localidades onde também se apresenta a cor vermelha, elevando ainda mais a atenção nessas regiões. A erosão se antes já era um fenômeno preocupante no índice de cor vermelha, agora merece mais atenção por elevar ainda mais sua potencialidade e vulnerabilidade erosiva.

5.5 Uso da terra

A Carta de Uso da Terra (Figura 13), por sua vez, expressa a utilização da bacia hidrografia em questão para atividades de cunho antrópico, sendo representado o uso da atividade agrícola com culturas de laranja, cana-de-açúcar e seringueiras. Grande parte do seu território é usado para a atividade canavieira, seguindo da pastagem empregada para criação de gado, sendo a pecuária a segunda atividade mais expressiva desenvolvida na bacia do Ribeirão Frutal, deixando assim resquícios de mata ribeirinha, no qual a mesma possui seguimento pelos canais hidrográficos da bacia do Ribeirão Frutal (MG).

A rotatividade das culturas faz com que a elaboração do material cartográfico seja dificultada e isso ocorre devido a alternância de espécies vegetais numa mesma área agrícola. Contudo, leva-se em consideração nesse estudo de avaliação preditiva de erosão laminar, o manejo que predomina em maior tempo de cobertura e sequência. Em campo se é possível melhor avaliar e analisar os aspectos congruentes ao uso da terra, a exemplo disso, culturas de soja, sorgo e amendoim foram observadas em algumas localidades da bacia, no entanto, tal atividade era usada em sucessão de culturas, sendo o diagnóstico perceptível pelos resíduos de cana-de-açúcar que ali se encontravam junto as plantações supracitadas e por isso as mesmas não foram consideradas no uso da terra.

A cobertura vegetal em bacias hidrográficas sofre no decorrer do tempo inúmeras modificações, sejam elas naturais ou artificiais, fazendo com que este fato engendre os mais diversos impactos ao sistema natural. O escoamento superficial é um dos primeiros fatores a sofrerem alteração quando a cobertura vegetal da bacia é modificada e, por consequência, a produção de sedimentos e a deposição dos mesmos. Observando a espacialidade representada pela carta de uso da terra, é visível que a bacia hidrográfica do Ribeirão Frutal possui em sua quase totalidade a alteração da cobertura vegetal nativa para a agrícola.

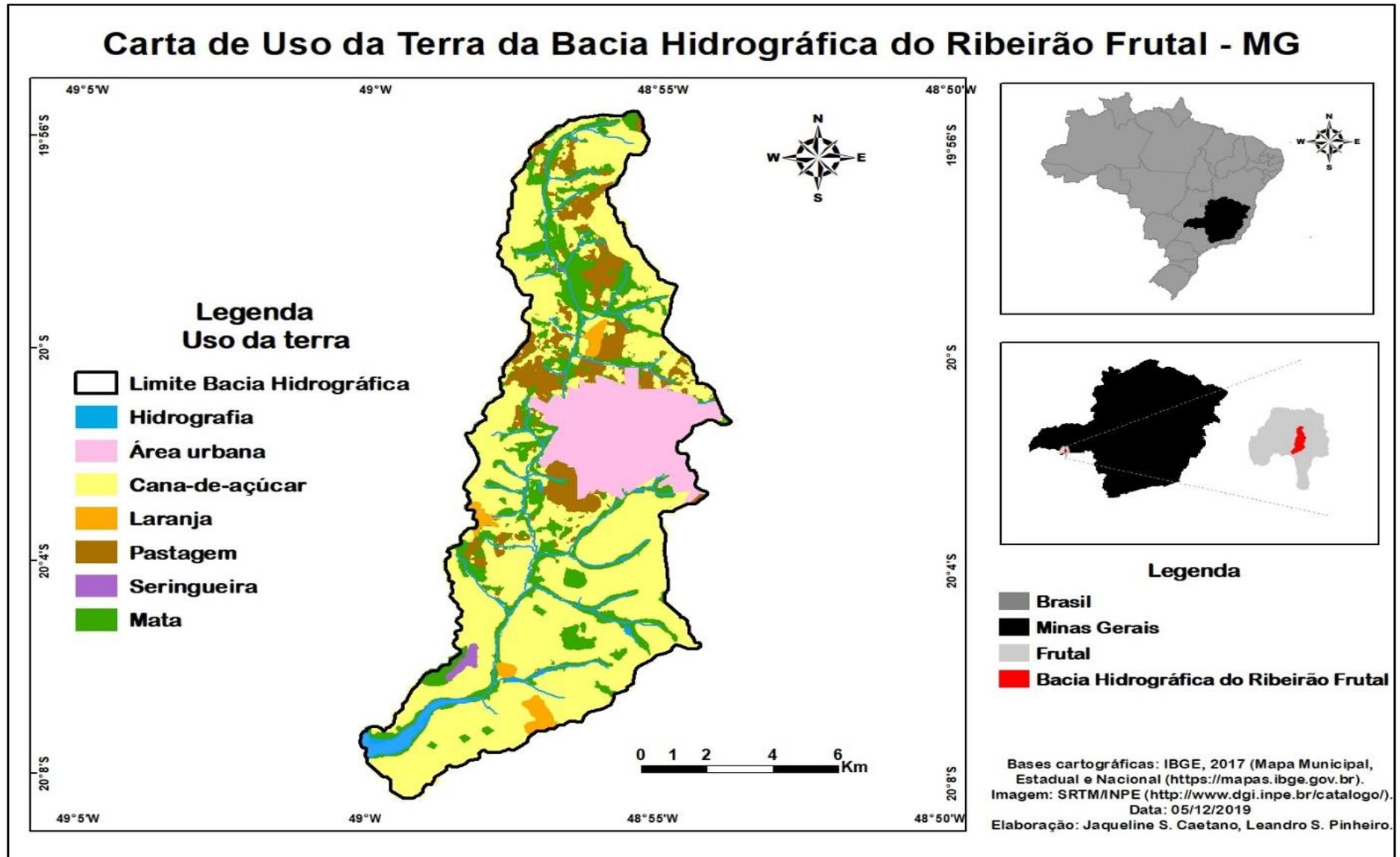


Figura 13 - Carta de Uso da Terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG
Fonte: Caetano; Pinheiro (2019)

As matas, em sua grande maioria, principalmente nos setores alta e média bacia, dispõem-se próximas da rede fluvial, exercendo sua função protetora aos canais fluviais contra a erosão hídrica que, posteriormente, levam ao assoreamento dos mesmos, como também de todo o solo abrigado por essa cobertura vegetal densa, sendo protegido contra erosão hídrica e eólica. As matas diminuem o impacto das gotas de chuva ao atingirem o solo (efeito *splash*), pois, suas folhas agem como barreiras naturais, fazendo com que as gotas não entrem diretamente em contato com solo, dificultando também o escoamento pluvial por meio da serapilheira, reduzindo a sua velocidade e a retirada de camadas superficiais do solo por meio do vento.

Já as seringueiras, podem até passar despercebidas por olhos leigos, mas seu tronco retilíneo, cilíndrico e alongado podendo atingir de 30 até 40 metros de diâmetro, permite que as gotas de chuva ao atingirem as folhas sejam barradas e percam velocidade, no entanto, devido a sua altura faz com que as gotas de água da chuva obtenham novamente velocidade até atingirem a superfície do solo, causando erosão por salpicamento. Além disso, outro problema detectado é a não produção de sombras em grande escala e com isso a não possibilidade ou possibilidade mínima de crescimento de gramíneas, deixando o solo exposto e sujeito também a erosão hídrica pela força cisalhante do escoamento superficial mais acentuado.

Os laranjais, por sua vez, são árvores de copa densa, arredondada e de porte médio, podendo atingir até 8 metros de altura. Por si só, a cultura da laranja não eleva o índice de erosão. No entanto, para a manutenção do manejo de tal citros, é prática costumeira a utilização da grade para o controle do mato entre os espaços dos pés de laranja. Essa prática contribui para inúmeras consequências negativas, entre elas: o aumento do potencial a erosão devido a exposição do solo e da alteração de sua estrutura. Com a diminuição da porosidade, a infiltração da água das chuvas é reduzida e com isso aumenta-se os empoçamentos e o escoamento superficial, arrastando as partículas do solo para outras regiões com maior facilidade.

O cultivo de cana-de-açúcar é a prática agrícola de maior produção na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG e famosa pelas discussões referentes aos danos causados ao solo quanto natureza como um todo, devido a extensão de terras utilizadas em seu exercício. Segundo Pinheiro et al. (2019) a erosão em canaviais é muito dinâmica e oscila de acordo com o tamanho da cobertura vegetal da planta. Contudo, tal cobertura não evita o salpicamento e, com a elevação da saturação do solo, mesmo em declividade quase nula, o material é transportado sedimentando os setores subjacentes da vertente. A palha seca que cai da cana

auxilia no controle da erosão por salpicamento e na erosão por meio do escoamento superficial, obtendo menores taxas de perdas de solos e maior advento das taxas de sedimentação.

A pastagem representa terras utilizadas e não utilizadas para pecuária, em sua grande maioria com gramínea introduzida, mas também com resquícios de vegetação natural. Terras com boas condições gradativamente perdem seu potencial produtivo, quando não utilizadas da forma correta, tendo a perda de solos nesses casos por erosão hídrica e eólica. O manejo animal possui papel decisivo, no qual, o super pastejo, pastejo contínuo ou subpastejo quando exercidos sem medidas conservacionistas, aumentam a fragilidade erosiva e elevam as taxas de erosão (COSTA, 2000). Isso sucede porque a falta de espaço raleia o capim e expõem o solo, assim como o pisoteio ininterrupto desagregam as partículas do solo, alterando sua estrutura, diminuindo sua porosidade e elevando sua compactação.

A erosão em cenários como estes, ocorre pelo impacto das gotas de chuva sobre o solo (efeito *splash*) e pelo escoamento superficial, sendo intensificados em declives mais acentuados devido tal processo se tornar mais incisivo. A erosão é um fenômeno que se faz muito visível quanto se atingem níveis alarmantes, culminando em sulcos e voçorocas. Na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal há vários casos registrados em ambiente rural, principalmente no setor da alta bacia. Todas as características citadas anteriormente, auxiliam no engendramento de ocorrências cada vez mais frequentes, fazendo a erosão dos solos uma das problemáticas mais presentes na categoria de degradação ambiental e degradação do solo.

A área urbana, por mais que esteja de certo modo “afastada” do ambiente rural, também possui papel importante no fenômeno erosivo nessas localidades. No modelo EUPS esse uso da terra não é quantificado, pois a perda de solo da malha urbana geralmente ocorre por meio da erosão linear e não laminar. Mas vale ressaltar que isso está relacionado com a ligação sistêmica em que ambos os ambientes estão inseridos, onde sistemas e subsistemas estão interligados e desse modo sofrem alterações em sua dinâmica quando modificados. A impermeabilização da área urbana condiciona a diminuição da infiltração da água no solo e eleva o fluxo hídrico pluvial que ocorre por meio do escoamento, direcionando esse fluxo para galerias pluviais. No entanto, chuvas torrenciais fazem com que as galerias de drenagem não suportem o volume pluvial, ocasionando com que essa água siga seu percurso por canais pluviais de montante a jusante.

Em um exemplo prático, pode-se ser citado a voçoroca do Marianinho, local esse que pertencente a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal. Córrego do Marianinho se encaixa no

conceito de periurbano (*urban fringes*), muito trabalhado em geografia urbana e geografia agrária, em que caracteriza um ambiente no qual se localiza para além de subúrbios do município (PEREIRA, 2013). Corresponde ao espaço em que atividades rurais e urbanas se misturam, tornando difícil a determinação dos limites físicos e sociais do espaço em questão. Em Frutal há ruas no entorno da cabeceira do Córrego do Marianinho, que concentram fluxo pluvial devido a uma grande concavidade das mesmas, fazendo com que água desça com velocidade muito acentuada.

Antes do local possuir galerias de drenagem pluviométrica que desviam esse fluxo para caixas de dissipação, o destino final dessa água era uma área de pastagem. Com o tempo e com fluxo frequente que escoava da rua para a pastagem, principalmente no período chuvoso, a erosão hídrica foi atuando aos poucos até que chegou ao ponto de intervenção pública, sendo só no Marianinho encontradas e analisadas 3 voçorocas. Nesse contexto, de forma geral ambos ambientes (rural e urbano) estão sim correlacionados e ratificam a analogia sistêmica e a influência que determinadas ações diretas e até mesmo subjacentes provocam no meio.

Foi elaborado os índices de perdas de solos de acordo com os tipos de usos da terra (Tabela 2), tendo cada uso uma relação quantitativa desenvolvida por pesquisadores da área. Dessa forma, a seringueira e a cana-de-açúcar foram os manejos que mais tiveram relevância, por terem obtido taxas significativas de perdas de solos por erosão laminar, lembrando que a razão do fator C leva em consideração o preparo do solo, a cobertura, a sequência, crescimento e resíduos da colheita.

Tabela 2 - Índices de perda de solos em relação ao uso da terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG

Índices de uso da terra	Fator C	Autores
Hidrografia	0,000	Silva (2005)
Área Urbana	0,001	Silva (2005)
Mata	0,012	Silva (2005)
Laranja	0,013	Donzeli et al. (1992)
Pastagem	0,025	Silva (2005)
Seringueira	0,071	Tôsto et al.
Cana-de-açúcar	0,100	Donzeli et al. (1992)

Fonte: Elaborado pela autora

Em relação a área dos usos da terra (tabela 3), com taxas significativas de perdas de solos por erosão laminar, o manejo de cana-de-açúcar é o mais abrangente, ocupando 47,40%

da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG, ao contrário da mata que ocupa apenas 18,50%. Dados apresentam a importância de preservar as matas nativas e da aplicação de práticas conservacionistas, uma vez que, a bacia é significativa na implementação de atividades agrícolas.

Tabela 3 - Área de uso da terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG em 2019

Classes do uso da terra	Cor representativa / RGB		Área em ha	(%)
Área urbana	Rosa claro	R255 / G193 / B224	1598,25	11,76
Cana-de-açúcar	Amarelo	R255 / G255 / B128	6439,77	47,40
Laranja	Alaranjado	R245 / G162 / B35	199,21	1,47
Mata	Verde	R0 / G157 / B0	2513,68	18,50
Pastagem	Marrom	R157 / G97 / B6	996,04	7,33
Seringueira	Roxo	R172 / G89 B 253	75,24	0,55
Hidrografia	Azul claro	R0/ G158 /B234	1763,13	12,97
-	-	-	13585,32	100

Fonte: Elaborado pela autora

5.6 Práticas conservacionistas

Dentro do contexto de uso da terra, outro fator crucial na diminuição do exercício da erosão acelerada e das taxas de perdas de solos são as práticas conservacionistas, que quando aplicados corretamente nos cultivos agrícolas auxiliam na contenção do escoamento superficial proveniente de precipitações pluviométricas. A Carta de Práticas Conservacionistas da Bacia do Ribeirão Frutal (Figura 14), expressa a aplicação e não aplicação dos tipos de práticas da referida bacia, sendo elas classificadas em manejo com terraceamento, plantio em contorno e também expressa os locais sem o uso de práticas conservacionistas.

Como visto na Carta de Práticas Conservacionistas, a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG não possui uma grande variedade de práticas de conservação do solo, sendo elas classificadas segundo Bertoni; Lombardi Neto (2005) em práticas mecânicas, onde as mesmas são descritas pelos autores como estruturas artificiais construídas mediante a remoção ou disposição adequada de porções da terra. O terraceamento e o plantio em contorno são aplicações muito comuns e geralmente frequentes em culturas anuais, desenvolvendo papel crucial na retenção do escoamento superficial pluvial e, conseqüentemente, na diminuição das taxas de perdas de solo e sedimentação.

A atividade agrícola em que se aplicou tais práticas foi a canaveira, sendo perceptível em análises empregadas com o apoio de imagem SRTM, onde a mesma também serviu para a

delimitação das práticas de conservação na bacia em questão. O reconhecimento em campo também foi realizado para confirmação dos dados obtidos em laboratório, fazendo com que os dados e informações repassadas sejam as mais próximas possíveis da realidade. O terraceamento e o plantio em contorno, por mais que pareçam semelhantes na análise visual quanto em campo, possuem em seu exercício, quando aplicados de forma correta, suas singularidades e particularidades.

O terraceamento, segundo Bertoni; Lombardi Neto (2005, p. 126) “é uma das práticas mais eficientes para controlar a erosão nas terras cultivadas. A palavra ‘terraço’ é usada, em geral, para significar camalhão ou a combinação de camalhão e canal, construído em corte da linha de maior declive do terreno”. A principal função do terraço é, segundo os autores supracitados (2005, p. 126), “diminuir o comprimento dos lançantes, reduzindo, assim, a formação de sulcos em regiões de alta precipitação e retendo mais água em zonas mais secas”. Contudo, nem todos os solos e declives possibilitam ser terraceados com satisfatoriedade, um exemplo dessa impossibilidade é o custo do procedimento e da manutenção do terraço em solos pedregosos ou muito rasos.

Destarte, quando bem planejado e construído de forma correta, o terraceamento auxilia na redução das perdas de solo e água por erosão, assim como também previne o desenvolvimento de sulcos e grotas, se tornando mais eficiente ainda quando empregado com combinação de outras práticas conservacionistas, a exemplo: cobertura morta, culturas em faixa ou plantio em contorno. Após seu uso, fica evidente durante o passar dos anos seu efeito, podendo se notar por meio de melhores produções agrícolas e maior produtividade hídrica, pois, os terraços ajudam a reter a água e auxiliam dessa forma na irrigação. (BERTONI; LOMBARDI NETO (2005, p. 126). Também se faz perceptível a relação congruente entre a ação de conservação com o ambiente em que se efetiva a atividade agrícola.

Já o plantio em contorno, de acordo com Bertoni; Lombardi Neto (2005, p. 121) consiste em “dispor as fileiras de plantas e executar todas as operações de cultivo no sentido transversal à pendente, em curvas de nível ou linhas de contorno. Uma linha de nível é aquela cujos pontos estão todos na mesma altura do terreno.” Ao se cultivar em contorno, ainda segundo os autores supracitados (2005, p. 121) “cada fileira de planta, assim como os pequenos sulcos e camalhões de terra que as máquinas de preparo e cultivo do solo deixam na superfície do terreno, constituem um obstáculo que se opõe ao percurso livre da enxurrada, diminuindo a velocidade de arrastamento”.

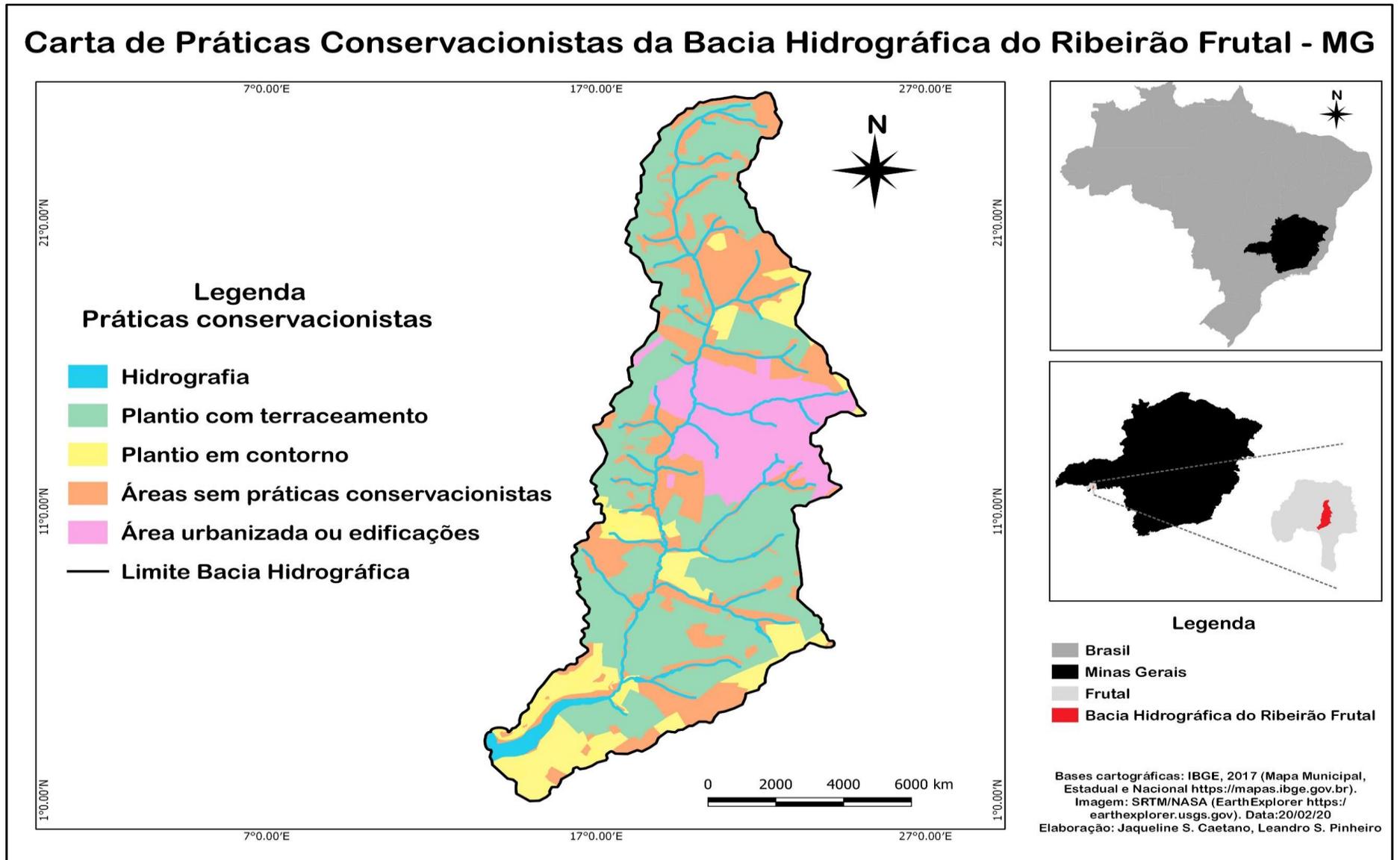


Figura 14 - Carta de Práticas Conservacionistas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG
Fonte: Caetano; Pinheiro (2020)

Caracterizado como uma prática simples de conservação, o plantio em contorno além de constituir uma eficaz barreira de controle a erosão do solo, propicia maior praticidade, facilidade e eficiência no estabelecimento de outras práticas complementares respaldada na orientação em contorno. Essa prática normalmente é usada sozinha, contudo, em solos de maior erodibilidade, com topografia acidentada e precipitações pluviométricas elevadas, principalmente em períodos chuvosos, pode haver risco de formação de sulcos erosivos (BERTONI; LOMBARDI NETO (2005, p. 121). Por isso, é importante ter atenção nas características físicas do ambiente em relação a formação de lavouras em contorno.

Em outras práticas agrícolas como a laranja e a seringueira, não foi observado nenhuma prática conservacionista, tal conjuntura pode estar relacionada com a baixa declividade ou com o pensamento popular de que por essas culturas de cobertura vegetal por serem adensadas, não é importante o uso de práticas conservacionistas nessas áreas agricultáveis. A pastagem, por sua vez, é um tipo de uso da terra muito conhecido pelas problemáticas de degradação do solo, devido principalmente à atuação acelerada da erosão laminar e linear. Na bacia hidrográfica estudada, as pastagens possuem práticas de conservação, no entanto, com o pisoteio do gado formam-se linhas ou caminhos preferenciais para a água chegando a atravessar a curva de nível e danificando o trabalho de contenção do escoamento pluvial.

No perímetro urbano, as práticas mudam de formato, mas, não seu papel redutor de erosão. Algumas localidades no ambiente rural apresentam a instalação de dissipadores de água de precipitações pluviométricas, fazendo com que o escoamento superficial seja reduzido e não direcionado para locais indevidos, diminuindo os índices de erosão, como no exemplo citado do Córrego do Marianinho, que no pretérito quando não às possuía resultou no fomento de sulcos até voçorocas nas pastagens do entorno. Atualmente com as caixas dissipadoras a realidade do córrego melhorou consideravelmente, controlando os voçorocamentos e diminuindo as taxas de erosão e perdas de solo.

Em relação a aplicação de práticas de conservação do solo (tabela 4), pode ser constatado por meio da Carta de Práticas Conservacionistas que em 42,05% da área da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG se é aplicado o plantio com terraceamento e apenas 13,41% se é aplicado o plantio em contorno, igualando-se a áreas sem o uso de práticas conservacionistas, obtendo 13,41% da bacia em questão. É importante ressaltar que na classe de áreas sem práticas de conservação, está incluso nessa categoria não apenas os cultivos, mas locais como as matas e as pastagens. De forma geral, é uma bacia que pode ser considerada

muito conservada, quando o tema concerne ao uso de práticas conservacionistas do solo.

Tabela 4 - Uso de práticas conservacionistas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG em 2020.

Classes de práticas conservacionistas	Cor representativa / RGB	Área em ha	(%)
Área urbanizada ou edificações	Rosa claro R255 / G174 / B255	1627,79	13,42
Plantio em contorno	Amarelo R255 / G255 / B108	1625,60	13,41
Áreas sem práticas conservacionistas	Alaranjado R255 / G168 / B125	3771,63	31,12
Plantio com terraceamento	Verde claro R147 / G236 / B167	5096,65	42,05
-	-	12121,67	100

Fonte: Elaborado pela autora

Com a presença de cobertura vegetal e práticas conservacionistas, a depender do tipo de vegetação e métodos de conservação, sua atuação poderá agir de forma a diminuir o impacto das gotas de chuva, como quebrar a velocidade do escoamento pluviométrico, amenizando a energia cinética da água, promovendo menor erosão e maior infiltração (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). A influência do fator C e P é relacionada no nível de proteção que o mesmo oferece na bacia hidrográfica, diminuindo ou aumentando a capacidade das águas das chuvas de removerem e transportarem partículas do solo (TOMAZONI; GUIMARÃES, 2005).

5.7 Erosividade das Chuvas

O fator R avalia o fenômeno erosivo que advém das chuvas, ou seja, quando as gotas de água atingem a superfície e impactam o solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). Segundo Pinheiro (2012, p. 69) “a erosividade das chuvas deve quantificar o efeito do impacto das gotas sobre o solo, o qual influencia também no escoamento superficial, principal agente na dinâmica erosiva do Brasil, devido ao predomínio do clima quente e úmido”. Para o trabalho em questão, utilizou-se a fórmula empregada por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), que se estruturaram em estudos desenvolvidos em Campinas – SP, abordando metodologias que corroboram a proposta de obtenção dos valores para o fator de erosividade (R), sendo essa equação expressada em:

$$EL_m = 68,730 (r^2/P)^{0,841}$$

Onde:

EL_m = Média mensal do índice de erosão (MJ/ha. Mm/h.)

r = Precipitação média mensal em milímetros

P = Precipitação média anual em milímetros.

Segundo Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) para obtenção dos valores de erosividade da chuva (R), deve-se realizar uma adição com os dados mensais de chuva, conseguinte, também realiza-se uma adição com os dados anuais de precipitação pluviométrica. O valor foi mensurado e depois inserido na fórmula da EUPS gerando a média mensal do índice de erosão (EL) e o fator R. A tabulação será empregada para composição do cruzamento dos dados de erosividade com as outras cartas elaboradas concernentes aos fatores da Equação Universal de Perdas de Solos - EUPS.

A elaboração dos respectivos dados evidenciou que a precipitação média mensal (mm) oscila consideravelmente de acordo com a estação chuvosa e de estiagem do município. A precipitação média anual (mm) obteve o valor de 1550,5 e a média mensal do índice de erosividade (MJmm/ha.h) possuiu valores elevados nos meses chuvosos, variando de 1116,9 a 2009,0, sendo o contrário nos meses de estiagem, variando de 4,6 a 234,6. O total, considerado Fator R, obteve o valor de 7418,4, registrando dessa forma índice elevado, como pode ser visto na tabela 5.

Tabela 5 - Valores utilizados para obtenção do fator R em série histórica de 21 anos (1992 a 2012)

Meses	Precipitação média mensal (mm)	Precipitação média anual (mm)	Média mensal do índice de erosividade (MJmm/ha.h)	Total (Fator R)
Janeiro	292,9	1550,5	2009,0	7418,4
Fevereiro	206,6		1116,9	
Março	221,2		1252,8	
Abril	81,7		234,6	
Mai	37,1		62,2	
Junho	20,5		22,9	
Julho	7,9		4,6	
Agosto	14,1		12,2	
Setembro	62,9		151,1	
Outubro	106,6		367,0	
Novembro	166,4		776,1	
Dezembro	237,2		1409,0	

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Organizado pela autora

Os dados pluviométricos constituíram-se em série histórica de 21 anos (1992 a 2012), obtidos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. O limite estabelecido como mínimo para fomento dos dados de erosividade do solo eram de no mínimo 30 anos, no entanto, os registros referentes as precipitações pluviométricas do município de Frutal - MG não continuaram no ano seguinte de 2012, impossibilitando que a meta estabelecida fosse mantida. A série histórica de 21 anos se faz satisfatória para a análise do efeito do impacto das gotas sobre o solo e a mesma ratifica a teoria esboçada para o fator R, na qual, a mesma corresponde entre a relação de erosividade e a precipitação média mensal (mm), como expressado no gráfico 2.

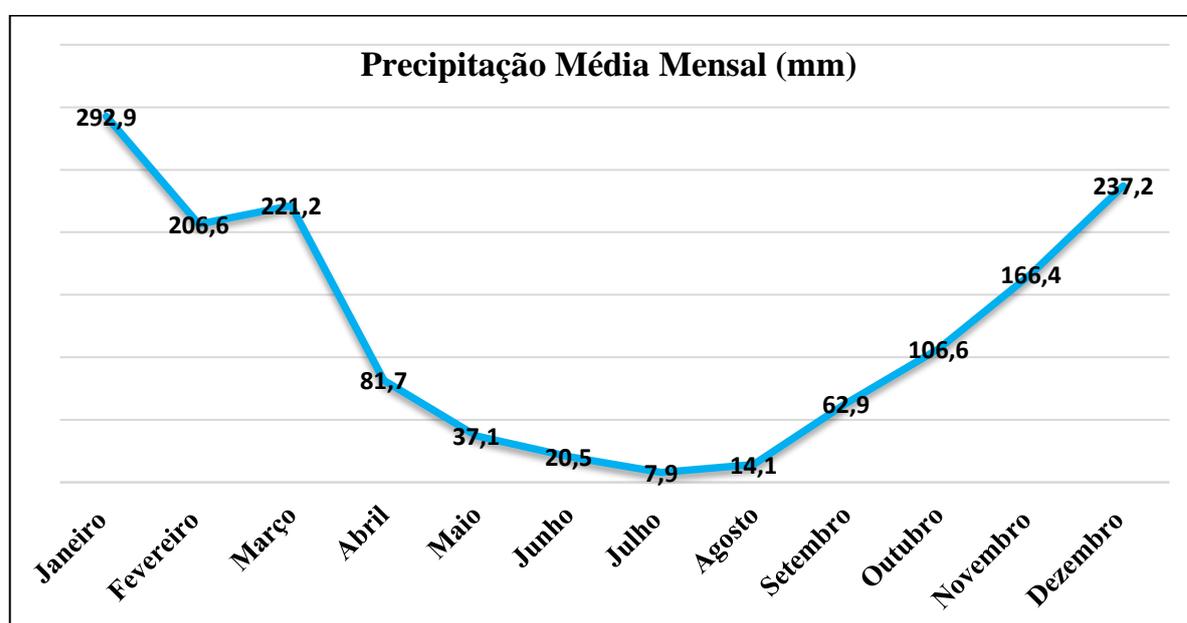


Gráfico 2 - Precipitação média mensal em milímetros em série histórica de 21 anos (1992 a 2012)

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Elaborado pela autora

É perceptível ao analisar o gráfico 2 que os meses mais chuvosos são representados por janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro e os meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro representam o período de estiagem do município de Frutal - MG. A hipótese é concernente ao índice do fator R e que os índices mais elevados de erosividade ocorrem nos meses chuvosos, sendo a erosão por meio do impacto das gotas de chuva e escoamento superficial muito ínfimos e pouco significantes no período de seca (gráfico 3). Isso ocorre devido as características climatológicas da área de estudo, evidenciando e ratificando o período de maior vulnerabilidade erosiva da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG.

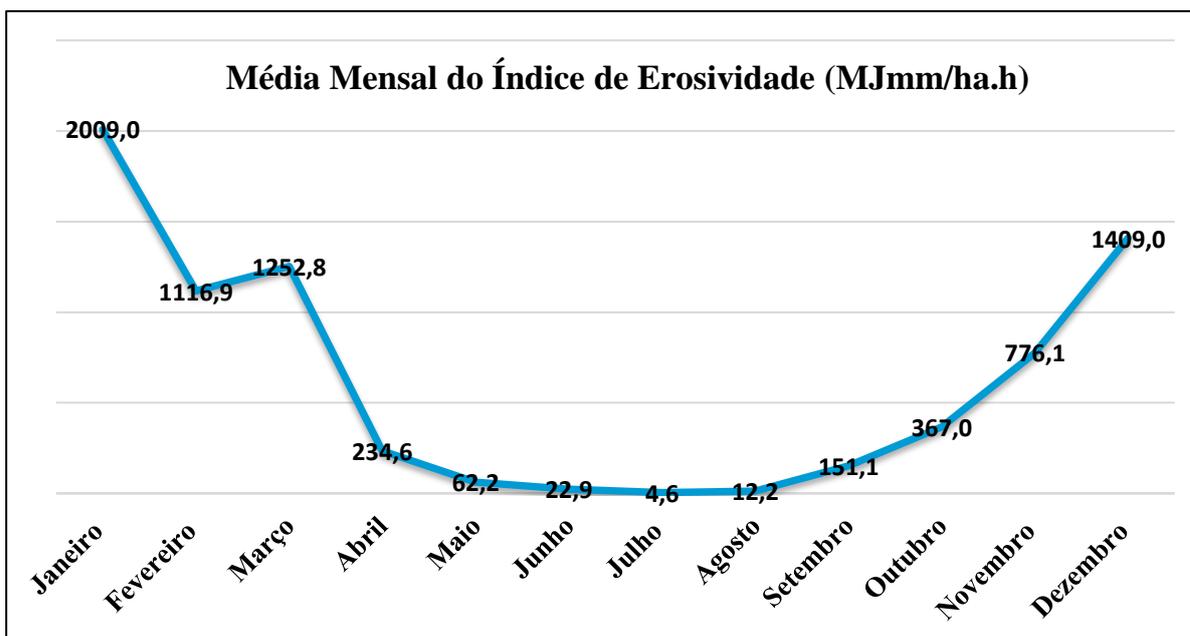


Gráfico 3 - Média mensal do índice de erosividade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Elaborado pela autora

É importante enfatizar sobre a média mensal do índice de erosividade (gráfico 3) que, os índices de erosividade (R) se concentram nos meses de novembro até março, fazendo com que em 5 meses a porcentagem desse fator seja equivalente a 85%, média essa representativa para o ano todo. Tal fato indica a alta concentração de precipitações pluviométricas, o que é congruente ao período chuvoso, estipulando de forma coerente maior vulnerabilidade do solo nesse período. Correlaciona-se também elevadas taxas de perdas de solos, fazendo com que sua maior ocorrência seja estabelecida nos 5 meses do ano, os mais efetivos quando concernentes ao processo erosivo hídrico.

Caetano (2018) monitorou no ano de 2018 as precipitações pluviométricas do município de Frutal – MG e constatou características pluviais relevantes que influenciam na erosividade dos solos e, conseqüentemente, na perda dos mesmos. Segundo Pinheiro et al. (2018) as chuvas não sucedem com a mesma frequência em todos dos meses do ano e isso está correlacionado com o clima tropical. No entanto, segundo Caetano (2018) há a ocorrência de chuvas torrenciais de curta duração, mas de potencial hídrico expressivo na Bacia do Ribeirão Frutal - MG, fazendo com que a quantidade de milímetros registrados ultrapassasse precipitações pluviométricas que poderiam ocorrer durante o período de um mês.

Caetano (2018) verificou que em um único evento climático ocorrido em dezembro de

2018 sucederam diversos danos erosivos na superfície asfáltica da cidade, significando que mesmo em uma superfície impermeabilizada o volume do escoamento superficial foi muito intenso e abrasivo e causou o desprendimento de placas de manto asfáltico. Utilizando dessa informação, pode-se concluir que em ambiente rural, o solo que não esteve protegido por vegetação nativa, também sofreu com os impactos desse escoamento superficial hídrico concentrado em um único evento de chuva, sendo capaz de engendrar danos alarmantes.

Tal evento pluviométrico eleva o índice de erosividade, aumentando dessa forma a vulnerabilidade do solo e fazendo com que em um dia o índice sofra uma reação de um mês. Essa disparidade é uma das causas de taxas de erosão desproporcionais em determinados meses chuvosos e da discrepância com o período de estiagem. Comparações como essa estudam a relação causa e efeito, ação e reação, sendo fundamental para entendimento sistêmico, planejamento conservacionista dos solos e, conseqüentemente, para aplicações de metodologias de mitigação e controle dos efeitos da chuva sobre os solos.

Em um estudo realizado por Mello et al. (2007), foi analisado a erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais, levando em consideração o índice EI_{30} , em outras palavras, analisou-se o comportamento e distribuição espacial das chuvas intensas associadas a 30 minutos de duração no referido Estado. Foi constatado que “a erosividade anual média em Minas Gerais variou de 5.000 a mais de 12.000 MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹, com total anual de precipitação oscilando entre 800 e 1.700 mm” (MELLO et al, 2007, 537.).

Quanto à distribuição espacial da erosividade anual, verificou-se que as regiões do Triângulo Mineiro [...] registraram os maiores valores de erosividade anual média, em alguns casos, superiores a 10.000 MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹ (MELLO et al, 2007, 538.). Pelo mapa de precipitação total anual média (figura 15) elaborado pelo autor Viola (2006), observou-se que as regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba apresentaram os valores mais elevados, com totais superiores a 1.500 mm. Observou-se também que a região do triângulo Mineiro evidenciou os maiores valores de chuvas intensas, com duração de 30 minutos.

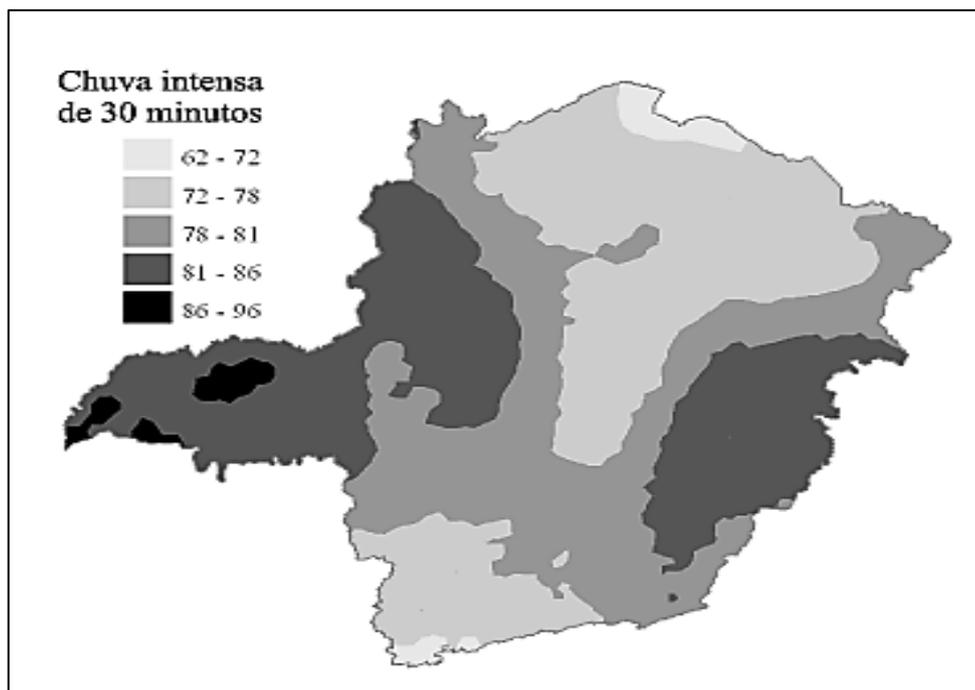


Figura 15 - Distribuição de chuvas intensas com 30 minutos de duração (mm/h) no Estado de Minas Gerais

Fonte: Viola, (2006)

De acordo com o estudo, foram empregadas possíveis explicações para a distribuição espacial obtida. Os autores Mello et al. (2007, p. 538) basearam-se em Antunes (1986) e apontaram que “é possível explicar esse comportamento baseado nos efeitos orográfico e de convecção atmosférica, sendo esse último gerado por maiores temperaturas médias, características do clima Aw”, típico da região do Triângulo Mineiro. Ainda mencionaram que é de crucial importância enfatizar os fenômenos de circulação atmosférica, como as zonas de convergência do Atlântico Sul, que atuam no Sudeste do Brasil no verão, habitualmente combinadas com sistemas atmosféricos ciclônicos.

Por meio da figura 16 pode ser evidenciado que a erosividade mensal do Triângulo Mineiro é maior nos meses de outubro, fevereiro, março e abril, tendo anualmente o índice do fator R em 7357 a 9810. Em relação a figura 17, é notório que os meses de maiores índices de precipitação pluviométrica nessa localidade são janeiro, fevereiro, março e abril, tendo o valor anual de 1200 a 1600 milímetros de chuva. Os valores obtidos por meio dos estudos de Mello et al. (2007) e Viola (2006) são significativamente próximos com os resultados obtidos na pesquisa em questão, constatando dessa forma a veracidade dos resultados.

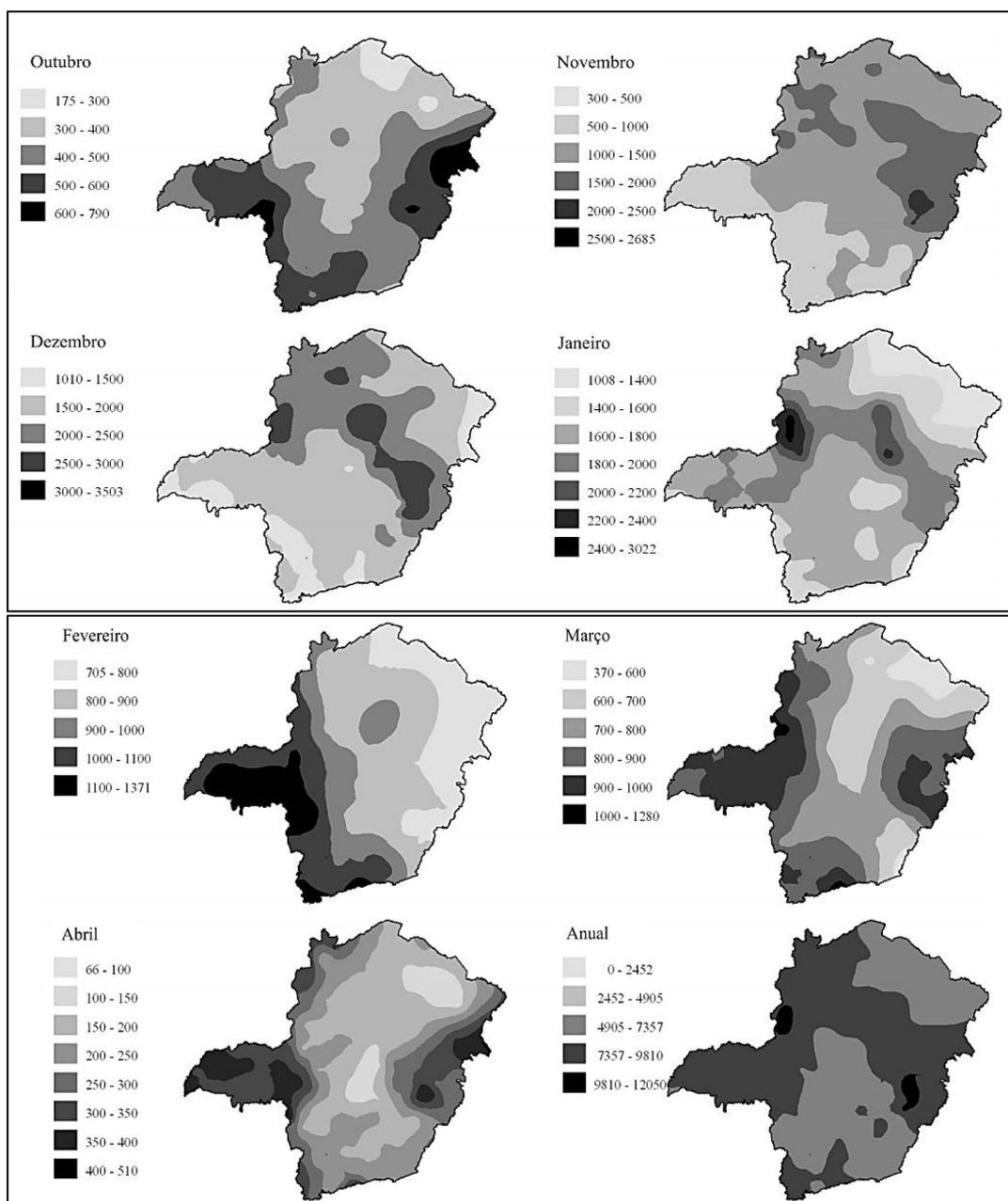


Figura 16 - Erosividade mensal ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{mês}^{-1}$) e erosividade anual ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) do Estado de Minas Gerais

Fonte: Mello et al, 2007

É notório que os índices de erosividade oscilam de acordo com os meses, tendo essa característica correlação direta com a distribuição das precipitações pluviométricas no Estado de Minas Gerais. Pode ser constatado que o Estado é bastante vulnerável à erosividade da chuva, sendo esse resultado ratificado pelos valores obtidos por meio da erosividade anual (figura 16), tendo o menor valor a média de 4905 - 7357 e o maior a média de 9810 - 12050.

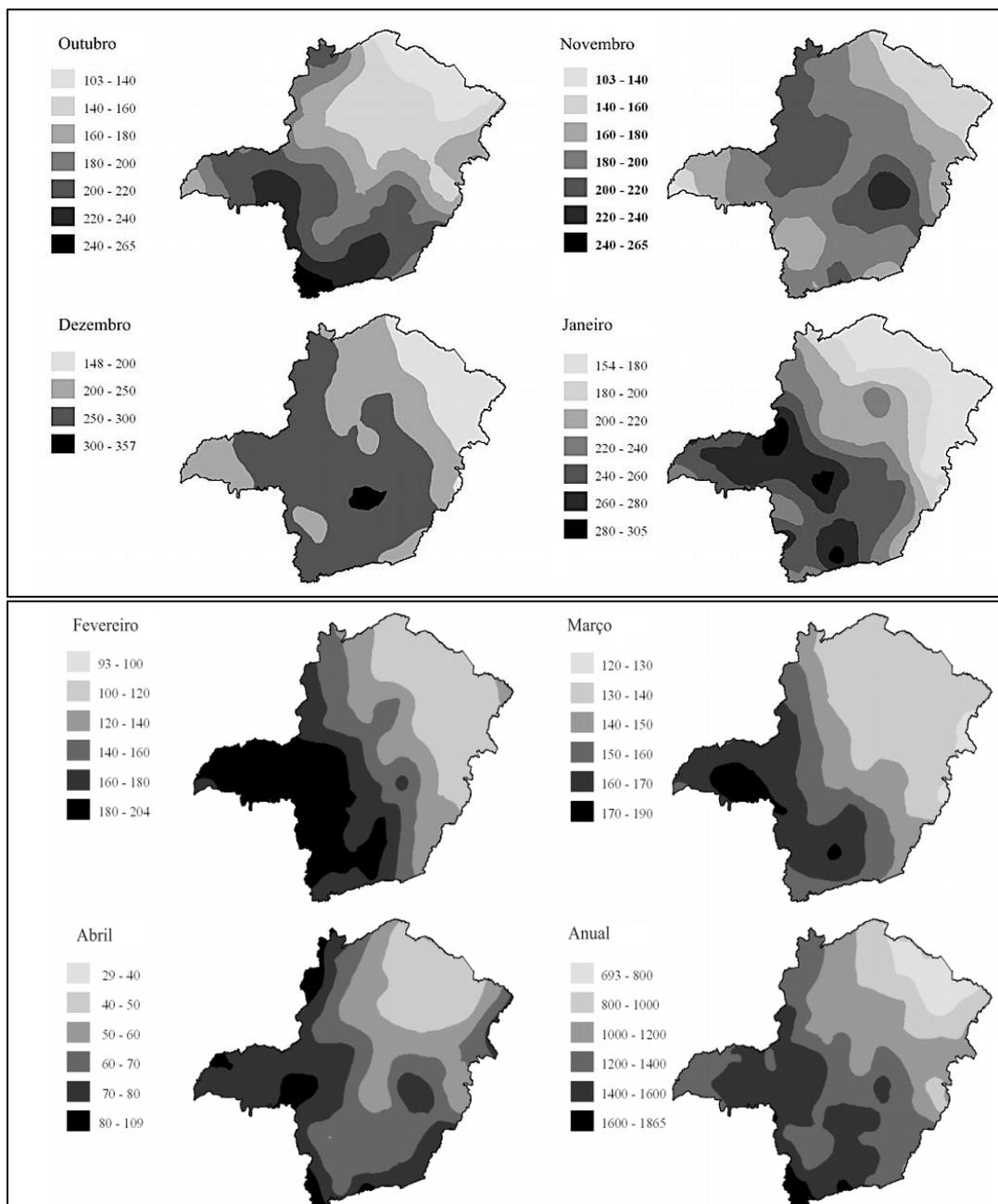


Figura 17 - Precipitações mensais (mm) e precipitação anual (mm) do Estado de Minas Gerais

Fonte: Mello et al. (2007)

Em relação as precipitações mensais, sua distribuição pelo Estado é bastante heterogênea e faz com que os índices sejam muito dessemelhantes para cada região de Minas Gerais. As regiões com maior índice pluviométrico, de acordo com o mapa anual (figura 17), são referentes ao Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba, Centro-Oeste de Minas, Sul de Minas, Noroeste de Minas, Central e Zona da Mata, tendo índices de 1200 a 1865 milímetros.

5.8 Erodibilidade dos solos

Na Carta do fator K da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG (Figura 18), é notório que a erodibilidade da bacia é muito alta, principalmente na localidade Norte, possuindo índices que variam de 0,0765 a 0,0961. Já na localidade Sul, a ocorrência desse fator também é elevada, tendo índices que variam de 0,0571 a 0,0881. Para os 17 pontos avaliados da referida bacia, foi utilizado a classificação textural do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA (1983), tendo a presença das classes Areia franca, Francoarenosa, Francoargiloarenosa e Francoargilosa.

Dentre as classes encontradas, os mesmos são classificados em três grupos principais de solos, sendo eles: arenoso, argiloso e franco (Tabela 6). A terminologia das classes texturais evidenciam concepções mais precisas não somente da distribuição da grandeza das partículas, mas da essência geral das propriedades físicas do solo (BRADY; WEIL, 2013). “Solos de textura franca, também conhecidos como textura média, definem-se como solo com proporções semelhantes de partículas de areia, silte e argila; o que os torna com boa drenagem e capacidade de retenção de água e índice médio de erodibilidade” (CENTENO et al., 2017, p. 33).

Solos arenosos são mais propícios a degradação e perda da capacidade produtiva, quando comparados aos solos argilosos, tendo como critério condições ambientais semelhantes (DONAGEMMA et al.; 2016). No entanto, tal perspectiva vem se modificando a medida em que novas tecnologias e avanços nos meios de produção e manejo agrícola são introduzidos, tornando viáveis o uso desses solos para o plantio (CENTENO et al., 2017). “As características dos solos francos mostram que a maioria dos solos do tipo franco arenosos tendem a apresentar deficiências tanto em matéria orgânica como de fósforo, enquanto os de textura franco argilosa possuem maiores teores desses parâmetros” (CENTENO et al., 2017, p. 33).

De forma geral, solos franco arenosos e franco argilosos demandam de pequenos cuidados durante seu manejo, se comparados aos solos de textura arenosa (CENTENO et al., 2017). Por fim, os solos argilosos, “apresentam manejo difícil, por serem solos mais pesados devido à presença de teores de argila superiores a 35%, dificultando a penetração das raízes das plantas e os trabalhos mecanizados, além de serem suscetíveis à compactação” (KLEIN, 2014 citado por CENTENO et al., 2017, p. 33). Em maioria dos casos, pode se notar que a textura do solo argiloso pode interferir de forma direta no teor de matéria orgânica do solo, fato esse relacionado com a capacidade de troca de cátions dos respectivos solos afetando o pH, além da adsorção de fósforo e outros nutrientes (BRADY; WEIL, 2013).

Tabela 6 - Composição dos solos coletados na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG

Amostras	Areia Total (%)	Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	Matéria Orgânica (%)	Umidade (%)	Classe Textural	Fator K (t.ha.h/ha.MJ.mm)	Classificação do fator K (Mannigel et al. 2002)
J 1	86,1	9,2	76,8	2,3	11,7	0,6	6,48 ±0,03	Areia Franca	0,0961	Extremamente alto
J 2	79,6	11,1	68,6	8,5	11,9	0,9	7,61 ±0,02	Francoarenosa	0,0893	Extremamente alto
J 3	77,9	9	68,9	7,5	14,6	0,8	5,72 ±0,09	Francoarenosa	0,0875	Extremamente alto
J 4	70,8	9,8	61,1	12,1	17	1,5	9,45 ±0,10	Francoarenosa	0,0794	Extremamente alto
J 5	79	17,7	61,3	9,2	11,9	1	3,15 ±0,02	Francoarenosa	0,0765	Extremamente alto
J 6	54,9	11,2	43,6	26,1	19	1,2	8,04 ±0,01	Francoarenosa	0,0664	Extremamente alto
J 7	80,7	10,5	70,1	12,5	6,8	0,7	0,92 ±0,02	Areia franca	0,0997	Extremamente alto
J 8	76,5	12,3	64,2	10,2	13,2	1,2	4,9 ±0,00	Francoarenosa	0,0833	Extremamente alto
J 9	53,5	7,6	46	22	24,5	1,2	9,03 ±0,04	Franco-argiloarenosa	0,073	Extremamente alto
J 10	22,1	4,6	15,2	46,6	31,3	2,3	18,79 ±0,09	Francoargilosa	0,0565	Muito alto
J 11	75,1	5,5	69,7	11,9	12,9	1,1	4,11 ±0,02	Francoarenosa	0,0963	Extremamente alto
J 12	28	5,5	22,5	36,7	35,4	2,5	16,43 ±0,04	Francoargilosa	0,0533	Muito alto
J 13	78,9	19,8	59,2	12,5	8,6	1,1	3,08 ±0,51	Areia Franca	0,078	Extremamente alto
J 14	73,5	16,3	57,2	11,3	15,2	0,5	3,41 ±0,02	Francoarenosa	0,0703	Extremamente alto
J 15	70,3	13,4	56,9	21,6	8,2	2,1	3,06 ±0,01	Francoarenosa	0,0881	Extremamente alto
J 16	80,6	13,4	67,2	9,5	9,9	0,5	0,85 ±0,02	Areia Franca	0,088	Extremamente alto
J 17	85,1	29,9	55,3	2,8	12	1,1	4,7 ±0,02	Areia Franca	0,0571	Muito alto

Fonte: Elaborado pela autora

Ao observar a composição dos solos coletados na bacia estudada (Gráfico 4), foi evidenciado por meio da análise granulométrica e análise de matéria orgânica que os solos são compostos, principalmente, de areia fina, conseguinte, de silte e argila. Nessa perspectiva, a areia grossa, juntamente com a matéria orgânica são os elementos menos encontrados na composição dos solos. Correlacionado os dados de areia grossa e fina, pode ser ratificado que os solos são compostos em sua maioria, por areia, sendo ambas classificadas em areia total.

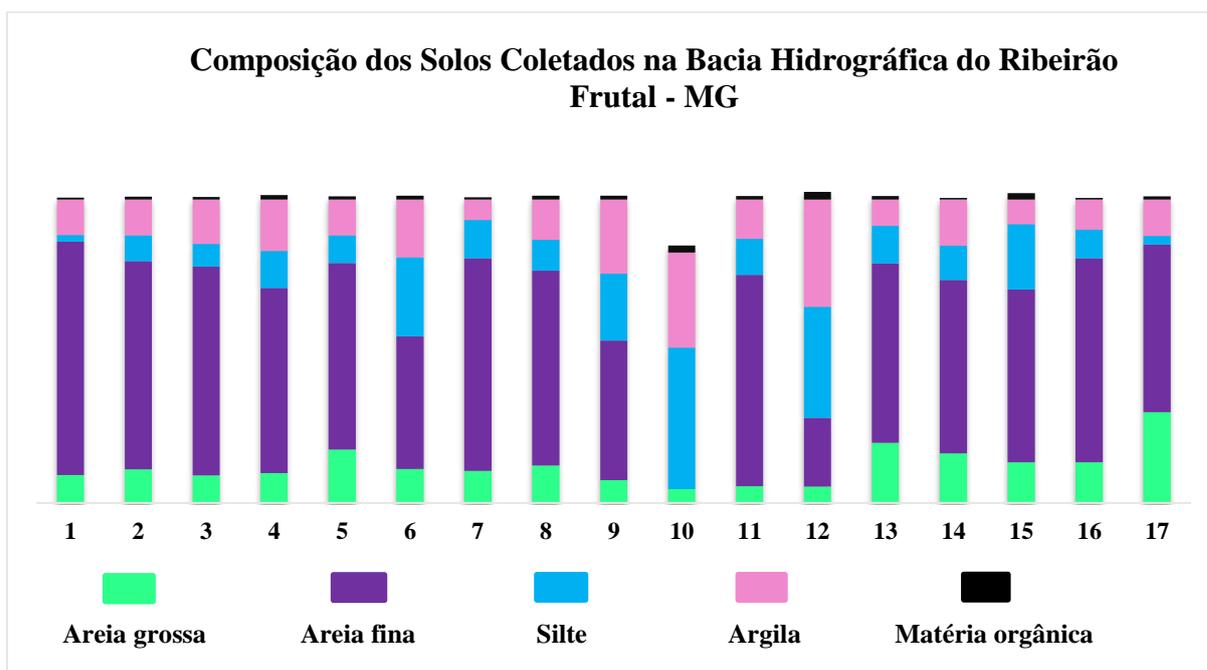


Gráfico 4 - Composição dos Solos Coletados na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG
Fonte: Elaborado pela autora

A granulometria do solo está diretamente relacionada às porcentagens das partículas primárias, sendo elas: areia, silte e argila, assim como bem distribuídas em tamanhos dessemelhantes estabelecidos por diâmetros específicos (KLEIN, 2014 citado por CENTENO et. al., 2017). Neste contexto, devido a essas propriedades diferentes contidas e formadoras dos tipos de solos, a erodibilidade segundo Tomazoni; Guimarães (2005) oscila de forma singular e díspar para cada tipo deles. A atuação dos fatores declividade, precipitação pluviométrica e cobertura vegetal, mesmo atuando de forma homogênea, podem gerar dados de erodibilidade desiguais (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

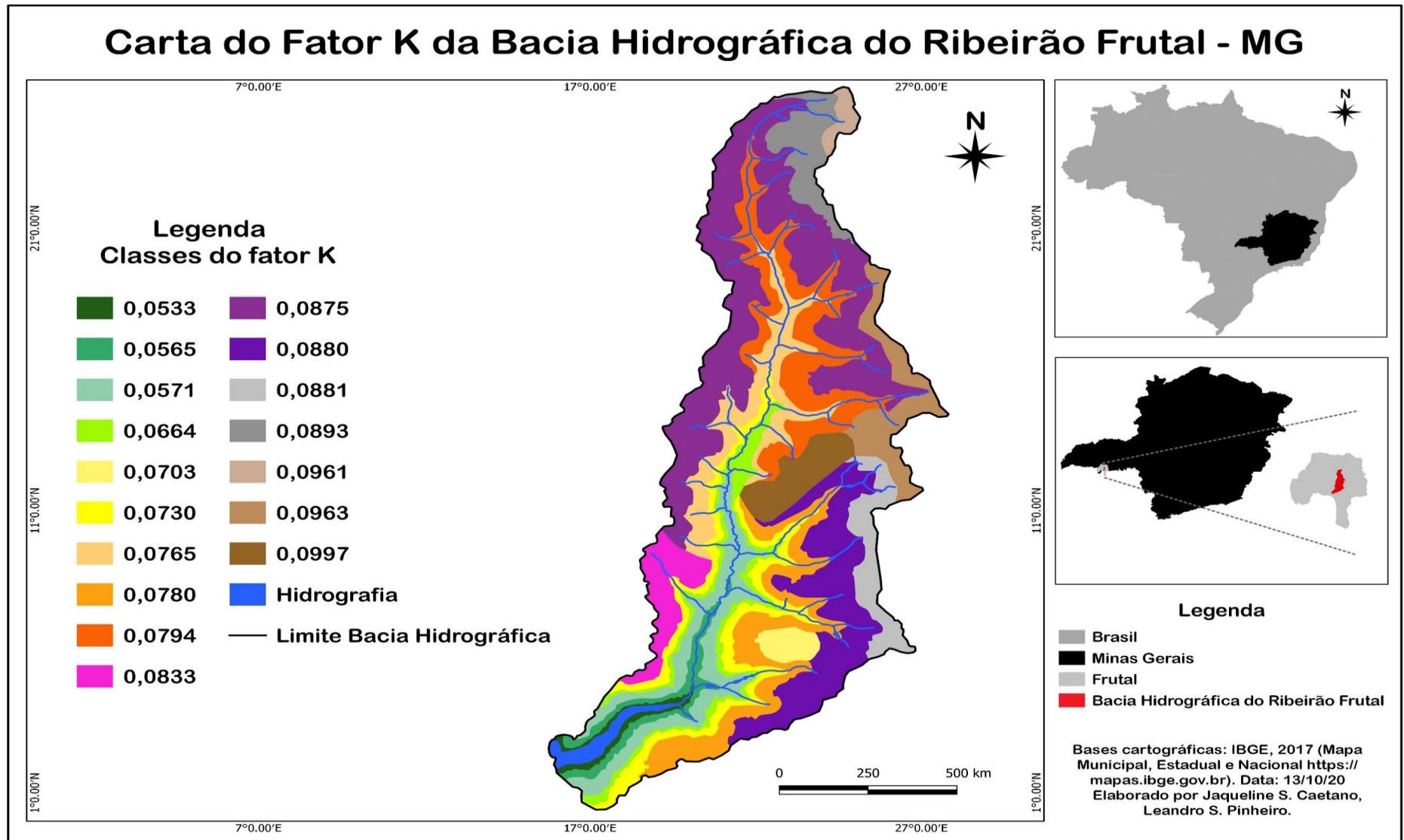


Figura 18 - Carta do Fator K da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG
Fonte: Caetano; Pinheiro (2020)

Devido as propriedades físicas, químicas e biológicas que os solos possuem, algumas combinações são mais susceptíveis a erosão do que outras (TOMAZONI; GUIMARÃES, 2005). Analisando de forma sistêmica, as características físicas da bacia vão influenciar na perda de solos por erosão, seja de forma considerável ou menos significativa, gerando dados que deverão ser considerados para análise. Nessa perspectiva, a erodibilidade deve ser avaliada especificamente pelos elementos que compõem o solo.

As características físicas e químicas dos solos, ao condisserem com maior ou menor resistência à ação das precipitações, singularizam o comportamento de cada solo exposto, tendo a textura, a estrutura e a matéria orgânica como fatores determinantes do nível de erodibilidade de cada solo. “Devem-se considerar dois aspectos no estudo da erosão: a propriedade físico-química da argila que faz, na presença de água, os agregados ficarem estáveis, e a propriedade biológica em virtude da abundância de matéria orgânica” (OLIVEIRA; SANTOS; ARAUJO, 2018, p. 66).

“A textura do solo é um dos fatores que influem no aumento ou diminuição da quantidade de solo arrastado na erosão” (OLIVEIRA; SANTOS; ARAUJO, 2018, p. 66). Com a análise dos solos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal (tabela X), pode ser inferido que os solos pertencentes a esta localidade são compostos em sua maioria por areia. Os solos da zona média-alta e alta da bacia se enquadram em arenosos, os quais possuem maiores espaços porosos e que durante as precipitações pluviométricas de baixa intensidade, são capazes de absorver aproximadamente quase toda água precipitada (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Contudo, diante de sua característica friável, os solos arenosos são compostos por baixa proporção de partículas argilosas, essas que constituem ligações mais resistentes entre as partículas, fazendo com que o fluxo de escoamento superficial arraste grande quantidade do solo. Já os solos argilosos são encontrados na zona baixa da bacia e dispõem de algumas características antagônicas aos solos arenosos, possuindo menor capacidade de absorção de água. No entanto, pela sua composição haver maior teor de partículas argilosas, há maior força de coesão e maior resistência à erosão (TOMAZONI; GUIMARÃES, 2005; OLIVEIRA; SANTOS; ARAUJO, 2018).

Como visto, na Carta do fator K da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG (figura 18), é possível localizar as áreas de atuação referentes ao índice de erodibilidade. Pode ser constatado que na alta bacia há maior influência do efeito *splach*, em função da maior friabilidade

dos solos. Já na baixa bacia, é onde se encontram as extensões maiores de vertente e solos argilosos com menor capacidade de infiltração, devido ao fato de haver maior quantidade de argila. Resulta-se dessa combinação escoamento superficial mais elevado em extensões mais longas de vertente, obtendo maior abrasividade e em ambos os casos o fator K elevado.

5.9 Potencial Natural à Erosão Laminar

“O Potencial Natural à Erosão Laminar representa a interação dos principais fatores naturais do meio físico intervenientes no processo da erosão laminar” (STEIN et. al. (1987, p. 117). Por meio da Carta do Potencial Natural à Erosão Laminar (Figura 19), é possível visualizar às estimativas de perdas de solos em áreas em que a cobertura vegetal e intervenção antrópica não são considerados para formulação dos dados. Dessa forma, estima-se que a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG perca em média 5.000 ton./ha./ano, tendo nas porções de baixa vertentes o índice estipulado de 10.000 ton./ha./ano.

Na parte média e alta da bacia estudada os índices de PNE são mais elevados, se comparados com a parte baixa, isso porque os índices de 10.000 ton./ha./ano e 20.000 ton./ha./ano possuem porcentual de aparição significativos. Outra análise possível de ser realizada é em relação as margens da bacia, na qual, na margem direita o índice de 500 ton./ha./ano apresenta-se com porcentual de aparição significativo, tendo na margem esquerda o efeito inverso, representando menor potencial erosivo da margem direita. Áreas de acumulação fluvial também foram localizadas nos fundos de vales, inferidas por Pinheiro; Caetano; Pereira (2018) no mapeamento geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG.

“O Potencial Natural de Erosão (PNE) é indicado a partir da integração de dados dos fatores da EUPS, que se referem a elementos do meio físico, considerando a erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K) e fator topográfico (LS)” (OLIVEIRA; PINTO; LOMBARDI NETO, 2007, p. 71), referindo-se à propensão da superfície a ser erodida. Tal equação estima o potencial de perdas de solos por escoamento superficial advindo de precipitações pluviométricas, fazendo com que as dinâmicas erosivas sejam dessemelhantes devido as variações de intensidade que o escoamento pode propiciar no terreno (PINHEIRO, 2012).

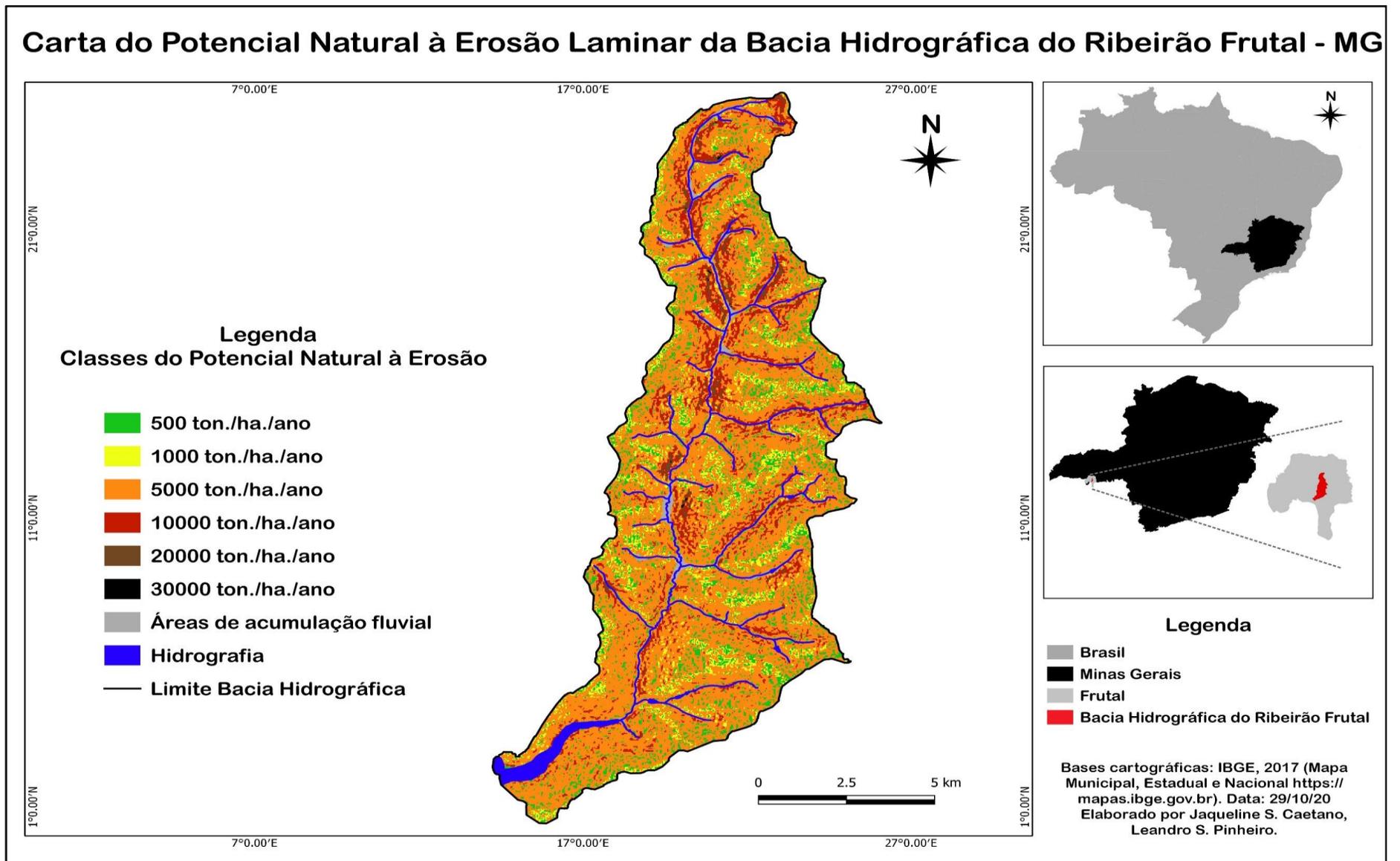


Figura 19 - Carta do Potencial Natural à Erosão Laminar da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG

Fonte: Caetano; Pinheiro (2020)

Quando expressando em forma de material cartográfico, o PNE possibilita uma nítida interpretação do risco de erosão existente em incumbência das características do meio físico (FILHO, 2013). As estimativas e dados gerados podem contribuir para o ordenamento do uso da terra como da ocupação de áreas potencialmente suscetíveis à erosão, evitando ou antevendo cenários de degradação do solo, onerando custos públicos e privados, como permitindo o planejamento de regiões mais frágeis, de chuvas mais presentes, solos de erodibilidade, declive e extensão de vertentes mais elevados (PEDRO; LORANDI, 2004).

As estimativas do Potencial Natural de Erosão da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG atingiram valores significativamente elevados. Segundo Bertoni; Lombardi Neto (2005) há uma tolerância de perdas de solos para cada Estado e o autores definem que tal conceito pode ser usado para “designar a intensidade máxima de erosão de solo que permitirá um elevado nível de produtividade”, sendo representada por toneladas de perdas de solo por hectare e por ano (ton./ha./ano). O estabelecimento da tolerância considerada ideal é relativo e dependente não somente da comissão científica julgadora, mas das características físicas da bacia hidrográfica a ser estudada.

Todos fatores da EUPS são levados em consideração para análise de perdas de solos, assim como alguns fatores de sua equação servem de modelos para a média de intensidade esperada do PNE. Para o Estado de Minas Gerais, ainda faltam pesquisas que estabelecem a tolerância de perda de solos por erosão laminar, não somente por causa de sua avantajada extensão territorial, mas por ser constituída de características naturais heterogêneas e diversificadas. O que se possui em proporção avantajada no referido Estado, são os estudos de bacias hidrográficas nas diversas localidades mineiras, tendo dessa forma perspectiva em escala maior.

Segundo Moraes; Sales (2017) durante a evolução das ferramentas de mapeamento, foram propostas diversas metodologias para se estimar os parâmetros que constituem o PNE. A maioria delas são oriundas do sensoriamento remoto, tendo a estimação feita por meio de satélites. As geotecnologias evoluíram ao ponto de armazenarem dados e serem capazes de analisar os mesmos de forma integrada, por meio de álgebra de mapas, constituindo novos dados de análise, a exemplo, o próprio Potencial Natural de Erosão.

Com o PNE da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG, pode ser inferido que as características de erosividade, erodibilidade e fator topográfico proporcionam índices significantes de PNE, promovidos especialmente pelas particularidades naturais que compõem

os elementos em questão. Todas as intervenções antrópicas, sejam elas relacionadas a alteração da cobertura vegetal natural ou introdução de práticas de conservação, não fazem parte da somatória, não tendo de forma direta o aumento desse índice pela implementação das atividades humanas na bacia hidrográfica. Dessa forma, é concreto afirmar que a natureza propicia e engendra tal potencial natural erosivo.

5.10 Perdas de Solo por Erosão Laminar

O fator A é a última combinação elaborada por meio da equação EUPS e tem seu resultado a partir da multiplicação de todos os fatores que compõem tal modelo matemático (WISCHMEIER; SMITH, 1978). É visto por muitos acadêmicos como a resultância de todos os elementos físicos e antrópicos que atuam no ambiente, gerando por meio de produto cartográfico a harmonia de todos os fatores em um só e representando de forma espacial a estimativa de perdas de solos por erosão laminar (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Por meio da Carta de Perdas de Solos (Figura 20), é possível visualizar que as estimativas em ton./ha./ano foram intrinsecamente fidedignas com todos os fatores estudados da Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS, expondo em níveis as estimativas de perdas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG. De acordo com a carta, pode ser afirmando que a bacia tenha a perda em média o percentual de 100 a 200 ton./ha./ano. Locais onde a vegetação nativa foi mantida, como a mata ribeirinha que trilha a hidrografia e fragmentos vegetativos (ilhas) obtiveram os menores índices de perda de solo, estando entre a média percentual de 0 a 10 ton./ha./ano.

Esse fato sucede devido a camada protetora que a vegetação nativa ocasiona no solo, fazendo com que o perímetro coberto seja protegido do efeito “*splash*”, retendo nas folhas das árvores o impacto das gotas de chuva que decairiam sobre a superfície do solo. E posteriormente, o escoamento superficial, amenizado pela serapilheira, criando uma barreira física e impedindo que o fluxo escoe com maior velocidade. O aumento da infiltração da água da chuva no solo também é proporcionado em ambientes de mata, devido ao acúmulo de restos de plantas e de material orgânico na superfície, reduzindo consideravelmente as perdas de solos por erosão.

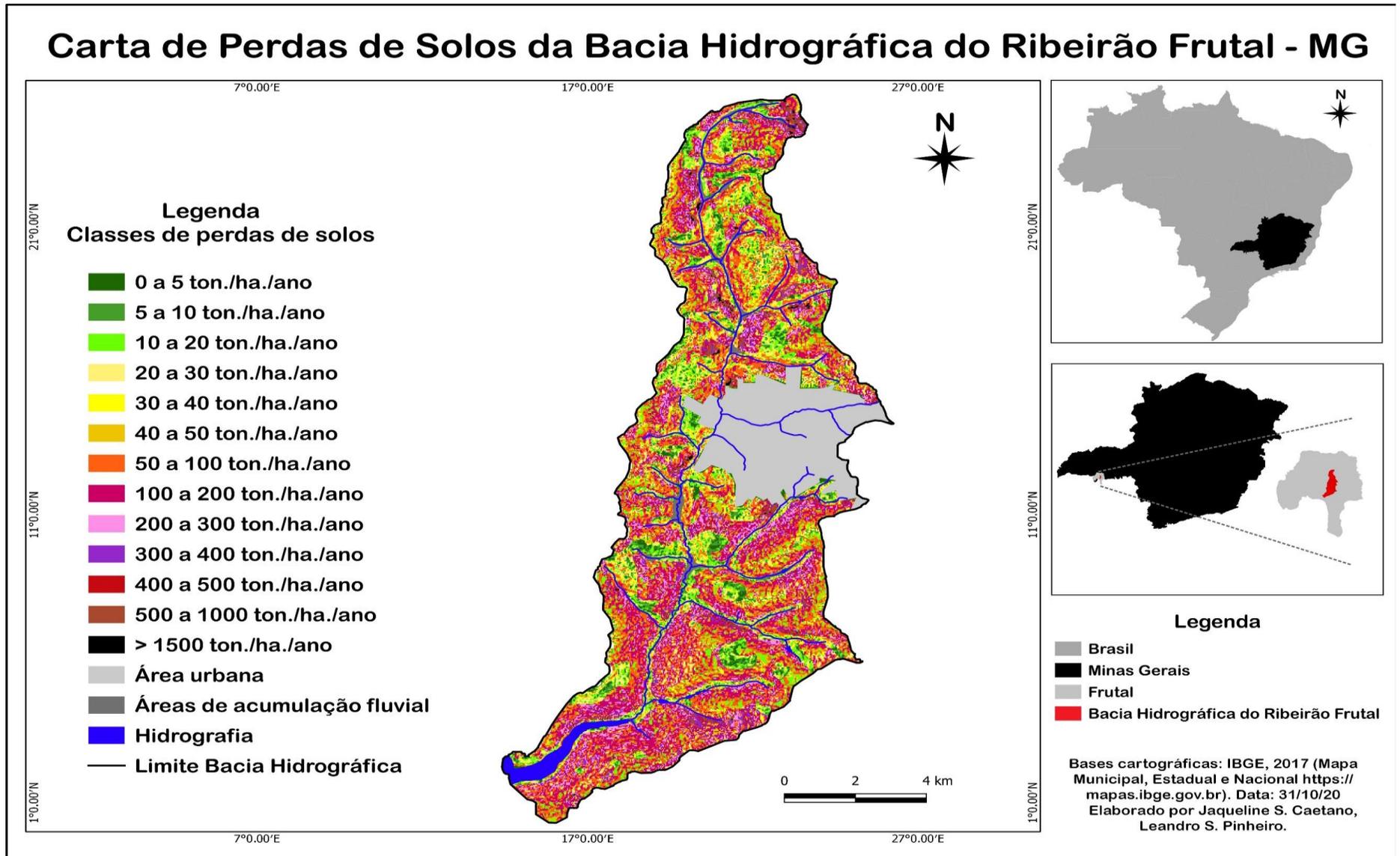


Figura 20 - Carta de Perdas de Solos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG
Fonte: Caetano; Pinheiro (2020)

Tal cenário se faz antagônico aos outros tipos de vegetação, tendo a cultura de cana-de-açúcar índices superiores a 200 ton./ha./ano, mesmo com a presença da aplicação de práticas conservacionistas, o que é muito relevante, porque sem elas os índices poderiam multiplicar-se. O terraceamento ainda não consegue sozinho fazer com que a perda de solo seja totalmente atenuada no caso em questão. Já as áreas de seringais, por sua vez, tiveram índices que marcaram média de 30 a 40 ton./ha./ano, isso devido as características vegetacionais que tais culturas possuem, deixando o solo exposto aos efeitos que a chuva pode causar, principalmente pelo efeito “*splash*” e pela falta de aplicação de práticas conservacionistas.

As culturas de laranjais tiveram índices preditivos que atingiram a média de 50 a 100 ton./ha./ano. Esse tipo de cultura pode parecer irrelevante quando tratamos de erosão laminar, mas é totalmente equivocado tal pensamento, pois, nos cultivos de laranja visitados em trabalhos de campo, por mais que a cobertura vegetal desses cultivos sejam mais densas, os espaços entre eles são amplos e largos, servindo de estrada para maquinários pesados e outros veículos de locomoção. A remoção de gramíneas também é realizada por arados, fazendo com que toda a superfície fique desprotegida e a estrutura do solo seja alterada. Nenhuma prática conservacionista foi identificada nas plantações, possuindo cenário propício para a perda de solos por erosão laminar.

No que diz respeito as pastagens, são considerados ambientes complexos e de difícil análise, uma vez que, as mesmas podem ser utilizadas para pecuária e também podem não ser utilizadas para nenhuma atividade humana. Para o estudo de perdas de solo, consideramos pastagem segundo Hadley (1993) como ecossistema dinâmico, onde a vegetação dominante é constituída por espécies herbáceas nativas ou exóticas. No que tange os índices de perda, a pastagem obteve índices preditivos que atingiram a média de 10 a 50 ton./ha./ano. A cobertura do solo por pastagem é mais eficiente em proteger o solo da erosão do que em relação ao solo exposto ou pastejado, corroborando, dessa forma, os dados de perdas obtidos de acordo com o cenário estudado.

Comparando a participação do fator LS (declividade e extensão de vertentes), os ambientes em que os índices deveriam ser maiores seriam em declives mais acentuados e em extensão de vertentes maiores. Ou seja, no setor Norte (Figura 21) prevalecem maiores declividades em vertentes menos extensas, enquanto que na baixa bacia (Figura 21) prevalecem vertentes mais extensas, porém, com baixa declividade. Ao observar o fator A essa concepção se contradisse, tendo a zona Norte, parte alta da bacia, índices menores que a zona Sul, parte

baixa da bacia hidrográfica em questão e o mesmo acontece para os ambientes de porções baixas da bacia em vertentes extensas.



Figura 21 – Alta bacia próximo das nascentes da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG
Fonte: Pinheiro (2021)



Figura 22 – Baixa Bacia próximo ao represamento do Marimbondo
Fonte: Pinheiro (2021)

Há duas explicações para isso, a primeira delas tem a ver com a cobertura vegetal, pois, onde houve presença de matas ou pastagens composta por espécies herbáceas nativas ou

exóticas, não somente a equação, mas, a álgebra de mapas compreendeu que essa característica diminuiu a perda de solos, o que é totalmente compreensível e lógico. A vegetação obteve papel crucial na minimização da perda de solos por erosão laminar, fazendo com que o solo não seja tão facilmente erodido, mesmo em declives mais acentuados e extensões de vertentes maiores.

A segunda explicação, possui ligação com que Christofolletti (1999) denominou de sistemas controlados e sistemas de processos-respostas. Uma vez que, “sistemas controlados: são formados mediante intervenção antrópica nos sistemas ambientais físicos, que podem alterar as formas e os fluxos de matéria e energia em diferentes intensidades (MARQUES NETO, 2008, p. 80).” A bacia foi alterada pela ação antrópica, retirando suas vegetações naturais e introduzindo outras completamente diferentes da anterior, ocasionando maior erosão laminar. No entanto, em ambientes onde a vegetação natural foi mantida, essa característica atuou de forma a minimizar a perda de solos, controlando o sistema.

Já o processo resposta, “[...] implica que alterações nos fluxos de matéria e energia exercem reflexos expressos pela modificação na estrutura do sistema morfológico através do reajustamento de suas formas e da dinâmica das variáveis” (MARQUES NETO, 2008, p. 80), almejando sempre a relação mais equilibrada entre os processos e as formas. Ao implementar práticas conservacionistas, por exemplo, automaticamente cria-se processo-resposta positivo, diminuindo dessa forma a perda de solos. A cobertura vegetal também é um ótimo exemplo de como isso acontece, visto que, tanto a sua presença como sua forma (densa, menos densa, esparsa, entre outros) modifica a dinâmica em que a erosão atua na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal – MG, podendo ela ser menos ou mais elevada, a depender dos cenários encontrados.

A erodibilidade do solo influencia no fator A devido os altos índices encontrados em todo o perímetro da bacia estudada, ocasionado pelas propriedades físicas, químicas e biológicas que compõem os solos do local, fazendo-os mais suscetíveis à erosão. Correlacionados a esse fator, a erosividade, por sua vez, expressa que o maior índice de perdas será ocasionado na estação chuvosa, especialmente nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março. É importante ressaltar que todos esses dados estão embutidos na carta do fator A, mas não é possível identificar tais informações observando apenas esse único fator.

Para análise do fator A “é necessário estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na

ordem que os unifica” (BERTALANFFY, 1973, p. 53). É crucial analisar cada fator da EUPS de forma isolada e integrada, buscando sempre dados que informem a atuação dos mesmos no sistema dinâmico. Isso propicia perspectiva mais difundida da relação ambiente físico com suas características naturais e da relação sociedade, onde a mesma impõe suas necessidades sobre os ambientes físicos. Estudar a paisagem de forma sistêmica corrobora em localizar e solucionar problemas, sejam eles de grandeza proporcional ou invisível aos olhos.

Para a elaboração dos dados de declividade, foram utilizadas as cotas desenvolvidas por Cristo (2013), onde o autor faz a classificação das características de relevos semelhantes ao da bacia estudada nessa pesquisa. Já a carta de extensão de vertentes teve as medidas adotadas nas faixas buffer desenvolvidas por Pinheiro; Caetano (2020), onde Pinheiro (2012) propôs a segmentação das vertentes como metodologia de aplicação para EUPS, tornando mais fidedignas a poligonização das faixas buffer para extensões de vertente. Ambos autores foram fundamentais para a elaboração dos dados do fator LS, por ser a combinação dos mesmos a formulação dos dados.

A erosividade foi desenvolvida por meio de dados pluviométricos do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil - INMET e pelos estudos desenvolvidos por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), que se basearam em uma série de estudos desenvolvidos em Campinas – SP, gerando uma fórmula que deu origem aos resultados do fator R da pesquisa em questão. Compreende-se a veracidade dos mesmos pelos inúmeros testes e melhoramentos realizados no desenvolvimento da fórmula dos autores supracitados. O mesmo acontece com o fator K, foi empregado a metodologia proposta por Denardin (1990) para obtenção da erodibilidade do solo.

Para o fator de uso e manejo do solo foram aplicados métodos convencionais de cartografia para classificação dos usos, tendo os autores Donzeli et al. (1992), Silva (2005), Tôsto et al. a elaboração dos índices de perda de solos em relação ao uso da terra da bacia hidrográfica estudada. O mesmo acontece com o fator P, em os tipos de práticas de conservação foram elaborados de acordo com métodos convencionais de cartografia para elaboração da carta e pelos tipos de conservação pela classificação e descrição de Bertoni; Lombardi Neto (2005).

O potencial natural de erosão (PNE) foi proposto por Wischmeier; Smith (1978) e “por considerar o solo desnudo, perdas de solo altas ocorrem em maiores áreas. Já quando se considera o uso e cobertura atual da terra, como no mapa de Predisposição a Perda de Solo, torna-se nítida a relação entre o uso e manejo na proteção contra a erosão” (CAMPOS et al., 2008). Para a pesquisa em questão, o PNE foi elaborado considerando o solo exposto, por

meio da técnica da equação EUPS, utilizando os dados prontos dos fatores R, K, LS e realizando a combinação por meio da álgebra de mapas.

O resultado final é a perda de solos representada pelo fator A, tendo todos os dados corroborados pelos autores dos respectivos fatores que deram origem ao resultado final. A ratificação dos resultados obtidos não vem apenas da aplicação do modelo matemático, mas de todos os pesquisadores que deram gênese a ele e implementaram sempre com avanços metodológicos os fatores que compõem os dados. Por ser muito dinâmico e heterogêneo, as perdas de solos representado pela combinação dos fatores da EUPS são de difícil comparação.

Autores que desenvolvem pesquisas de predição convivem muitas das vezes com a falta de dados para os respectivos locais, assim como pesquisas de modelagem para comparação dos resultados. Grande parte dos pesquisadores possuem como base referencial teórico de autores que desenvolvem pesquisas sobre os fatores de forma singular, tendo as bases das características físicas e antrópicas por essa forma, assim utilizando para locais iguais ou semelhantes, sendo o caso do estudo em questão. Para ratificação dos dados, diversos autores foram citados no intuito de elevar a veracidade dos dados.

6. CONCLUSÃO

A Bacia Hidrográfica não possui cotas altimétricas elevadas, assim como também não possui atributos extremos de declividade. No entanto, tais fatores influenciam na erosão laminar, tendo a localidade Norte da bacia índices que podem provocar cenários críticos quando relacionados com o fenômeno erosivo, ao contrário do setor Sul. Quando analisados os dados de extensão de vertentes, foi identificado que as maiores extensões de vertente se encontram no setor Sul da bacia e as menores no setor Norte. Ao unir declividade e extensão de vertentes, temos o fator LS, que compõe os fatores do modelo de equação EUPS, evidenciando que os maiores índices de probabilidade à ocorrência de erosão laminar se localizam na porção baixa vertente, média baixa e média vertente, próximos da hidrografia.

Os índices de precipitação pluviométrica oscilam consideravelmente de acordo com a estação chuvosa e de estiagem do município. A precipitação média anual (mm) e a média mensal do índice de erosividade (MJmm/ha.h) possuiu valores elevados nos meses chuvosos. O Fator R obteve índice elevado. Observou-se também que a região do Triângulo Mineiro evidenciou os maiores valores de chuvas intensas, com duração de 30 minutos. Tais fatos estipulam que a vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal será sempre elevada na estação chuvosa, possuindo a necessidade de maior atenção nesse período.

Em relação a erodibilidade dos solos (fator K) da bacia, pode ser considerado muito alto na localidade Norte e na localidade Sul alto. A classificação textural obtida por meio das análises de granulometria e matéria orgânica foram: areia franca, francoarenosa, franco-argiloarenosa e francoargilosa. Os solos são compostos principalmente de areia fina, conseguinte, de silte e argila. Nessa perspectiva, a areia grossa, juntamente com a matéria orgânica são os elementos menos encontrados na composição dos solos. Correlacionando os dados de areia grossa e fina, pode ser ratificado que os solos são em sua maioria compostos por areia. Na alta bacia os solos são mais arenosos e sofrem com o efeito *splash* devido maior friabilidade dos solos e na baixa bacia os solos são argilosos e sofrem com o escoamento superficial devido a maior abrasividade.

Levando em consideração a bacia hidrografia para atividades de cunho antrópico, o uso da atividade agrícola é muito considerável, tendo culturas de laranja, cana-de-açúcar e seringueiras, que juntas somam 49,42% de área, Já a área de mata é de apenas 18,50%, juntamente com a pastagem com 7,33% e área urbana com 11,76%. Em relação as práticas

conservacionistas, elas foram classificadas em manejo com terraceamento, obtendo 42,05%, plantio em contorno com 13,41%, áreas sem o uso de práticas conservacionistas com 31,12% e área urbanizada ou edificações com 13,42%. A cana juntamente com a seringueira teve índices elevados de perda de solos por erosão laminar, mesmo com a aplicação de práticas de conservação.

Estimou-se que o potencial natural a erosão permaneceu na média de 5.000 ton./ha./ano a 10.000 ton./ha./ano. Na parte média e alta da bacia estudada os índices de PNE são mais elevados, se comparados com a parte baixa. Os valores foram considerados apropriados para área estudada, principalmente por apresentarem um cenário onde o solo está exposto e sofrendo apenas com os fatores de erosividade, erodibilidade e topográfico. Ao analisar o esboço final dos resultados, ou seja, a combinação entre todos os elementos da EUPS, pode ser ratificado que o fator da bacia tenha a perda média de 100 a 200 ton./ha./ano. Locais onde a vegetação nativa foi mantida, como a mata ribeirinha que trilha juntamente com a hidrografia e fragmentos vegetativos (ilhas), obtiveram os menores índices de perda de solo, estando entre a média percentual de 0 a 10 ton./ha./ano.

Onde houve presença de matas ou pastagens composta por espécies herbáceas nativas ou exóticas, não somente a equação, mas, a álgebra de mapas compreendeu que essa característica diminuísse a perda de solos. A vegetação obteve papel crucial na minimização da perda de solos por erosão laminar, fazendo com que o solo não seja tão facilmente erodido, mesmo em declives mais acentuados e extensões de vertentes maiores. Christofolletti (1979) explica essa relação por meio dos sistemas controlados e sistemas de processos-respostas.

Uma vez que, “sistemas controlados são formados mediante intervenção antrópica nos sistemas ambientais físicos, que podem alterar as formas e os fluxos de matéria e energia em diferentes intensidades.” A bacia foi alterada pela ação antrópica, retirando suas vegetações naturais e introduzindo outras completamente diferentes da anterior, ocasionando maior erosão laminar. No entanto, em ambientes onde a vegetação natural foi mantida, essa característica atuou de forma a minimizar a perda de solos, controlando o sistema.

Conclui-se a utilização da Equação Universal de Perdas de Solos - EUPS se apresentou satisfatória na avaliação da suscetibilidade à perda de solo, principalmente, por considerar o potencial natural e antrópico erosivo e a perda de solos por erosão laminar da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal - MG. As cartas elaboradas permitiram destacar as áreas com maior potencial erosivo, e podem ser utilizadas para o planejamento de ações direcionadas para

o manejo e principalmente para a conservação dos solos. As análises em laboratório corroboraram para a ampliação de estudos pedológicos e conhecimento do local estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB´SÁBER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**. n. 18, IG-USP, São Paulo, 1969.

ADEGHI, S. H. R.; GHOLAMI, L.; KHALEDI, A.; SAEIDI, P. A review of the application of the MUSLE model worldwide. **Hydrological Sciences Journal**, v. 59, n. 2, p. 365–375, 2014.

ALEWELL, C.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; PANAGOS, P. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. **International Soil and Water Conservation Research**, v.7, n. 3, p. 203-225, 2019.

ANGULO, R. J. **Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros**. 1983. 154 f. Dissertação (Mestrado em Conservação do Solo). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1983.

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do estado de Minas Gerais: climatologia agrícola. **Informe Agropecuário**, v.12, p. 9-13, 1986.

AQUINO, R. F. **Padrões de chuva e variabilidade da erosividade para o Sul de Minas Gerais**. 2005, 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2005.

AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; MELLO, C. R. DE; FONSECA, S. Calibração e aplicação do modelo MUSLE em uma microbacia hidrográfica nos Tabuleiros Costeiros brasileiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 563-569, 2008.

BARBOSA, A. F.; OLIVEIRA, E. F.; MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 38, p. 170-179, 2015.

BARRETTO, A. G. O. P. **História e Geografia da Pesquisa Brasileira em Erosão do Solo**. 2007, 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

BENNETT, H. H. Conservation farming practices and food control. Organic Roots Collection. Washington: **National Agricultural Library** – NAL, p. 16, 1886.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1973. 360 p.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Comprimento crítico de declive em sistemas de preparos conservacionistas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 21, p. 139-148, 1996.

BERTONI, J. O. **O espaçamento de terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão**. Bragantia, Campinas – SP, p. 113-140, 1959.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 5. ed. Ícone, São Paulo, 2005.

355 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR., R. **Equação de Perdas de Solo**. Instituto Agronômico, Campinas – São Paulo, 21 p. 1975.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**. n. 13. São Paulo, p. 27, 1971.

BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; CURI, N.; VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, n. 79, p. 49-59, 2009.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais** / João José Bigarella; contribuição de Everton Passos... [et al.]. – Florianópolis: Ed da UFSC, 2003.

BORRELLI, P.; PANAGOS, P.; MÄRKER, M.; MODUGNO, S.; SCHÜTT, B. Assessment of the impacts of clear-cutting on soil loss by water erosion in Italian forests: First comprehensive monitoring and modelling approach. **Catena**, 149, p. 770-781, 2017.

BRADY, N. C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 790 p. 2013.

BROWNING, G. M., PARISH, C. L., GLASS, J. A. A method for determining the use and limitation of rotation and conservation practices in control of soil erosion in Iowa. **American Society of Agronomy Journal**, p. 65-73, 1947.

BUENO, C. R. P. **Zoneamento da susceptibilidade à erosão dos solos da alta e média bacia do Rio Jacaré-Pepira, SP, com vistas ao planejamento ambiental**. 1994. 137 f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

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

BURIN, R. H. **Avaliação temporal de perda de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Preto (SP) utilizando geoprocessamento**. 1999, 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

CAETANO, J. S. **Canais Pluviais Naturais em Frutal – MG**. 2018, 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) – Universidade do Estado de Minas Gerais, UEMG. Unidade Frutal. 2018.

CAPRA, F. Autoorganization Model. In:____. **The web of life**. Melbourne: Anchor Books, p. 347, 1997.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, M.F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista**

Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental., v. 13, p. 3 - 9. 2009.

CARVALHO, M. A. R. de. **Efeito da cobertura do solo e de práticas de controle de erosão nas perdas de água e solo por escoamento superficial por escoamento superficial.** 2009, 121 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

CARVALHO, N. O. **Hidrosedimentologia Prática.** Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e Eletrobrás. Rio de Janeiro: CPRM: Eletrobrás, 1994.

CASSETI, V. **Geomorfologia.** [S.l.]: 2005.

CENTENO, L. N; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUSA, R. O. D; TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31-37, jul, 2017.

CHAVES, H. M. L. Análise global de sensibilidade dos parâmetros da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 345-350, 1991.

CHORLEY, R. J. A Geomorfologia e a Teoria do Sistemas Gerais. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 11, n. 21, p. 3-22, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia.** São Paulo: HUCITEC, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. As Teorias Geomorfológicas. **Notícia Geomorfológica**. Campinas, v. 13, n. 25, p. 3-4, jun., 1973.

COGO, N. P. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solos para fins de controle da erosão hídrica. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1987, Campinas, **Anais [...]** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988, 21 p.

CONCIANI, W. **Processos erosivos: conceitos e ações de controle.** 1. ed. Cuiabá: CEFET - MT, 2008, 148 p.

COSTA, F. N. Campos Rupestres. *In*: SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. A. **Serra do Espinhaço Meridional: Paisagens e ambientes.** Belo Horizonte: O Lutador, p. 137-147, 2005.

CUNHA, C. M. L. A. **Quantificação e Mapeamento das Perda de solo por Erosão com Base na Malha Fundiária.** 152 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. *In*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente.** 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 337-379, 2006.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. *In* **Geographical Journal of The Royal**

Geographical Society, p. 481-504, 1899.

DE NÓBREGA, M. T.; EDÉZIO DA CUNHA, J. A Paisagem, os Solos e a Suscetibilidade à Erosão. **Revista Espaço Plural**, v. 12, n. 25, 2011.

DEDECEK, R. A.; RESCK, D. V. S.; DE FREITAS JR., E. Perdas de solo água e nutrientes por erosão em Latossolo vermelho escuro nos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 265-272, 1986.

DEMARIA I. C.; LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 263-270, 1997.

DENARDIN, J. E. Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. *In*: Simpósio de manejo do solo e plantio direto no sul do Brasil, 1; Simpósio de conservação de sol do planalto, Passo Fundo. **Anais [...]** Passo Fundo: Faculdade de Agronomia, 1984, p. 107-123.

DENARDIN, J. R. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

DERRUAU, M. **Précis de Géomorphologie**. Paris: Masson, 1988.

DONAGEMMA, G. K et al. Characterization, agricultural potential, and perspectives for the management of light soils in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 51. n. 9, p. 1003-1020, 2016.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In **Defining Soil Quality for Sustainable Environment**, Doran J. W. et al. (eds). Special Publication No. 35. Soil Science Society of America: Madison, WI; 3-21, 1994.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. de. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. **Revista de Engenharia Sanitária Ambiental**. v. 21, n. 4, p. 677-685, 2016.

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

ELLISON, W. D. Studies of raindrop erosion. In: LARONE, J. B.; MOSLEY, M. P. **Erosion and sediment yield**. Hutchinson Ross Publishing Company, 1944.

ELTZ, F. L. F. **Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais**. I. Solo da unidade de mapeamento São Jerônimo – Primeira Etapa Experimental. (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Agronomia. Porto Alegre, UFRGS, 97 p. 1977.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Estudos da Erosão**. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido: CPATSA, Coordenadoria

De Transferência De Tecnologia Agropecuária – CTTA, 1995.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. da.; EID, N. J.; MARTINS, E. de S.; KOIDE, S. **Avaliação do uso de nomograma de Wischmeier para estimativa da erodibilidade de latossolos do cerrado.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Perda de solo e valoração econômica do cultivo da seringueira e outros usos no noroeste de São Paulo / Sergio Gomes Tôsto... [et al.].** – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2017.

ESTADOS UNIDOS, SOIL SURVEY STAFF. **Soil Survey manual.** Washington, D. C: Department of Agriculture. Soil Conservation Service, 437 p. (USDA. Agriculture. Handbook, 18) 2. ed. 1993.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Status of the World's Soil Resources: Main Report.** ITPS, Global Soil Partnership, Rome: Italy, 650 p. 2015.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Soil Erosion by Water.** 1965.

FARINASSO, M. et al. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS equação universal de perdas de solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSÉ, M. M.; GARCÍAS, C. M. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana.** 4. ed. Curitiba: Champagnat, 1997.

FERNANDES, L. C. **Estudo Multi-Temporal do Uso, Ocupação e Perda de Solos em Projetos de Assentamentos em Rondônia.** 2008. 133 f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

FERNANDEZ, O. V. Q. **Mudanças no canal fluvial do rio Paraná e processos de erosão nas margens: região de Porto Rico, PR. Rio Claro,** 86 f. (Tese de Mestrado). Universidade Estadual de São Paulo, 1990.

FIERZ, M. M. A Teoria do Equilíbrio Dinâmico em Geomorfologia. *Geosp - Espaço e Tempo* (Online), v. 19, n. 3, p. 605-629, 2016.

FOLEY, J. Living by the lessons of the planet. **Science**, v. 356, p. 251-252, 2017.

FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Jornal Soil and Water Conservation**, Ankeney, Iowa, v. 36, n. 6, p. 355-359, 1981.

FREIRE, O.; PESSOTTI, J. E. S. Erodibilidade dos solos do Estado de São Paulo. **Anais da**

Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba, v. 31, p. 333-40, 1974.

GALDINO, S.; WEILL, M. de A. M. Estimativa do fator topográfico (LS) da RUSLE para a bacia do alto Taquari – MS/MT, utilizando algoritmo do ângulo de inclinação limite para erosão/deposição. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto SBSR**, Curitiba, PR, Brasil – INPE, p. 4813, 2011.

GALETI, P. A. **Conservação do solo, reflorestamento, clima**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1982. 286 p.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.

GILBERT, G. K. **Lake Bonneville**. Washington DC: Government Printing Office, 1877.

GILBERT, G. K. The Geology of the Henri Mountains. Washington: United States: **Geographical and Geological Survey**. 1877.

GILLES, L.; COGO, N. P.; BISSANI, C. A.; BAGATINI, T.; PORTELA, J. C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1427-1440, 2009.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. de B. A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE DCG/NAPA, v. 21, n. 2, jul./dez. 2004.

GODOY, M. J. S.; LOPES ASSAD, M. L. Aptidão agrícola com estimativa de risco climático para a cultura do milho utilizando geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 685-694, 2002.

GOODLAND, R.; FERRI, M. G. **Ecologia do Cerrado**. São Paulo: EDUSP, 1979.

GÓMEZ, J. D. P. **Estimativa de erosão pela Equação Universal de Perda de Solos (USLE) e transferência de sedimentos para todo o território brasileiro**. 90 f. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz: Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, 2012.

GUERRA, A. J. T. A erosão dos solos no contexto social. **Anuário do Instituto de Geociências – UFJR**, v. 17, p. 14-23, 1994.

GUERRA, A. J. T. **O Início do Processo Erosivo**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. org. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 10. ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015, p.17-50.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. D. C. O. Geomorfologia do Cotidiano - A degradação dos solos. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 4, n. Especial, p. 116-135, jun. 2012.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. **Erosão dos solos e a questão ambiental**. In:

VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. org. Reflexões sobre a geografia física do Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, p. 255-280.

GUERRA, A. T.; CUNHA, S. B. org. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 2. ed., Bertrand, Rio de Janeiro, 1995.

HACK, J. T. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. United States Geol. **Survey Profiss Paper**, (294-B), 1957.

HACK, J.T. Geomorphology of the Shenandoah Valley, Virginia and West Virginia, and origin of the residual ore deposits. U.S. **Geology Survey Professional Paper**, 1965.

HACK, J.T. Interpretation of Erosional Topography in Humid-Temperate Regions. **American Journal Science**, New Haven, Conn. v. 258, p. 80-97, 1960.

HADLEY, M. Grassland for sustainable ecosystems. International Grassland Congress, 17°, Nova Zelândia – Austrália. **Proceedings**, p. 21-28, 1993.

HOLY, M. Erosion and Environment. **Environmental Sciences and Applications**. Ed.: Asit K. Biswas, Margaret R. Biswas, v. 1, p. 236, 1980.

HUDSON, N. Soil conservation. 2. ed. Ithaca, Cornell University Press, 1971. 320 p. **Hydrological Processes**, v. 28 n. 3, p. 591-598, 2014.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE- Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/frutal/panorama>. Acesso em: 10 de jan. 2020.

ICKIS, J. C.; RIVERA, J. Cerro Cahui. **Journal of Business Research**. Athens, Ga., US. v. 38, n. 1, p. 47-56, 1997.

IRVEM, A; TOPALOGLU, F.; UYGUR, V. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. **Journal of Hydrology**. Amsterdam, v. 336, n. 12, p. 30-37, 2007.

JETTEN, V.; GOVERS, G.; HESSEL, R. Erosion models: quality of spatial predictions. **Hydrological Processes**. v. 17, p. 887-900, 2003.

JOHNSON, C. W.; SAVABI, M. R.; LOOMIS, S. A. Rangeland erosion measurements for the USLE. **Transactions of the ASAE**, v. 27, p. 1313-1320, 1984.

KING, L. C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 147-265, 1956.

KINNELI, P. I. A. Event soil loss, runoff and the universal soil loss equation family of models: A review. **Journal of Hydrology**, v. 385 n. 1-4, p. 384-397, 2010.

KIRKBY, J.; MORGAN, R. P. C. Modelos de procesos de erosion hidrica. **Erosión de Suelos**.

New York: John Wiley e Sons Ltd, p. 228-266, 1984.

LAFAYETTE, K. P. V.; CANTALICE, J. R. B.; COUTINHO, R. Q. Resistência à erosão em Ravinas, em Latossolo Argiloarenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2167-2174, 2011.

LAL, R. Degradation and resilience of soils. **Philosophical Transaction of the Royal Society London**, v. 352, p. 997-1010, 1997.

LAL, R. Soil Degradation by Erosion. **Land Degradation e Development**, v. 12, p. 519-539, 2001.

LAL, R. Sustainable land use systems and soil resilience. *In Soil Resilience and Sustainable Land Use*, Greenland DJ, Szabolcs I (eds). CAB – International: Wallingford, p. 41-67, 1994.

LAWS, J. O. Recent studies in raindrops and erosion. **Agricultural Engineering**, v. 21, n. 11, p. 431-433, 1940.

LIMA, E. R. V. de. **Análise espacial de indicadores da erosão do solo através de técnicas estatísticas e de geoprocessamento, com apoio do modelo EUPS**. 2000. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

LIMA, P. M. P. **Perdas de solo e água em dois Latossolos sob cerrado, com diferentes preparos e chuva simulada**. 88 f. 1987. (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Lavras: Lavras 1987.

LIMA, P. M. P.; ANDRADE, H. Erodibilidade entressulcos e atributos de solos com B Textural e B Latossólico do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 463-474, 2001.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1975. 12 p. (Boletim Técnico, 27).

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e a relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, v. 51, p. 189-196, 1992.

LOPES, P. R.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, p. 71-75, 1987.

MACIEL, M. M. **Aplicação da equação universal de perdas de solo (USLE) em ambiente de geoprocessamento e sua comparação com aptidão agrícola**. Curitiba, 2000. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná.

MARCOMIN, F. E. **Análise ambiental da bacia hidrográfica do Rio Pinheiros (Municípios de Orleans e São Rudgero, SC) com base na caracterização e diagnóstico dos elementos da paisagem e da perda de solo por erosão laminar**. São Carlos. 155 f. 2002. Tese

(Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, 2002.

MARQUES NETO, R. A Abordagem Sistêmica e os Estudos Geomorfológicos: Algumas Interpretações e Possibilidades de Aplicação. **Revista de Geografia**, v. 17, n. 2, 2008.

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; SÁ, M. A. C. de. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 447-456, jul./set. 1997.

MARQUES, J. Q. de A. Conservação do solo no Brasil. **Anais [...] Congresso Panamericano de Conservação do Solo**, S. Paulo, Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, p. 777-782, 1966.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; FONSECA, S. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. **Revista Science For**. v. 38, p. 517-526, 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. **Revista Atual**. – Rio de Janeiro, 1997.

MCBRATNEY, A.; FIELD, D. J.; KOCH, A. The dimensions of soil security. **Geomoderna**, volume 213, p. 203-213, 2014.

MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 537-545, 2007.

MILLER, G. T.; SPOOLMAN, S. E.; **Ciência Ambiental**. 14. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M. E CASSOL, E. A. Processos e modelagem da erosão: da parcela à bacia hidrográfica. In: Prado, R.B.; Turetta, A.P.D. e Andrade, A.G. (eds). **Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais**. 1ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 418 p. 2010.

MINOTTI, R. T. **Abordagens qualitativa e quantitativa das microbacias hidrográficas e áreas alagadas de um compartimento do médio Mogi Superior-SP a partir da perda de solo por erosão**. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – PPG-SEA, 2006.

MOL, G.; KEESSTRA, S. D. Soil science in a changing world. **Current Opinions in Environmental Sustainability**, v. 4, p. 473-477, 2012.

MONTENEGRO, J. O. **Características físicas e fator de erodibilidade de solos da depressão central do Rio Grande do Sul**. 112 f. 1976. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de

Santa Maria, 1976.

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

MOREIRA, J. L. B. **Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno**. 186 f. 2002. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

MORGAN, R. P. C.; NEARING, M. A. **Handbook of Erosion Modelling**. John Wiley and Sons, p. 1- 401, 2011.

MUSGRAVE, G. W. The quantitative evaluation of factors in water erosion, a first approximation. **Journal of Soil and Water Conservation**, p. 133-138, 1947.

NSIDC - NATIONAL SNOW AND ICE DATA CENTER. **How do glaciers affect land?** Disponível em: <https://nsidc.org/about/overview>. Acesso em: 15 de mar., 2020.

OLDEMAN, L. R. Global Extent of Soil Degradation. **ISRIC Bi-Annual Report**. p. 19-36, 1992.

OLIVEIRA, A. M. M. de. **Análise da dinâmica do uso da terra: o estudo da bacia hidrográfica do Ribeirão São João, SP**. 127 f. 2000. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

OLIVEIRA, A. M. M.; PINTO, S. A. F.; LOMBARDI NETO, F. Caracterização de indicadores da erosão de solos em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo preditivo. **Estudos Geográficos**. n. 5, p. 63-86, 2007.

OLIVEIRA, F. F; SANTOS, R. E. S. S.; ARAUJO, R. C. Processos erosivos: dinâmica, agentes causadores e fatores condicionantes. **Revista Brasileira de Iniciação Científica (RBIC)**, Itapetininga, v. 5, n. 3, p. 60-83, abr./jun., 2018.

OLIVEIRA, F. P. **Erosão hídrica em áreas florestais no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais**. 105 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

OLIVEIRA, V. H.; BAHIA, V. G. Erodibilidade de seis solos do município de Lavras, MG, usando o nomograma. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 9, p. 1157-1162, set. 1984.

PENCK, A. **Morphologie der Erdoberfläche**. Stuttgart: Engelhorn, v. 2, 1894.

PENCK, W. **Die morphologische analyse. Ein kapitel der physikalischen geologie**. J. Engelhorn's Nachf. Stuttgart, 1924.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

PINHEIRO, L. de S.; CUNHA, C. M. L. da. A importância da geração do fator topográfico (LS) da EUPS para modelagem erosiva de bacia hidrográfica. **Revista Geográfica de América Central**, Costa Rica, Número Especial EGAL, p. 1-13, II Semestre 2011.

PINHEIRO, L. S. **Análise da Dinâmica Plúvio-Erosiva na Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca (SP)**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

PINHEIRO, L. S. **A dinâmica erosiva na Bacia do Córrego Ibitinga - Rio Claro (SP): uma abordagem empírico-dedutiva**. 2012. 139 f. Tese - (doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2012.

PINHEIRO, L. S.; CAETANO, J. S. **O Mapeamento de Extensão de Vertentes como Fator da Modelagem Erosiva: Aplicação de Metodologia Segmentada de Vertentes**. Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Frutal, 2020. Não publicado.

PINHEIRO, L. S.; CAETANO, J. S.; PEREIRA, T. T. C. **Mapeamento geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Frutal (Frutal - MG)**. In: XII SINAGEO - SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, Crato - CE, 2018 – Paisagem e geodiversidade: A valorização do patrimônio geomorfológico brasileiro - CE: UGB - União da Geomorfologia Brasileira, 2018.

PINHEIRO, L. S. de.; PEREIRA, T. T. C. P.; RODRIGUES, R. de A.; JONAS, G. A.; MIAZAKI, A. S.; SILVA, V. C. Geração do fator topográfico (Ils) em bacia hidrográfica: análise da extensão de vertentes. **Revista Geográfica Acadêmica** v. 8, n. 1, 2014.

PRUSKI, F. F. **Fatores que interferem na erosão hídrica do solo**. In: PRUSKI, F. F., ed. Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2. ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, p. 41-74, 2009.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

PUGH, J. C. Isostatic Readjustment and the Theory of Pediplanation. **Quarterly Jour. Geol. Society**, n. 111, p. 361-9, 1955.

REIGOTA, M. A. S. Ciência e sustentabilidade: a contribuição da educação ambiental. **Revista Avaliação** (Campinas) v. 12, n. 2, 2007.

REINARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: **A guide to conservation lanning with the revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, p. 404-703, 1997.

REMORTEL, V.; HAMILTON, M.; HICKEY, R.; REMORTEL, R.; HAMILTON, M. E.; MARTIN, L. Estimating the LS Factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data within arcinfo grid. **Geography**, sheffield, n. 1, p. 1043-1053, 2001.

- RISSE, L. M.; NEARING, M. A. LAFLEN, J. M.; NICKS, A. D. Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 3, 825 p. 1993.
- RODRIGUES, J. A. M.; MELLO, C. R. de; VIOLA, M. R.; RODRIGUES, M. C. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Cervo – MG. São Paulo, UNESP, **Revista Geociências**, v. 36, n. 3, p. 531 - 542, 2017.
- ROMKENS, M. J. M. Soil erodibility factor: a perspective. **Soil erosion and conservation**. Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa, p. 445-461, 1985.
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia Ambiental**. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. org. Geomorfologia e Meio Ambiente. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- ROSSEL, R.J. Geographical geomorphology. **Annals of the Association of American Geographers**, n. 39, p. 1-11, 1949.
- ROCHA, J. V.; LOMBARDI NETO, F. BACELLAR, A. A. A. **Cálculo do fator comprimento de rampa (L): uma metodologia para uso em Sistema de Informações Geográficas**. Campinas, SP. 1995.
- RUTHES, J. M.; TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E.; GOMES, T. C. Uso de Sistema de Informação Geográfica na Determinação do Fator Topográfico da Bacia do Rio Catorze, Sudoeste do PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, p. 1099-1109, 2012.
- SADEGHI, S. H.; RAEISI, M. B.; HAZBAVI, Z. Influence of freeze-only and freezing-thawing cycles on splash erosion. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 6, p. 275-279, 2018.
- SALOMÃO, F. X. T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural**. 1994. 216 f. Tese (Doutorado em Geografia Física), Universidade de São Paulo, 1994.
- SANTOS, D. B. O.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. RUSLE para determinação da tolerância de perda de solo. **Biota Amazônia**. Macapá, v. 5, n. 4, p. 78-83, 2015.
- SANTOS, J. C. N. dos; ANDRADE, E. M. de; MEDEIROS, P. H. A.; NETO, J. R. A.; PALÁCIO, H. A. de; RODRIGUES, R. N. Determinação do fator de cobertura e dos coeficientes da MUSLE em microbacias no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.11, p.1157–1164, 2014.
- SARAIVA, F. R. S. **Dicionário Latino-português**. Editora Itatiaia, 1. ed. 2019.
- SCHULTZ, G. B.; SIEFERT, C. A. C.; SANTOS, I. Avaliação do ARCMUSLE para estimativa da produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Negro, região Sul brasileira. **Boletim Geográfico**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 131-141, 2013.

SCOPEL, I. **Características físicas de solos da região litoral-norte do Rio Grande do Sul**. 1997, 120 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 1977.

SEIXAS, B. L. S. **Fundamentos do manejo e da conservação do solo**. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA, 304 p. 1984.

SERVICE, S. C. The use of statistical methods in effecting improvements on a Jones Sample Splitter. **Journal of Sedimentary Research**, Tulsa, Okla, v. 7, n. 3, p. 110-132, 1937.

SILVA, A. M. DA. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, Amsterdam, v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004.

SILVA, A. M. da.; SCHULZ, H. E. Estimativa do fator C da EUPS para cobertura morta de resíduos vegetais de origem urbana para as condições de São Carlos - SP, Brasil. **Revista Interciência**, v. 26, n. 12, p. 615-618, 2001.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; AVANZI JUNIOR, C.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 33, p. 1811-1820, 2009.

SILVA, C. R. da. **Calibração e validação da Equação Universal de Perdas de Solos Modificada – MUSLE utilizando dados hidrossedimentológicos na Bacia do Ribeirão Pípiripau – DF**. 2010. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Florestal). Universidade de Brasília, 2010.

SILVA, C. R.; CHAVES, H. M. L.; CAMELO, A. P. Calibração e validação da equação universal de perda de solos modificada (MUSLE) utilizando dados hidrossedimentológicos locais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1431-1439, 2011.

SILVA, M. L. N. **Erosividade da chuva e proposição de modelos para estimar a erodibilidade de Latossolos brasileiros**. 1997. 154f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

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

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

SODRÉ, U. **Modelos Matemáticos**. Londrina-PR, 2007.

SOSA, D. A.; **Erosividade da chuva. Distribuição e correlação com a perda de solo para Pindorama, São Paulo, Brasil**. 1987. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1987.

SOUTO, A. R. **Análise espacial e temporal da produção de sedimentos em uma microbacia rural com o modelo AGNPS e técnicas de SIG**. São Carlos. 1998. 111 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.

SOUZA, C. K. et al. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 1067-1074, 2003.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, A. F.; PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial Natural de Erosão Laminar, Natural e Antrópico, na Bacia do Peixe – Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4, 1987, Marília. **Anais [...]** Marília: S.C.P., 1987.

TAVARES, A. C. **A erosão dos solos no contexto da análise ambiental: o exemplo do alto curso do Rio São José dos Dourados**. 1986. 300 f. Tese (Doutorado em Geografia) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo. 1986.

TÁNAGO, M. G. La ecuación universal de pérdidas de suelo: Pasado, presente y futuro. **Ecología**, v. 5, p. 13-50, 1991.

TERMIER, H.; TERMIER, G. Érosion et Sedimentation. **Masson & Cie**, Paris, 1960.

THORNE, C. R.; TOVEY, N. K. Stability of composite river banks. **Earth Survey Process Landforms**, v. 6, p. 469-484, 1981.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na Bacia Do Rio Jirau. RBC - **Revista Brasileira de Cartografia** n. 57, 2005.

TRICART, J. **Géomorphologie applicable**. Paris: Masson, 1978.

TURNER, B. L.; FUHRER, J.; WUELLNER, J.; WUELLNER, M.; MENENDEZ, H. M.; DUNN, B. H.; GATES, R. Scientific case studies in land-use driven soil erosion in the central United States: Why soil potential and risk concepts should be included in the principles of soil health. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 6, n. 1, p. 63-78, 2018.

UHDE, L. T.; BONUMA, N. B.; DALBIANCO, I; MINELLA, J. P.; REICHERT, J. M.; VOGELMANN, E.S.; BARROS, C. A.; RODRIGUES, R. Aplicação da RUSLE combinada ao SIG para estimativa de perdas de solo em uma vertente na Depressão central do RS. In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 2009, Fortaleza - CE. **Anais [...]** XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009.

VAL, L. A. **Avaliação dos índices de erosividade das chuvas no Município de Lavras, MG**. 1985. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1985.

VIEIRA, A; DE CARVALHO, I. R. T. V.; BENTO-GONÇALVES, A.; ROCHA, J. M. F. **Riscos geomorfológicos e suas manifestações**. In LOURENÇO, L.; VIEIRA, A. org. **Catástrofes Naturais: uma abordagem global**, Imprensa da Universidade de Coimbra, 2020.

VIOLA, M. R. **Comportamento espacial e temporal de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais**. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geografia) - Universidade Federal de Lavras, 2006.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 763- 774, 2004.

WELTZ, M. A.; KIDWELL, M.; FOX, H. D. Influence of abiotic and biotic factors in measuring and modeling soil erosion on rangelands: State of knowledge. **Journal of Range Management**, v. 51, p. 482-495, 1998.

WILLIAMS, J. R. **Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor**. In: Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources. Oxford: USDA. ARS-S-40, p. 244-252, 1975.

WILLIAMS, J. R.; BERNDT, H. D. Sediment Yield Prediction Based on Watershed Hydrology. **Transactions of the ASAE**, v. 20, n. 6, p. 1100–1104, 1977.

WISCHMEIER, W. H. et al. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of soil and water conservation**. V. 26, p. 189-193, 1971.

WISCHMEIER, W. H. Storms and Soil Conservation. **Journal of soil and water conservation**. v. 17, p. 55-59, 1962.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Washington, USDA, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, 5)

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Prediction Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains: A Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation**. U.S. Department of Agriculture Handbook 282, Washington DC, 1965.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Trans. American Geophys. Un.**, Washington, v. 39, p. 285-291, 1958.

YUE-QING, X.; XIAO-MEI, S.; XIANG-BIN, K.; JIAN, P.; YUN-LONG, C. Adapting the RUSLE and GIS to model soil erosion risk in a mountains karst watershed, Guizhou Province, China. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 141, p. 275-286, 2008.

ZACHAR, D. Soil erosion. **Developments in Soil Science**. Amsterdam: Elsevier Scientific, 1982.

ZHANG, Y. et al. Integration of Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) into a GIS framework to assess soil erosion risk. **Land Degradation and Development**, Chichester, v. 20, n. 1, p. 84-91, 2009.

ZINGG, A. W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. **Agricultural Engineering**, p. 59-64, 1940.