



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA DETENÇÃO DE ÁGUAS
PLUVIAIS COM BASE NA ESTIMATIVA DA EROÇÃO HÍDRICA E
MODELAGEM HIDROLÓGICA**

Augusto Peixoto dos Santos

Belo Horizonte

2023

Augusto Peixoto dos Santos

**DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA DETENÇÃO DE ÁGUAS
PLUVIAIS COM BASE NA ESTIMATIVA DA EROSÃO HÍDRICA E
MODELAGEM HIDROLÓGICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. MSc. André Luiz Marques Rocha

Coorientador: Prof. DSc. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

Belo Horizonte

2023

AUGUSTO PEIXOTO DOS SANTOS

**DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA DETENÇÃO DE ÁGUAS
PLUVIAIS COM BASE NA ESTIMATIVA DA EROSÃO HÍDRICA E
MODELAGEM HIDROLÓGICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em: 05 de julho de 2023

Banca examinadora:

André Luiz Marques Rocha – Presidente da Banca Examinadora
Prof. MSc. Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET-MG - Orientador

Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho
Prof. DSc. Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET-MG - Coorientador

Ricardo José Gontijo Azevedo
Prof. DSc. Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET-MG

Tathiana Rodrigues Caetano
Profa. MSc. Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET-MG



Emitido em 05/07/2023

ATA Nº 5/2023 - DCTA (11.55.03)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 06/07/2023 09:08)

ANDRÉ LUIZ MARQUES ROCHA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DCTA (11.55.03)
Matricula: ###439#6

(Assinado digitalmente em 06/07/2023 10:58)

CARLOS WAGNER GONCALVES ANDRADE
COELHO
COORDENADOR
CEAMS (11.51.05)
Matricula: ###454#1

(Assinado digitalmente em 07/07/2023 09:43)

RICARDO JOSE GONTIJO AZEVEDO
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DGEO (11.55.13)
Matricula: ###444#9

(Assinado digitalmente em 06/07/2023 21:06)

TATHIANA RODRIGUES CAETANO
PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO
DGEO (11.55.13)
Matricula: ###973#5

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número: 5, ano: 2023, tipo: ATA, data de emissão: 06/07/2023 e o código de verificação: ca43a3be3f

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente os meus pais, Márcia e João, que sempre me apoiaram nas minhas escolhas e fizeram tudo o que puderam por mim. Também agradeço a minha irmã Isabel por todos os momentos que compartilhamos e por todo o apoio.

A todos os professores do CEFET-MG que fizeram parte dessa caminhada, em especial aos professores André e Carlos pela orientação nesse trabalho. Deixo também meus agradecimentos aos professores Ricardo e Tathiana pela participação na banca e pelas contribuições para com o resultado do trabalho.

Agradeço também todos os colegas os quais compartilhamos momentos juntos, em especial a Fabiany e Íngrid pelo companheirismo sempre.

Também expresso minha gratidão por todos os excelentes profissionais que encontrei em minha caminhada e pelos ensinamentos que eles me proporcionaram, em especial ao Luiz, Thalisson, Priscilla, Edmundo, Fábio e Igor.

RESUMO

SANTOS, AUGUSTO PEIXOTO DOS. **Definição de áreas prioritárias para detenção de águas pluviais com base na estimativa da erosão hídrica e modelagem hidrológica**. 2023. 96 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

O escoamento superficial é um fenômeno natural que ocorre quando as águas pluviais chegam ao solo e escorrem pelo relevo em vez de se infiltrarem, ganhando velocidade. Esse fenômeno é influenciado por fatores topográficos, tipos e ocupações do solo e intensidade das chuvas. Quando a água flui pelo solo ela pode desencadear processos erosivos, ou seja, o desprendimento, arraste e deposição de sedimentos, que podem gerar sulcos erosivos e caso cheguem à rede de drenagem podem reduzir a capacidade de armazenamento dos mananciais e causar a contaminação de recursos hídricos. Para mitigar os impactos desses processos é necessária a adoção de práticas de conservação do solo, que podem reduzir as velocidades e vazões do escoamento, e direcionar as águas pluviais de maneira controlada. Dentre essas práticas destacam-se as bacias de detenção, valas escavadas que visam segurar, filtrar e infiltrar a água das enxurradas, reduzindo os picos de vazão e a ocorrência de processos erosivos, e melhorando a qualidade das águas que chegam aos recursos hídricos. Porém, para que as práticas de conservação sejam eficientes, é necessária a compreensão das dinâmicas erosivas e de escoamento, o que é melhor obtido por ferramentas computacionais, dentre as quais se destacam as ferramentas SIG (Sistema de Informações Geográficas), que possuem diversos métodos de modelagem hidrológica e a RUSLE (Equação Universal da Perda de Solo Revisada) usada para a estimativa da produção de sedimentos pela erosão hídrica. Desse modo, o presente trabalho se propôs a estimar as perdas de solo anuais por erosão hídrica pela RUSLE e realizar a modelagem hidrológica por meio do Índice de Umidade, que expõe as áreas com maior permanência de lâminas d'água, e utilizar esses dados para a definição de áreas prioritárias para a detenção de águas pluviais em um pequeno vilarejo localizado em Brumadinho/MG. Os dados de entrada exigidos pela RUSLE foram obtidos pela literatura, com exceção da erosividade da chuva (R), obtida pelo *software* NetErosividade MG e dos fatores topográficos, obtidos por um Modelo Digital de Terreno (MDT), que também foi utilizado para a Modelagem Hidrológica. Os dados foram representados espacialmente pelo

software QGIS. Os resultados da RUSLE mostraram perdas de solo variando entre 0 e 524 t/ha.ano, enquanto o Índice de Umidade expôs locais com maior tendência ao acúmulo de fluxos superficiais. Esses dados foram então utilizados para a definição de áreas prioritárias para a retenção de águas pluviais em duas situações: visando a retenção máxima de sedimentos e a retenção máxima de água. Em ambos os casos os mapas gerados foram analisados, juntamente com curvas de nível, para a locação manual das áreas (12 áreas por mapa). Comparando os dois mapas foi observado que 75% das áreas se sobrepueram total ou parcialmente e que as áreas de maior perda de solo da RUSLE coincidiram em grande parte com as áreas de maior acúmulo de fluxos. Conclui-se que o método utilizado foi eficiente na definição de áreas prioritárias para a retenção de águas pluviais e poderá servir de ferramenta auxiliar para obras de drenagem pluviais subsequentes.

Palavras-chave: Erosão hídrica. Bacias de Detenção. Escoamento Superficial. RUSLE. Modelagem Hidrológica.

ABSTRACT

SANTOS, AUGUSTO PEIXOTO DOS. **Definition of priority areas for detention of stormwater based on the estimate of water erosion and hydrological modeling.** 2023. 96 p. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

Surface runoff is a natural phenomenon that occurs when rainwater reaches the ground and flows through the relief instead of infiltrating, gaining speed. This phenomenon is influenced by topographic factors, soil types/occupation and rainfall intensity. When water flows through the soil, it can trigger erosion processes, in other words, the detachment, dragging and deposition of sediments, which can generate erosion grooves and, if they reach the drainage network, can reduce the storage capacity of springs and cause contamination of hydric resources. To mitigate the impacts of these processes, it is necessary to adopt soil conservation practices, which can reduce flows and flow rates and direct rainwater in a controlled manner. Among these practices, detention basins stands out: excavated ditches that aim to hold, filter and infiltrate runoff water, reducing flow peaks, the occurrence of erosion processes and improving the quality of water that reaches the water resources. However, for conservation practices to be efficient, it is necessary to understand erosion and flow dynamics, which is best obtained by computational tools, like GIS (Geographic Information System), which have several methods of hydrological modeling and RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) used to estimate sediment production by water erosion. Therefore, the present work proposed to estimate the annual soil losses due to water erosion by the RUSLE and to execute the hydrological modeling through the Moisture Index, which exposes the areas with greater permanence of water depths aiming to use these data for the definition of priority areas for the detention of rainwater in a small village located in Brumadinho/MG. The input data required by RUSLE were obtained from the literature, except for rainfall erosivity (R), obtained by the NetErosividade MG software and topographic factors, obtained by a Digital Terrain Model (DTM), which was also used for the Hydrological Modeling. All data were spatially represented by QGIS software. The RUSLE results showed soil losses varying between 0 and 524 t/ha.year, while the Moisture Index exposed the areas with the greatest tendency to accumulate surface flows. These data

were then used to define priority areas for the detention of rainwater in two situations: aiming at maximum retention of sediments and maximum retention of water. In both cases the generated maps were analyzed, along with contour lines, for the manual location of the areas (12 areas per map). Comparing the two maps, it was observed that 75% of the areas overlapped totally or partially and that the areas of greatest soil loss in the RUSLE largely coincided with the areas of greatest accumulation of flows. It is concluded that the method used was efficient in defining priority areas for the detention of rainwater and could serve as an auxiliary tool for subsequent construction of drainage works.

Keywords: Water erosion. Detention Basins. Surface runoff. RUSLE. Hydrological Modelling.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVO GERAL	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3	REVISÃO DA LITERATURA	22
3.1	SOLOS E PROCESSOS EROSIVOS	22
3.2	PERDAS OCASIONADAS PELA EROSÃO HÍDRICA.....	22
3.3	AÇÕES E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS	23
3.3.1	<i>Programa Produtor de Água</i>	24
3.4	DISPOSITIVOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL	24
3.4.1	<i>Bacias de Detenção e Retenção</i>	24
3.4.1.1	<i>Barraginhas</i>	25
3.4.2	<i>Valas de Infiltração</i>	27
3.4.3	<i>Trincheiras de Infiltração</i>	27
3.4.4	<i>Telhados Verdes</i>	28
3.4.5	<i>Jardins de Chuva</i>	28
3.5	ÁREAS DE RESTRIÇÃO AMBIENTAL	29
3.5.1	<i>Áreas de Preservação Permanente (APPs)</i>	29
3.5.2	<i>Áreas de Uso Restrito (AURs)</i>	30
3.6	MODELOS PARA A ESTIMATIVA DA EROSÃO HÍDRICA.....	31
3.6.1	<i>RUSLE (Equação Universal da Perda de Solo Revisada)</i>	31
3.6.1.1	<i>Erosividade da Chuva (R)</i>	32
3.6.1.2	<i>Erodibilidade do Solo (K)</i>	32
3.6.1.3	<i>Fator Topográfico (LS)</i>	32
3.6.1.4	<i>Fator de Uso e Cobertura do Solo (C)</i>	32
3.6.1.5	<i>Fator de Práticas Conservacionistas (P)</i>	32
3.6.2	<i>SWAT (Soil and Water Assessment Tool)</i>	33
3.6.3	<i>WEPP (Water Erosion Prediction Project)</i>	33
3.7	MODELAGEM HIDROLÓGICA EM SOFTWARES SIG	34
3.7.1	<i>Acumulação de Fluxo</i>	34

3.7.1.1	Índice de Umidade (w)	34
3.7.2	<i>Direção de Fluxo</i>	35
4	METODOLOGIA	37
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	37
4.1.1	<i>Clima</i>	41
4.1.2	<i>Hidrografia</i>	42
4.1.3	<i>Hidrogeologia</i>	42
4.1.4	<i>Geologia</i>	42
4.1.5	<i>Solos</i>	42
4.1.6	<i>Relevo</i>	43
4.2	ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS POR EROSÃO HÍDRICA	44
4.2.1	<i>Declividade de Encostas (S)</i>	46
4.2.2	<i>Comprimento de Encostas (L)</i>	49
4.2.3	<i>Erosividade da Chuva (R)</i>	50
4.2.4	<i>Erodibilidade do Solo (K)</i>	52
4.2.5	<i>Fator de Uso e Cobertura do Solo (C)</i>	52
4.2.6	<i>Práticas Conservacionistas (P)</i>	54
4.3	MODELAGEM HIDROLÓGICA	54
4.4	DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A DETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS	54
4.4.1	<i>Áreas Restritas</i>	56
4.4.1.1	<i>Áreas de Preservação Permanente (APPs)</i>	56
4.4.1.2	<i>Áreas de Uso Restrito (AUR)</i>	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - RELEVO.....	57
5.2	ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS POR EROSÃO HÍDRICA	60
5.2.1	<i>Declividade de Encostas (S)</i>	60
5.2.2	<i>Comprimento de Encostas (L)</i>	62
5.2.3	<i>Erosividade da Chuva (R)</i>	64
5.2.4	<i>Erodibilidade do Solo (K)</i>	66
5.2.5	<i>Fator de Uso e Cobertura do Solo (C)</i>	68
5.2.6	<i>Práticas conservacionistas (P)</i>	70
5.2.7	<i>Produção de Sedimentos</i>	72

5.3	MODELAGEM HIDROLÓGICA	75
5.4	DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A DETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS	77
6	CONCLUSÕES.....	84
7	RECOMENDAÇÕES.....	86
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
	ANEXO I.....	95

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- θ - Ângulo de declividade da encosta em graus
- ANA** – Agência Nacional de Águas
- APPs** – Áreas de Preservação Permanente
- AURs** – Áreas de Uso Restrito
- C** - Fator de Uso e Cobertura do Solo da USLE/RUSLE
- COBREAP** – Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias
- CPRM** - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- CXbd** - Cambissolo Háptico Tb Distrófico
- d%** - Declividade em porcentagem
- d_{rad}** – Declividade em radianos
- EMBRAPA** - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- FEAM** – Fundação Estadual do Meio Ambiente
- GIS** - *Geographic Information System*
- GPRH** - Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos
- h** - Horas
- ha** - Hectares
- Iu** - Índice de Umidade de Thornthwaite
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IDE-Sisema** - Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
- IGAM** - Instituto Mineiro de Gestão das Águas
- K** - Fator de Erodibilidade do Solo da USLE/RUSLE
- L** - Fator de Comprimento de Encostas da USLE/RUSLE
- LVAd** - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico
- MDE** – Modelo Digital de Elevação
- MDT** – Modelo Digital de Terreno
- MG** – Minas Gerais
- mm** - Milímetros
- MNT** - Modelo Numérico do Terreno
- ONU** – Organização das Nações Unidas
- P** - Fator de Práticas Conservacionistas da USLE/RUSLE

PI's - Planos de Informação Cartográficos

R – Fator de Erosividade da Chuva da USLE/RUSLE

RUSLE – *Revised Universal Soil Loss Equation*

S – Fator de Declividade de Encostas da USLE/RUSLE

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SWAT - *Soil and Water Assessment Tool*

t – Toneladas

UFLA - Universidade Federal de Lavras

USLE - *Universal Soil Loss Equation*

w – Índice de Umidade para Fluxos de Escoamento Superficial

WEPP - *Water Erosion Prediction Project*

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Bacia de Detenção com espelho d'água em Belo Horizonte/MG.....	25
Figura 3.2 – Barraginhas construídas em uma pastagem no Vale do Jequitinhonha.....	26
Figura 3.3 – Funcionamento do Sistema de Barraginhas.....	26
Figura 3.4 – Exemplo de trincheira de infiltração com vala.....	27
Figura 3.5 – Exemplo de Abrigo com Telhado Verde.....	28
Figura 3.6 – Exemplo de Jardim de Chuva.....	29
Figura 3.7 – Processo de obtenção da direção de fluxo.....	35
Figura 4.1 – Delimitação da área de estudo e indicação do córrego.....	38
Figura 4.2 – Vista panorâmica da área de estudo.....	39
Figura 4.3 – Represamentos no córrego da área de estudo.....	39
Figura 4.4 – Trecho com sarjeta e meio fio na área de estudo.....	40
Figura 4.5 – Bocas de lobo e caixa de passagem.....	40
Figura 4.6 – Trânsito de Animais no local e pontos de alagamento.....	41
Figura 4.7 – Fluxograma de Obtenção dos Parâmetros da RUSLE.....	44
Figura 4.8 – Interface do comando declividade do QGIS.....	46
Figura 4.9 – Conversão do raster de declividade para vetor.....	47
Figura 4.10 – Cálculo do fator S na calculadora de campo do QGIS.....	48
Figura 4.11 – Interface do software netErosividade MG.....	51
Figura 5.1 – Mapa de hipsometria.....	58
Figura 5.2 – Mapa de classes de declividade.....	59
Figura 5.3 – Mapa representativo do fator S.....	61
Figura 5.4 – Mapa representativo do fator L.....	63
Figura 5.5 – Seleção do Município no software netErosividade MG.....	64
Figura 5.6 – Relatório Gerado pelo software netErosividade MG.....	65
Figura 5.7 – Mapa de solos na área de estudo.....	67
Figura 5.8 – Mapa de uso e cobertura do solo.....	69
Figura 5.9 – Cultivo de hortaliças.....	71
Figura 5.10 – Cultivo de milho em lote sem edificação.....	71

Figura 5.11 – Estimativa da perda de solo anual por erosão hídrica.....	73
Figura 5.12 – Processo erosivo na área de estudo.....	75
Figura 5.13 – Mapa de acumulação de umidade no solo.....	76
Figura 5.14 – Mapa de áreas legalmente protegidas.....	78
Figura 5.15 – Áreas para detenção de águas pluviais visando a retenção de sedimentos....	80
Figura 5.16 – Áreas para a detenção de águas pluviais visando a redução dos fluxos.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Comprimento das Faixas de APPs em relação à largura do curso d'água.....	30
Tabela 4.1 – Classificações de declividade da EMBRAPA.....	44
Tabela 4.2 – Classes de perda de solo.....	45
Tabela 4.3 – Classes de erosividade da chuva.....	51
Tabela 4.4 – Valores para o fator de erodibilidade do solo (K).....	52
Tabela 4.5 – Valores para o fator de uso e cobertura do solo (C).....	53
Tabela 5.1 – Dinâmica do uso e cobertura do solo na área de estudo.....	70

1 INTRODUÇÃO

A água desempenha um papel fundamental no planeta Terra, sendo um recurso essencial para as formas de vida de diversos biomas, para os seres humanos e para o meio ambiente de forma geral ao participar de diversos processos naturais (CASTRO; RODRIGUES; FILHO, 2019).

Um dos diversos eventos naturais existentes no planeta Terra que envolvem a água é o escoamento superficial, um agente hidrológico alimentado pela chuva e que somado a outros fatores pode desencadear processos erosivos, o que contribuiu para a modelagem de diversos relevos do planeta (MATHIAS; LUPINACCI; NUNES, 2020).

Processos erosivos podem ser definidos como a desagregação, arraste e deposição das partículas do solo devido à ação de agentes erosivos (HIGGITT, 1991). Esses processos erosivos são em grande parte acelerados por atividades antrópicas e a magnitude deles é influenciada pelas características do solo, relevo e cobertura vegetal, dentre outros fatores (MARTINI et al., 2006).

Os tipos de processos erosivos existentes são: a erosão eólica, que é causada pela ação do vento e é mais expressiva em terrenos arenosos; a erosão geológica, causada pelos processos naturais de modificação da crosta terrestre, sendo um processo lento, porém que é agravado em locais cuja ocupação humana foi desordenada; e a erosão hídrica, causada pela ação da água, o tipo de erosão mais expressivo dentre os três (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

A erosão dos solos vem sendo cada vez mais estudada e divulgada por poder acarretar grandes prejuízos ambientais e econômicos, e por ter sua intensificação agravada durante o tempo devido ao aumento de atividades agrícolas e às chuvas intensas (AMORIM et al., 2010). A erosão hídrica é responsável pela degradação do solo e da água em áreas onde não são aplicadas medidas preventivas, causando dentre outros problemas o aumento da turbidez e assoreamento de recursos hídricos (TELLES et al., 2022). A deposição de sedimentos na rede de drenagem de bacias hidrográficas também reduz a capacidade de armazenamento de água em reservatórios (FREITAS, 2018).

Além disso, o escoamento superficial é agravado pela urbanização devido à impermeabilização das bacias de drenagem (a região de captação das águas pluviais), o que somado à redução da capacidade de armazenamento de reservatórios, aumenta o pico de vazão à jusante e acaba por provocar inundações, principalmente na ausência de sistemas de drenagem eficientes (CANHOLI, 2014).

Uma das soluções para o problema do aumento do pico de vazão à jusante é a implantação de sistemas que propiciem a detenção dessas águas, que podem ser dimensionados de forma a controlar os excessos de vazão ao reter água das chuvas (TASSI, 2005), evitando a inundação e/ou erosão à jusante, além de ajudar na recarga dos aquíferos e na retenção de poluentes e poder ser utilizado como meio de armazenamento de água para irrigação de plantações ou dessedentação de animais (LIMA; SILVA; RAMINHOS, 2006).

Para que o uso do solo seja efetivo, é necessário que ele vise o controle dos processos erosivos e de escoamento, o que só pode ser feito se realizado um estudo das relações entre os processos físicos, químicos, hidrológicos e meteorológicos, o que é difícil de ser medido experimentalmente devido à complexidade dessas interações (PRUSKI, 2006), dessa forma, a modelagem computacional se mostra a melhor alternativa para estudos desse tipo.

A compreensão das dinâmicas dos processos erosivos e de escoamento superficial auxiliam, portanto, na compreensão de como esses processos se propagam e na avaliação da necessidade de implantação de medidas corretivas, sejam elas práticas mecânicas (bacias de detenção, terraços etc.) ou de manejo, que influenciam nesses processos naturais e permitem o controle deles conforme as necessidades humanas, evitando que os danos continuem se agravando e permitindo também a alocação correta destes dispositivos visando um controle mais eficiente.

Desse modo, diversos modelos para a estimativa das erosões e da modelagem do escoamento superficial foram desenvolvidos visando facilitar o estudo desses processos, dos quais alguns exemplos são, conforme exposto por Pruski (2006): a USLE (Equação Universal da Perda de Solo); a RUSLE (Equação Universal da Perda de Solo Revisada); e a WEPP (*Water Erosion Predict Project*) para a estimativa de erosão e diversos modelos para a espacialização e análise hidrológica por meio do *software* QGIS.

Porém, conforme relatado por Pruski (2006), cada modelo tem as suas vantagens e limitações. Em relação à estimativa da erosão hídrica, a WEPP, apesar de ser um modelo mais preciso, necessita de muitos parâmetros de entrada, o que limita sua aplicação em locais onde se tem poucos dados, além de que para utilizar o programa de forma eficiente, é necessário treinamento intensivo de pessoal. Já a RUSLE, em termos de tempo/resultado se mostra o modelo mais apropriado, sendo uma ferramenta útil para o planejamento de uso e conservação dos solos (PRUSKI, 2006).

Strauch et al. (2013) estimaram a dinâmica dos processos erosivos na bacia do Rio Pipiripau por meio do modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), que simula o impacto da mudança do uso do solo em bacias hidrográficas, e chegou à conclusão de que mais de 40% da retenção de sedimentos que chegariam no rio em questão era advinda dos terraços e bacias de retenção existentes, o que destaca a eficiência dessas técnicas na conservação de recursos hídricos.

Tendo em vista esses fatores, o presente trabalho tem o objetivo de estimar, por meio da Equação Universal da Perda de Solo Revisada (RUSLE), a dinâmica de produção de sedimentos e modelar, por meio do *software* QGIS, as áreas de maior acúmulo de água em um pequeno vilarejo localizado nas proximidades do Córrego do Feijão, em Brumadinho/MG e utilizar esses dados para a proposição de áreas prioritárias para a implantação de sistemas de retenção de águas pluviais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Definir áreas prioritárias para a detenção de águas pluviais em uma parcela do Vilarajo do Córrego do Feijão, localizado em Brumadinho/MG, por meio da estimativa de perda de solo por erosão hídrica e da modelagem computacional de áreas de acúmulo de fluxos de água.

2.2 Objetivos Específicos

- Estimar a produção de sedimentos anual na região de estudo por meio da Equação Universal da Perda de Solo Revisada; e
- Gerar um mapa que expõe os pontos de maior acúmulo de fluxos de água na área de estudo.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Solos e Processos Erosivos

Solos podem ser classificados como um conjunto de elementos orgânicos e inorgânicos sólidos, líquidos e gasosos (minerais, microrganismos, galhos, folhas etc.), podendo ser vegetados ou terem sofrido alteração por intervenção humana (EMBRAPA, 2018), eles são formados devido à junção de cinco fatores principais: o material de origem, o clima, a presença de organismos vivos, o relevo e o tempo (GUERRA; BOTELHO, 1996).

Ao serem submetidos ao escoamento superficial, que ocorre em períodos de chuva caso no local exista algum tipo de declividade, esses solos podem sofrer os chamados processos erosivos (GUERRA; JORGE, 2013), sendo que esses processos, quando ocasionados pela água, se iniciam a partir da saturação dos solos e podem evoluir através de erosões laminares, ravinas e voçorocas (GUERRA; BOTELHO, 1996).

Esses tipos de processos erosivos seguem a lâmina de escoamento e se diferenciam principalmente pela sua intensidade e profundidade, sendo: a erosão laminar o arraste de sedimentos sem formar sulcos; as ravinas a formação de canais devido ao acúmulo de água; e as voçorocas o deslocamento de grandes massas de solo, formando sulcos com grande extensão e profundidade (SILVA, 1995).

3.2 Perdas Ocasionadas Pela Erosão Hídrica

Em relação aos impactos econômicos ocasionados pela perda da produtividade dos solos devido à erosão hídrica, eles são toleráveis quando as taxas de erosão não ultrapassam a pedogênese, ou seja, a taxa de formação e renovação dos solos, o que normalmente ocorre devido à falta de práticas conservacionistas (GUERRA; JORGE, 2013), sendo que essa tolerância varia entre 9,0 e 12,0 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para a maioria dos solos e as taxas de erosão no Brasil variam entre 15,0 e 20,0 t.ha⁻¹.ano⁻¹, demonstrando que o sistema econômico advindo da produção agrícola não é sustentável a longo prazo (ANA, 2008).

Dechen et al. (2015) estimou em seu trabalho que as erosões causam uma perda aproximada de 617 milhões de toneladas de solos no Brasil por ano, valor equivalente na época a um impacto econômico de aproximadamente 1,3 bilhões de dólares americanos.

Porém é importante ressaltar que os prejuízos econômicos causados pelos processos erosivos não envolvem apenas a perda de solo em si, mas também custos externos como o aumento dos custos de tratamento de água e depreciação de reservatórios, prejuízos esses que afetam tanto os produtores rurais como a sociedade, já que os custos de manutenção e depreciação são repassados por órgãos, sejam públicos ou privados (ANA, 2008).

A erosão dos solos causa prejuízos tanto nos processos de desagregação e arraste de sedimentos, que causam a diminuição da quantidade de nutrientes no solo, quando nos processos de deposição, pois se atingirem reservatórios, rios, lagos e açudes, podem causar assoreamento e poluição desses recursos hídricos (GUERRA; JORGE, 2013).

Ainda de acordo com informações divulgadas pela Agência Nacional de Águas (ANA) em 2008, no Manual operativo do Programa Produtor de Águas, a perda de produtividade dos solos também pode causar diversos impactos sociais e ambientais, dentre os quais pode-se citar: empobrecimento de produtores devido à perda de produtividade dos solos; transmissão de doenças de veiculação hídrica, cujos agentes ou vetores são transportados adsorvidos nos sedimentos; e destruição de habitats naturais e morte de espécies, decorrentes do assoreamento de rios e lagos (ANA, 2008).

De acordo com o site de notícias da Organização das Nações Unidas (ONU), em uma notícia divulgada em 2019, cerca de 135 milhões de pessoas poderão ser deslocadas até 2045 como resultado da desertificação advinda da perda de solo fértil (cerca de 24 bilhões de toneladas por ano, no mundo, o que também reduz o Produto Interno Bruto (PIB) nos países em desenvolvimento em até 8% ao ano). A notícia ainda destaca que esse fenômeno é o desastre natural que desloca mais pessoas e causa mais mortes no mundo (ONU, 2019).

3.3 Ações e Práticas Conservacionistas

As ações e práticas conservacionistas podem ter caráter edáfico, vegetativo ou mecânico e envolvem a implantação de medidas e/ou tecnologias que visem a proteção do solo contra o impacto das águas pluviais (tanto o impacto direto das chuvas quando o subsequente escoamento superficial) ao contribuir para o aumento da infiltração e dos níveis de resistência do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

As práticas mecânicas visam quebrar as velocidades de escoamento superficial e facilitar a infiltração da água no solo em períodos chuvosos por meio da estruturação artificial de porções de terra, podendo essas práticas serem preventivas ou de controle (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Já as práticas edáficas envolvem a adequação do sistema de cultivo de modo a manter ou melhorar a fertilidade do solo (PRUSKI, 2006), o que pode ser feito, por exemplo, por meio da adequação de práticas de cultivo, como a aplicação de plantios em nível, em faixa, com terraços, rotações de plantio etc. (ANA, 2008). Por fim, as práticas vegetativas envolvem a utilização da vegetação para proteção do solo contra ação da chuva (PRUSKI, 2006).

3.3.1 Programa Produtor de Água

Visando incentivar a adoção de ações e práticas conservacionistas em suas propriedades, a ANA (Agência Nacional de Águas) criou, em 2008, o Programa Produtor de Água. Esse programa, conforme definido em seu manual operativo, visa oferecer compensação financeira aos agentes (prioritariamente produtores rurais) que comprovarem contribuição para com a proteção e recuperação de mananciais situados em sub-bacias definidas pelo Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica como áreas prioritárias para a produção de água, gerando abatimento da sedimentação e da turbidez da água e o aumento da infiltração de água no solo, o que é benéfico tanto para a bacia em si quanto para a população (ANA, 2008).

3.4 Dispositivos de Drenagem Sustentável

O objetivo dos dispositivos de drenagem sustentável é minimizar os impactos negativos do escoamento superficial, desacelerando, coletando, infiltrando, armazenando, transportando e tratando as águas pluviais, diminuindo assim os riscos de inundação e poluição por sedimentos e reforçando o lençol freático (BALLARD et al., 2015).

3.4.1 Bacias de Detenção e Retenção

As bacias de retenção são pequenas depressões escavadas no solo, podendo ser impermeabilizadas ou vegetadas e sendo destinadas para controlar a vazão e contribuir para a filtragem, sedimentação e facilitar a descarga do escoamento superficial da água para o solo e, finalmente, para os lençóis freáticos (BALLARD et al., 2015). Elas são usualmente

projetadas de modo a serem espaços multifuncionais, como quadras, teatros de arena etc., para melhor aproveitamento do espaço (BALLARD et al., 2015).

Já as bacias de retenção são similares às de detenção, porém visam segurar os volumes de água por mais tempo para o aproveitamento em outras atividades (COUTO, 2004). A Figura 3.1 demonstra um exemplo de bacia de detenção.

Figura 3.1 – Bacia de Detenção com espelho d’água em Belo Horizonte/MG.



Fonte: Belo Horizonte (2011).

3.4.1.1 Barraginhas

As Barraginhas se destacam entre as práticas mecânicas de controle de erosão hídrica existentes, por ser uma tecnologia eficiente tanto no controle de escoamentos quanto de erosões. Conforme apresentado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Milho e Sorgo, sob autoria de Barros e Ribeiro (2009), o sistema de Barraginhas consiste em pequenas bacias de retenção de águas pluviais escavadas em sequência em áreas onde ocorrem enxurradas, para que eles retenham a água em períodos de chuva, dando tempo para ela infiltrar no solo e recarregar o lençol freático e dessa forma amenizando enchentes, evitando erosões, voçorocas, assoreamentos e ajudando a aproveitar a água das chuvas. A Figura 3.2 mostra barraginhas construídas em uma área de pastagem.

Figura 3.2 - Barraginhas construídas em uma pastagem no Vale do Jequitinhonha.



Fonte: Barros et al. (2013).

Conforme relatado por Barros et al. (2013), a implantação de barraginhas no Brasil teve origem em 1993, no município de Araçaí em Minas Gerais, sob autoria do agrônomo da Embrapa Luciano Cordoval de Barros. A utilização desse sistema foi um sucesso e quando a ideia foi replicada, resultou em mais um êxito e no início da divulgação da tecnologia ao público geral e em implantações em larga escala.

Os processos erosivos são fatores importantes a serem considerados para avaliar a necessidade de implantação das barraginhas, visto que, conforme já citado, o controle de erosões pode ser feito pela aplicação dessa tecnologia. No caso da erosão hídrica, ela é causada pela ação da chuva ou do escoamento superficial e os sedimentos acabam por se depositar em locais de menor declividade (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). A Figura 3.3 mostra o funcionamento do sistema de Barraginhas.

Figura 3.3 - Funcionamento do sistema de Barraginhas.



Fonte: Barros e Ribeiro (2009).

3.4.2 Valas de Infiltração

As valas de infiltração são depressões escavadas no solo, similares às bacias, porém são lineares, distribuindo as áreas de infiltração, de forma que o impacto de áreas menos permeáveis do solo é menos pronunciado (BALLARD et al., 2015).

Essas estruturas recebem os volumes de água diretamente por meio do escoamento superficial e além de promoverem a infiltração desses fluxos, podem direcioná-los para corpos hídricos ou outros sistemas de drenagem (PERONI, 2018).

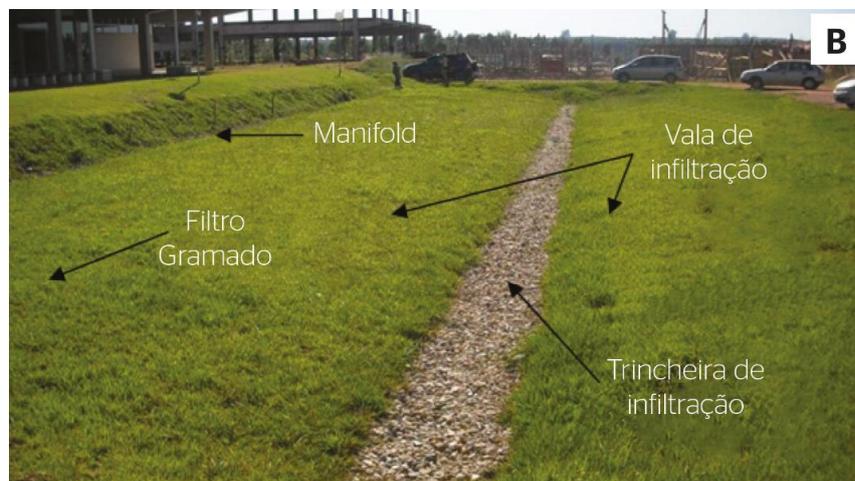
3.4.3 Trincheiras de Infiltração

As trincheiras de infiltração são espaços lineares, construídos a baixas profundidades com a função de coletar fluxos de águas provenientes de escoamentos, de modo a amortecer os picos de vazão (TOMINAGA, 2013). Elas devem ser revestidas com material granular, como pedras de mão, seixos ou britas e podem ou não ser acopladas a um outro sistema de drenagem para levar as águas pluviais até o local de infiltração (TOMINAGA, 2013).

Além disso, as trincheiras também contribuem para o controle de poluentes solúveis e particulados, apesar de não serem indicadas para receber grandes quantidades de sedimentos (SCHUELER, 1987 apud TOMINAGA, 2013).

A Figura 3.4 mostra um exemplo de trincheira de infiltração em meio a uma vala de infiltração.

Figura 3.4 – Exemplo de trincheira de infiltração com vala.



Fonte: Lucas et al. (2015).

3.4.4 *Telhados Verdes*

Os telhados verdes são superfícies vegetadas instaladas no topo das edificações, visando absorção e/ou reaproveitamento de águas pluviais que caem no local, o que reduz o escoamento superficial, reduzindo o volume de armazenamento necessário do sistema de drenagem local, além de gerar benefícios estéticos e agregar valor ecológico (BALLARD et al., 2015). A Figura 3.5 mostra um exemplo de telhado verde.

Figura 3.5 – Exemplo de Abrigo com Telhado Verde.



Fonte: Ballard et al. (2015).

O dimensionamento de telhados verdes deve levar em conta diversos fatores, dentre eles, é importante considerar a capacidade estrutural das edificações que irão suportá-los, a espessura do solo para plantio e a capacidade de armazenamento do solo (BALLARD et al., 2015).

3.4.5 *Jardins de Chuva*

Os jardins de chuva têm aplicações semelhantes aos telhados verdes, sendo superfícies vegetadas incluídas em espaços públicos ou privados visando absorver ou reutilizar para uso doméstico parte das pluviais que caem sobre ele, reduzindo o escoamento superficial (BALLARD et al., 2015). A Figura 3.6 mostra um exemplo de jardim de chuva.

Figura 3.6 – Exemplo de Jardim de Chuva.



Fonte: Ballard et al. (2015).

3.5 Áreas de Restrição Ambiental

As áreas com restrições ambientais são espaços sujeitos a regimes especiais de proteção definidos por lei, visando a proteção, integral ou parcial, de suas características naturais (ARAGON; GRANI, 2020). Por terem seu uso limitado, são, portanto, importantes de serem consideradas no planejamento de implantação de obras.

3.5.1 Áreas de Preservação Permanente (APPs)

As APPs são áreas protegidas, instituídas no Brasil pela Lei Federal 12.651/2012 e em Minas Gerais pela Lei nº 20.922/2013, os “Códigos Florestais”. Elas abrangem as áreas localizadas ao longo dos cursos d’água e ao redor de nascentes, lagos, lagoas, reservatórios de água naturais ou construídos, além de áreas de topo e de encostas (45°) de morros, montes, montanhas, serras, restingas, bordas de tabuleiros, chapadas e áreas com altitude superior a 1.800m, sejam elas públicas ou privadas, urbanas ou rurais e cobertas ou não por vegetação nativa, de modo a proteger os recursos hídricos, aumentar as conexões entre fragmentos florestais, garantir a manutenção ou o reestabelecimento da fauna e da flora, a proteção do solo e a segurança e o conforto ambiental da sociedade (BRASIL, 2012).

A Lei Federal 12.651/2012 estabelece o comprimento das faixas marginais de cursos d'água perenes e intermitentes a serem considerados como APP, em função da largura dos córregos. Esses valores constam na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Comprimento das Faixas de APPs em relação à largura do curso d'água

Largura do Curso D'água (m)	Faixa da APP (m)
Até 10	30
Entre 10 e 50	50
Entre 50 e 200	100
Entre 200 e 600	200
Superior a 600	500

Fonte: Brasil (2012).

A mesma lei também define as áreas de APP no entorno de reservatórios artificiais de água como raio de 30 a 100 m para áreas rurais e raio entre 15 e 30 metros para áreas urbanas, além de APPs no entorno de nascentes como raio mínimo de 50 m.

3.5.2 Áreas de Uso Restrito (AURs)

A Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013 (Código Florestal Mineiro) define duas categorias de áreas de uso restrito: pantanais/planícies pantaneiras e áreas com inclinação entre 25° e 45°.

Nos pantanais e planícies pantaneiras é permitida apenas a exploração sustentável, enquanto as supressões de vegetação nativa para outros usos do solo dependem da autorização da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) (MINAS GERAIS, 2013).

Já nas áreas com inclinação entre 25° e 45°, é permitida a utilização apenas para atividades agrossilvopastoris e manejo florestal sustentável, sendo que em relação às estruturas físicas nesses locais é permitida apenas a manutenção das infraestruturas necessárias para as atividades permitidas (MINAS GERAIS, 2013).

3.6 Modelos Para a Estimativa da Erosão Hídrica

Os modelos para a estimativa da erosão hídrica permitem, por meio de análises físicas, conceituais, empíricas ou estatísticas, a simulação das condições de erosão em diversas localidades e a organização desses dados espacialmente, permitindo a identificação dos fatores de maior contribuição dentro do contexto de uma bacia hidrográfica (FREITAS, 2018).

3.6.1 *RUSLE (Equação Universal da Perda de Solo Revisada)*

Conforme relatado por Pruski (2006), a *RUSLE* é uma metodologia de estimativa de perda de solo anual provocadas pelas erosões laminares e em sulcos, desenvolvida por Renard et al. (1997), que agrega uma maior precisão na *USLE* ao considerar conceitos de modelagem computacional relacionados a ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), sendo que a equação para ambos os modelos (*USLE* e *RUSLE*) são os mesmos, a única diferença é a origem dos dados.

Ao gerar mapas em formato *raster* cujas matrizes guardam informações numéricas dos coeficientes da equação, é possível manipular os mapas algebricamente a fim de se obter um mapa que relacione todos os fatores levantados.

A *RUSLE* e a *USLE* são definidas pela Equação 3.1:

$$Y = R * K * L * S * C * P \quad (3.1)$$

Onde:

Y - perda de solo média anual (t.ha⁻¹.ano⁻¹)

R - erosividade da chuva (MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹)

K - erodibilidade do solo (t.ha.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹)

L - fator de comprimento da encosta (adimensional)

S – fator de declividade da encosta (adimensional)

C – fator de uso e cobertura do solo (adimensional)

P – fator de práticas conservacionistas (adimensional)

A seguir são apresentadas informações sobre cada um dos parâmetros envolvidos na equação.

3.6.1.1 Erosividade da Chuva (R)

A erosividade da chuva é a capacidade esperada de a chuva causar erosão em uma área sem proteção, o que pode ser obtido pelo produto entre a energia cinética total da chuva [E (MJ.ha-1)] e a intensidade máxima em 30 minutos [I30 (mm.h-1)], que se expressa como o índice EI30 (MJ.mm.ha-1.h-1), de acordo com Wischmeier e Smith (1958), os autores da equação (PRUSKI, 2006).

3.6.1.2 Erodibilidade do Solo (K)

A erodibilidade do solo expressa a susceptibilidade de as partículas do solo se desprenderem pela ação das chuvas e enxurradas (SCHWAMBACK; MOREIRA; REIS, 2018). Ela depende de fatores químicos, morfológicos, mineralógicos e físicos do solo, principalmente da granulometria e conseqüentemente da capacidade dele de absorver água, já que, por exemplo, um solo que consegue absorver muita água está menos sujeito à erosão hídrica (PINTO et al., 2015).

3.6.1.3 Fator Topográfico (LS)

Segundo Pruski (2006), o fator topográfico representa a relação entre as perdas de solo em uma área com um certo declive (S) e comprimento de encosta (L) e as perdas que ocorrem em uma parcela unitária padrão, ou seja, considera tanto a distância ao longo da qual o escoamento se processa (comprimento) quanto a declividade dessa distância, fatores que contribuem diretamente para a intensidade da erosão hídrica.

3.6.1.4 Fator de Uso e Cobertura do Solo (C)

O fator de uso e manejo do solo representa o grau de proteção média fornecida pelo uso (vegetação natural, pastagem, plantio etc.) e manejo do solo (como é o preparo do solo, técnicas de cultivo etc.), variando entre 0 e 1, que representam a proteção máxima e a falta de proteção do solo, respectivamente (CHAVES, 1994a apud PRUSKI, 2006).

3.6.1.5 Fator de Práticas Conservacionistas (P)

Por fim, conforme relatado por Pruski (2006), o fator de práticas conservacionistas representa o controle de erosões hídricas fornecida pela adoção de práticas como terraceamento e plantios em faixa etc., ao correlacionar a perda de solo em uma parcela em que essa prática foi implantada e quando ela está implantada no sentido do declive, sendo que para a RUSLE,

esse fator é baseado na teoria de desprendimento e transporte, com base na hidráulica de escoamento e no transporte de sedimentos.

3.6.2 *SWAT (Soil and Water Assessment Tool)*

De acordo com os autores, o SWAT é um modelo hidrológico que utiliza de aspectos climáticos, edáficos, topográficos, vegetativos e de manejo do solo para a simulação de escoamento, produção de sedimentos e propagação de nutrientes em bacias hidrográficas (BLAINSKI; ACOSTA; NOGUEIRA, 2017).

A entrada de dados no modelo é feita através de uma interface que exige como parâmetros de entrada alguns Planos de Informação Cartográficos (PI's): um Modelo Numérico do Terreno (MNT), ou seja, a representação em coordenadas x, y e z da superfície; tipos de solos e uso e cobertura da terra, além de alguns dados numéricos (FERNANDES; GALVÍNCIO; FREIRE, 2012).

Além de ser uma ferramenta útil para a análise da erosão hídrica, também é uma excelente ferramenta para realizar modelagens hidrológicas, podendo ser utilizada para determinar o escoamento superficial, a percolação, o fluxo lateral subsuperficial, o fluxo de retorno do aquífero raso e a evapotranspiração (BLAINSKI; ACOSTA; NOGUEIRA, 2017).

3.6.3 *WEPP (Water Erosion Prediction Project)*

O WEPP foi desenvolvido por uma parceria entre diversas instituições norte americanas com o objetivo de estabelecer um método mais preciso na previsão dos processos de erosão hídrica, utilizando a quantificação em séries históricas de diversos princípios físicos desses processos (PRUSKI, 2006).

Segundo Pruski (2006) o WEPP é dividido em diversos componentes, que configuram os processos que regulam os fenômenos de erosão hídrica, sendo eles: erosão, arraste e deposição de sedimentos; hidrologia; crescimento de plantas/decomposição de resíduos; solo; clima; e balanço hídrico.

O modelo considera as situações atuais da cobertura do solo, vegetação, culturas e umidade do solo e atualiza essas informações para cada dia, de modo que quando ocorre um evento de precipitação, é determinada a intensidade do escoamento superficial subsequente e a

magnitude do processo erosivo desencadeado por ele (LANE et al., 1992 apud PRUSKI, 2006).

Apesar de ser um modelo mais preciso do que a RUSLE, ele utiliza parâmetros de difícil obtenção, o que pode tornar sua aplicação custosa e dispendiosa, além de que apesar da precisão, o modelo não considera a erosão em grandes voçorocas (AMORIM et al., 2010).

3.7 Modelagem Hidrológica em softwares SIG

Com base em Modelos Digitais de Terreno (MDT), é possível analisar espacialmente as características dos canais de escoamento superficial por meio da análise das variações de altitudes e da influência delas no comportamento das águas superficiais (ARAUJO e SILVA, 2011).

A partir dessa análise topográfica com o MDT, pode-se, de forma mais simples do que seria empiricamente, calcular volumes ou áreas, representar perfis topográficos, traçar altimetrias, gerar curvas de nível, dentre outros produtos que permitem a análise do terreno e dos comportamentos dos fluxos de água (ARAUJO e SILVA, 2011).

A seguir seguem exemplos de análises que podem ser feitas a partir desses modelos.

3.7.1 Acumulação de Fluxo

Um dos principais produtos que podem ser gerados a partir de um MDT é o *flow accumulation*, ou acumulação de fluxo, que demonstra espacialmente as áreas com maiores quantidades de *pixels* de contribuição (quantidade de pixels que chega até certa célula), sendo que quanto maior for o valor atribuído a uma célula, maior a acumulação de água naquele ponto, de modo que os canais de drenagem recebem valores muito maiores do que pontos em seu entorno (QGIS DOCUMENTATION, 2023).

3.7.1.1 Índice de Umidade (w)

O índice de umidade (w) é um índice adimensional que tem a função de avaliar a permanência dos fluxos de escoamento na superfície, expondo as áreas onde as águas pluviais tendem a se acumular durante e após períodos de precipitação e que portanto representam grandes contribuições hídricas (ARAUJO; SILVA, 2011). Essas áreas de contribuição são

denominadas vertentes hidrográficas, que são justamente as faixas da elevação por onde correm as águas (VELOSO, 2009).

Esse índice é calculado por meio da relação logarítmica entre a declividade e o fluxo acumulado (área de contribuição) por meio da Equação 3.2, exposta por Araujo e Silva (2011).

$$w = \ln(A / \tan(\theta)) \tag{3.2}$$

Onde:

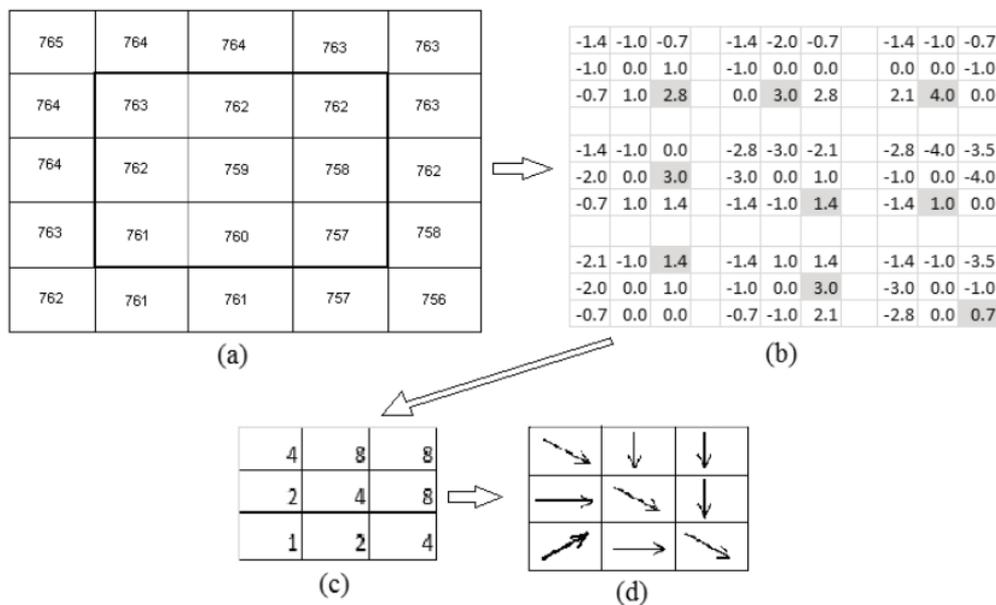
A = área de contribuição da célula/acumulação de fluxo (m²)

θ = ângulo de declividade da encosta (graus)

3.7.2 Direção de Fluxo

A direção do fluxo é determinada para cada *pixel*, com base no MDT ou no MDE, onde a diferença de altitude entre uma certa célula e as células vizinhas definem a direção, sendo que nos vértices da matriz é usada a distância da diagonal, e para os demais pontos é usada a distância de lado (HIPÓLITO et al., 2019). A Figura 3.7 resume o processo de obtenção da direção de fluxo.

Figura 3.7 – Processo de obtenção da direção de fluxo.



Fonte: Adaptado de Costa; Guimarães (2005) apud Hipólito et al. (2019).

Na figura em questão, o (a) representa o MDE/MDT; o (b) representa o cálculo para direção do fluxo hídrico; o (c) representa a codificação da direção do fluxo hídrico; e o (d) indica a representação da direção do fluxo (COSTA; GUIMARÃES, 2005 apud HIPÓLITO et al., 2019).

A direção de fluxo pode ser obtida por softwares de GIS (*Geographic Information System*) por meio do comando *flow direction* ao se utilizar um MDT ou um MDE como parâmetro de entrada.

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo escolhida foi uma pequena comunidade localizada na parte oeste do Vilarejo do Córrego do Feijão em Brumadinho/MG, nas coordenadas 592783.27 m E; 7773113.77 m S. Na parte leste da região existe um córrego não catalogado que cruza toda a área.

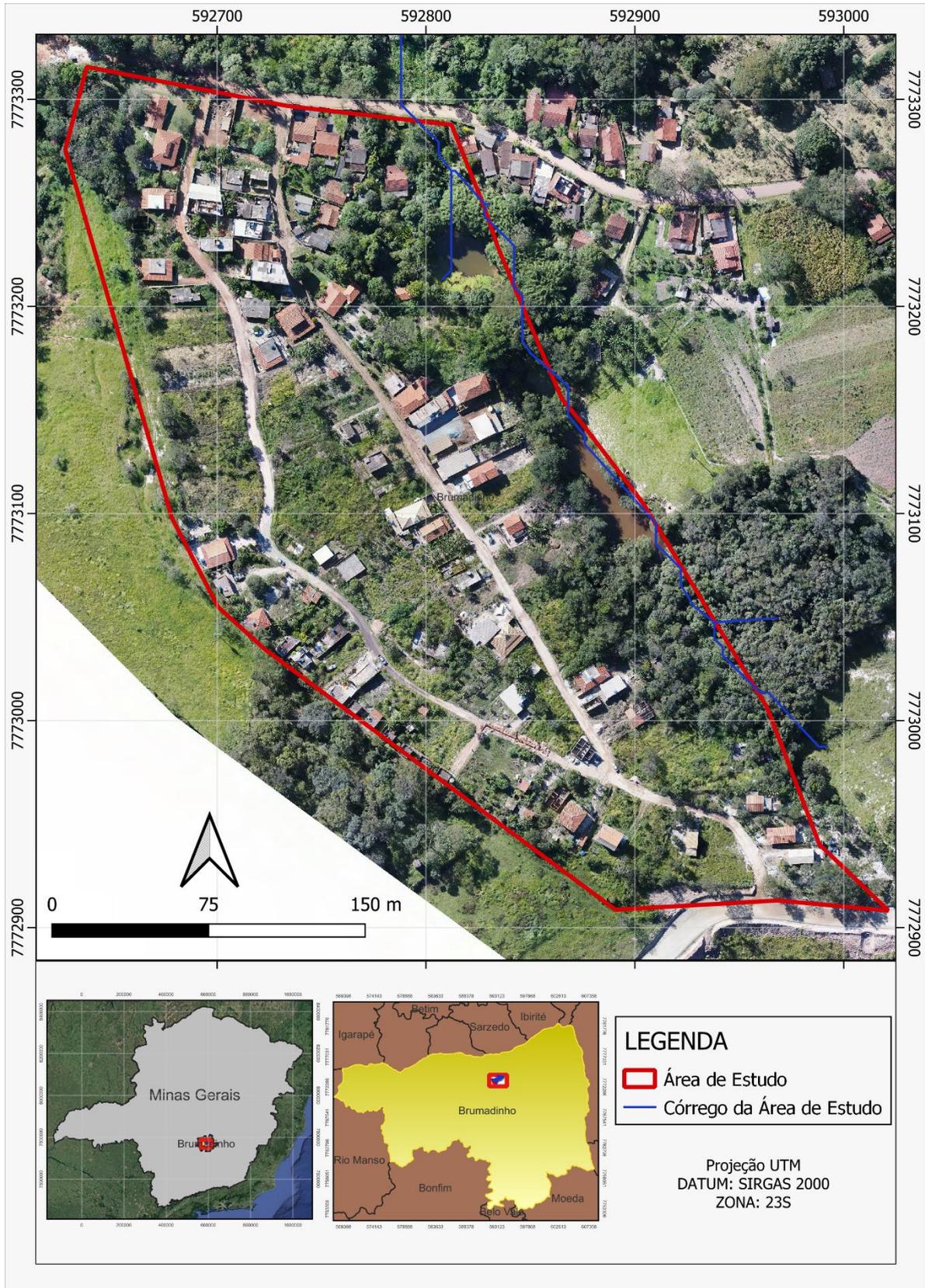
O local foi um dos negativamente afetados pelo rompimento da Barragem 1 da Mina do Córrego do Feijão (Brumadinho) em 2019, que causou o assoreamento do dito Córrego próximo à comunidade. O assoreamento causado pelos rejeitos de minério de ferro deixou, dentre outros, o rio Paraopeba e alguns afluentes com leitos mais estreitos e rasos, o que reduziu a disponibilidade hídrica das comunidades e faz com que a lama se dissemine rapidamente durante as enchentes (AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS, 2022).

Para a identificação das características ambientais da região de estudo, foram sobrepostas camadas obtidas no site do IDE-Sisema utilizando o *software* QGIS, extraídas informações de um Modelo Digital de Terreno (MDT) e feitas pesquisas bibliográficas sobre a área.

Alguns dados sobre a área foram fornecidos pela empresa de consultoria ambiental Inovativo Soluções Sustentáveis, sendo eles: um MDT; um mapa vetorizado de uso e cobertura do solo da região; uma ortofoto feita com imagens de drone; a drenagem na área (localização do córrego a leste e da nascente do mesmo); e algumas fotos do local, datadas do dia 03/02/2022 (ver Anexo I).

A Figura 4.1 mostra a localização do córrego e a delimitação da área de estudo, que foi feita considerando como limites norte e sul as estradas, como limite leste o córrego e como limite oeste as construções existentes.

Figura 4.1 – Delimitação da área de estudo e indicação do córrego.



Fonte: Adaptado de Inovativo (2023).

As fotos fornecidas ajudaram a elucidar sobre algumas características da região de estudo, percorridas a seguir. A Figura 4.2 mostra uma vista panorâmica da área, feita por imagens de Drone.

Figura 4.2 – Vista panorâmica da área de estudo.



Fonte: Inovativo (2022).

Ao longo de toda a extensão leste da área de estudo, existe um córrego, no qual três represamentos foram identificados, que segundo moradores são utilizados principalmente para a dessedentação de animais. A Figura 4.3 mostra os barramentos existentes na área de estudo.

Figura 4.3 – Represamentos no córrego da área de estudo.



Fonte: Inovativo (2022).

As vias existentes na área de estudo são pavimentadas, estreitas e não possuem passeio, com exceção de um único trecho mostrado na Figura 4.4.

As vias servem tanto para o trânsito local dos moradores quanto para o transporte de insumos da produção das mineradoras do entorno, aspecto que provoca risco de acidentes e emissão constante de ruídos, material particulado e vibrações.

Figura 4.4 – Trecho com sarjeta e meio fio na área de estudo.



Fonte: Inovativo (2022).

O sistema de drenagem de águas pluviais é praticamente inexistente, limitando-se apenas a dois bueiros e uma caixa de passagem em uma das ruas (Figura 4.5) e um pequeno trecho com sarjeta e meio-fio em outra (Figura 4.3). Como consequência, durante os períodos de chuva as ruas ficam alagadas (Figura 4.6).

Figura 4.5 – Bocas de lobo e caixa de passagem.



Fonte: Inovativo (2022).

Além disso as fotos expuseram a existência de alguns animais que transitam pelo local (Figura 4.6).

Figura 4.6 – Trânsito de Animais no local e pontos de alagamento.



Fonte: Inovativo (2022).

4.1.1 Clima

Sobrepondo a área de estudo com as camadas de Zonas Climáticas, de autoria do IBGE, FEAM e UFLA, obtidas no IDE-Sisema em formato *shapefile*, foi possível identificar algumas características climáticas da região de estudo a partir de informações da tabela de atributos das camadas.

A área de estudo se encontra na zona climática Tropical Brasil Central, com temperatura classificada como mesotérmica branda, sendo que as médias variam entre 10 e 15°C no ano. Além disso a região se enquadra como semiúmida, ficando de 4 a 5 meses com o clima seco durante o ano.

Também foi possível, observar que a região se enquadra no Tipo climático B1 Úmido segundo a Classificação Climática de Thornthwaite (1948), com Índice de Umidade (Iu) variando entre 20 e 40. O Índice de Umidade de Thornthwaite é obtido através de um balanço hídrico em relação aos valores de evapotranspiração e de excedentes e déficit hídricos anuais (THORNTHWAITE, 1948).

4.1.2 Hidrografia

Sobrepondo os limites da área de estudo com a camada de Bacias Hidrográficas Ottocodificadas, de autoria dos órgãos ANA (Agência Nacional de Águas) e IGAM (Instituto Mineiro de Gestão de Águas) obtidas pelo IDE-Sisema no QGIS foi observado que a região se localiza na Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba, entre as sub-bacias do Ribeirão Casa Branca e Ribeirão Ferro-Carvão.

4.1.3 Hidrogeologia

De acordo com o Mapa de Domínios/Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil, elaborado pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) em 2007, toda área de estudo está localizada em domínio aquífero cristalino.

O aquífero cristalino é um aquífero fissural com baixo favorecimento hidrogeológico e que possui a ocorrência de água subterrânea de forma secundária, o que resulta em reservatórios pequenos, aleatoriamente distribuídos e com potencial hidrogeológico irregular (BOMFIM, 2010).

4.1.4 Geologia

De acordo com o Mapa Geodiversidades do Estado de Minas Gerais de 2010, de autoria da CPRM, a área de estudo está localizada no perímetro da área de risco de erosão e movimento de massa.

4.1.5 Solos

A identificação dos tipos de solos existentes na região de estudo foi feita por meio do Mapa de Solos de Minas Gerais (FEAM, 2010) obtido no site da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema). O mapa de solos foi então carregado no *software* QGIS, onde foi recortado nos limites da área de estudo, evidenciando assim os tipos de solo existentes no local.

O Mapa de Solos de Minas Gerais da FEAM expôs a existência de dois tipos de solo na área de estudo, sendo eles:

- **CXbd:** Cambissolo Háptico Tb Distrófico;
- **LVAd:** Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico.

De acordo com informações existentes no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), os Latossolos são solos minerais, permeáveis, friáveis, profundos e espessos, apresentando teores de silte inferiores a 20% e de argila entre 15% e 80%. Os Latossolos Vermelho-Amarelo Distróficos são associados a relevos planos, suave ondulados e ondulados e são uniformes em suas características (cor, textura e estrutura em profundidade) (EMBRAPA, 2018).

Já os Cambissolos Háplicos Tb Distróficos são solos rasos e pouco férteis, com textura média ou fina e alta presença de fragmentos das rochas originárias devido ao baixo desenvolvimento pedogenético (EMBRAPA, 2018).

4.1.6 Relevô

Para a caracterização do relevo, primeiramente foram gerados mapas de hipsometria e declividade a partir do MDT.

O MDT em questão, que possui altitudes variando entre 809 e 849 metros, foi modificado nas propriedades da camada de modo a mostrar um gradiente de cores para facilitar visualmente a diferenciação da altitude. Depois, uma cópia do MDT foi feita e modificada nas propriedades com a finalidade de gerar um sombreamento e opacidade. Os dois arquivos foram então sobrepostos para gerar o mapa hipsométrico.

Já o mapa de declividade foi gerado por meio do comando “Declividade” no QGIS, ao qual foi inserido o MDT como camada de entrada e selecionada a opção para gerar a declividade em porcentagem.

O passo seguinte foi a reclassificação do arquivo para corresponder à classificação da EMBRAPA (2018), indicada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Classificações de declividade da EMBRAPA.

Declividade (%)	Relevo
0-3	Plano
3-8	Suave-ondulado
8-20	Ondulado
20-45	Forte-ondulado
45-75	Montanhoso
>75	Escarpado

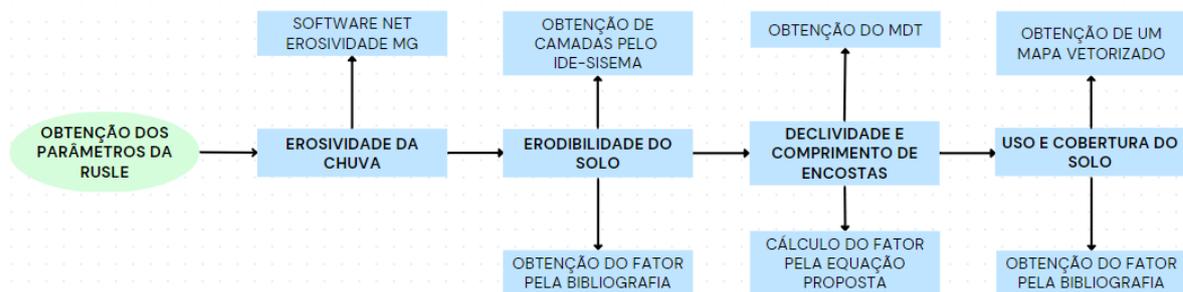
Fonte: EMBRAPA (2018)

A reclassificação foi feita por meio do comando “Reclassificar por Tabela”, onde foram definidos os intervalos de declividade conforme definidos pela EMBRAPA. Após a geração do arquivo reclassificado, foi feita a seleção do gradiente de cores nas propriedades da camada por fim gerado o mapa, que possibilitou a interpretação do relevo da região.

4.2 Estimativa da Produção de Sedimentos por Erosão Hídrica

Estimou-se por meio da Equação Universal da Perda de Solo revisada (RUSLE) proposta por Wischmeier e Smith (1978) a produção anual de sedimentos na região de estudo.

A Figura 4.7 mostra um fluxograma que resume o processo de obtenção dos parâmetros.

Figura 4.7 – Fluxograma de Obtenção dos Parâmetros da RUSLE.

Fonte: O Autor (2023).

O MDT utilizado no cálculo dos fatores de declividade e comprimento de encostas possui precisão aproximada de 1 metro e foi obtido por imagens de um *Drone Phantom 4 Pro*, em voos de 70m de altura e 75% de sobreposição frontal e lateral das imagens.

O MDT foi corrigido por meio da ferramenta *r.fill.dir* do QGIS para o preenchimento de depressões espúrias existentes no modelo, na qual foi usado o MDT como parâmetro de entrada e a opção *Depressionless DEM* como parâmetro de saída. Posteriormente o *raster* corrigido foi recortado nos limites da área de estudo (Figura 4.1), o que gerou um arquivo com resolução horizontal de 394 e resolução vertical de 407 *pixels*. Todas as operações posteriores nesse tópico, envolvendo a conversão de vetores para *raster* para a geração de mapas representativos dos fatores da RUSLE utilizaram esses valores de resolução, a fim de manter as células de todos os mapas (matrizes) do mesmo tamanho, permitindo a multiplicação matricial precisa entre os fatores.

Para todos os parâmetros foram gerados mapas, para que por fim eles fossem multiplicados, gerando um mapa final que expõe a estimativa da perda de solo por erosão hídrica na área.

Após a geração do mapa de perda de solo por erosão, foi utilizada a classificação proposta por Carvalho (2008), que se encontra na Tabela 4.2, para a avaliação das perdas de solo na área de estudo e geração do mapa final.

Tabela 4.2 – Classes de perda de solo.

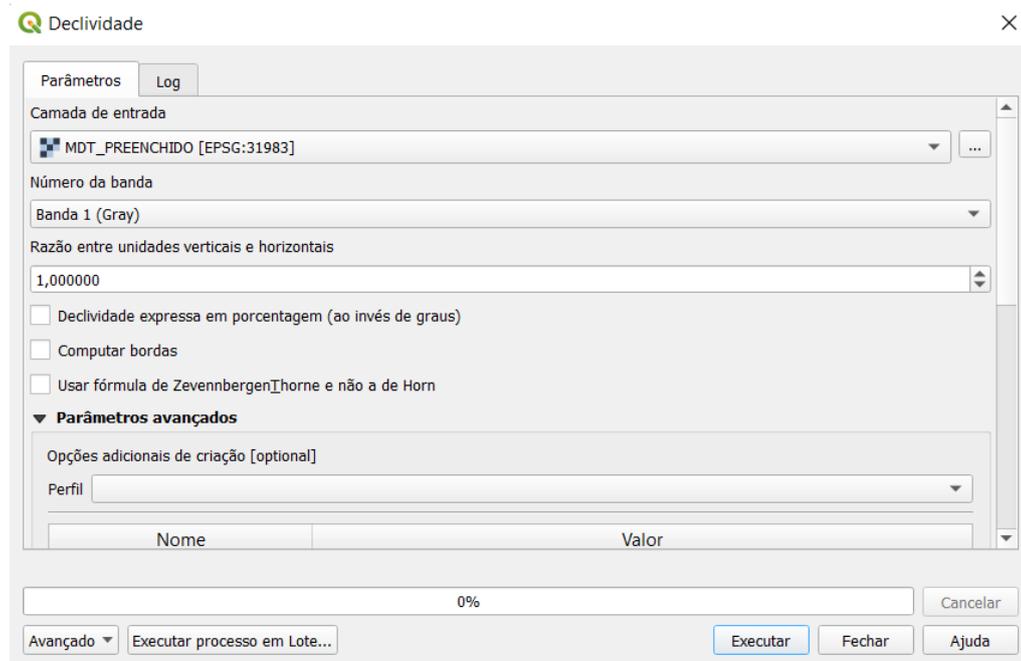
Perda de Solo (t.ha/ano)	Classes
0-10	Nula a Pequena
10-15	Moderada
15-50	Média
50-120	Média a Forte
120-200	Forte
> 200	Muito Forte

Fonte: Carvalho (2008).

4.2.1 Declividade de Encostas (S)

O primeiro passo para a obtenção do fator S foi a geração de um mapa de declividade em graus no QGIS por meio do comando “Declividade”, presente na opção *Raster -> Análise*, ao qual foi inserido o MDT como camada de entrada, conforme indicado na Figura 4.8.

Figura 4.8 – Interface do comando declividade do QGIS.



Fonte: QGIS (2023).

Uma vez obtido o mapa de declividade, o fator S foi calculado por meio das equações criadas por McCool et al. (1987) e expostas por Guimarães et al. (2019), representadas pela Equação 4.1 e pela Equação 4.2, sendo que a primeira delas é aplicada para declividades menores que 9% e a segunda para declividades maiores ou iguais a 9% (GUIMARÃES et al., 2019).

$$S = (10,8 * \text{sen}\theta) + 0,03 \quad (4.1)$$

$$S = (10,8 * \text{sen}\theta) - 0,50 \quad (4.2)$$

Onde:

θ = ângulo de declividade da encosta (graus)

Como foi utilizado um mapa de declividade da encosta com valores em graus para os cálculos foi necessária a conversão, de porcentagem para graus, do valor condicional para a escolha

entre as Equações 4.1 e 4.2 (9%). Essa conversão foi feita por meio da Equação 4.3, exposta pelo site Forest GIS (2021).

$$\theta = \arctan\left(\frac{d\%}{100}\right) \quad (4.3)$$

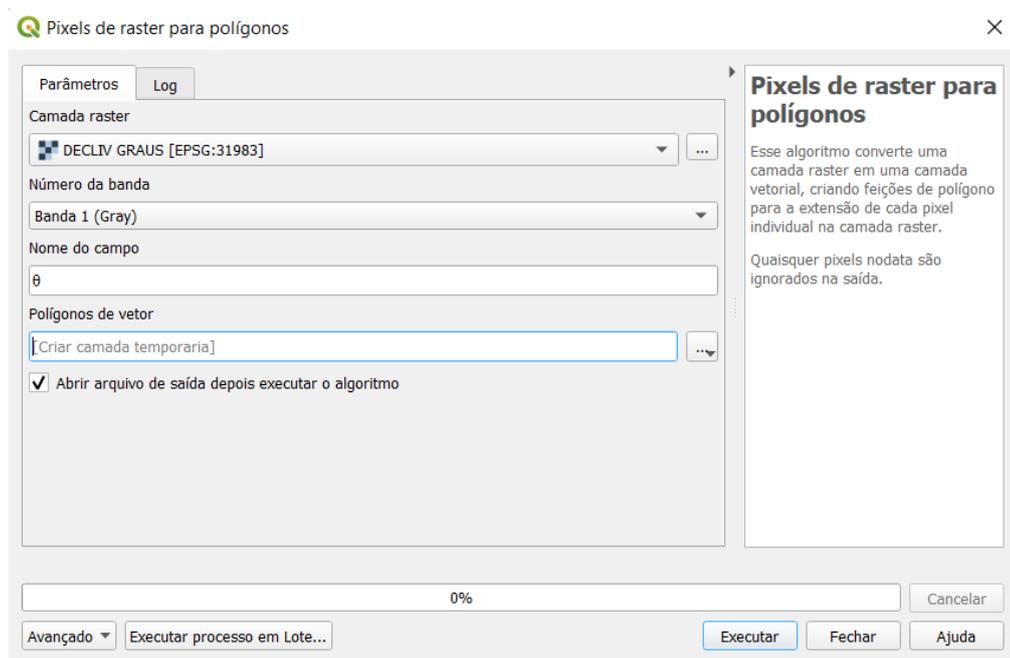
Onde:

d% = declividade (%)

Por meio da aplicação da Equação 4.4 foi definido um valor condicional de 5,1428°, que é equivalente a um valor de 9%.

Em seguida o mapa *raster* de declividade em graus foi convertido para vetor por meio do comando “Pixels de *raster* para polígonos” (Figura 4.9), gerando um vetor possuidor de uma coluna com os valores de declividade em graus na tabela de atributos.

Figura 4.9 – Conversão do *raster* de declividade para vetor.



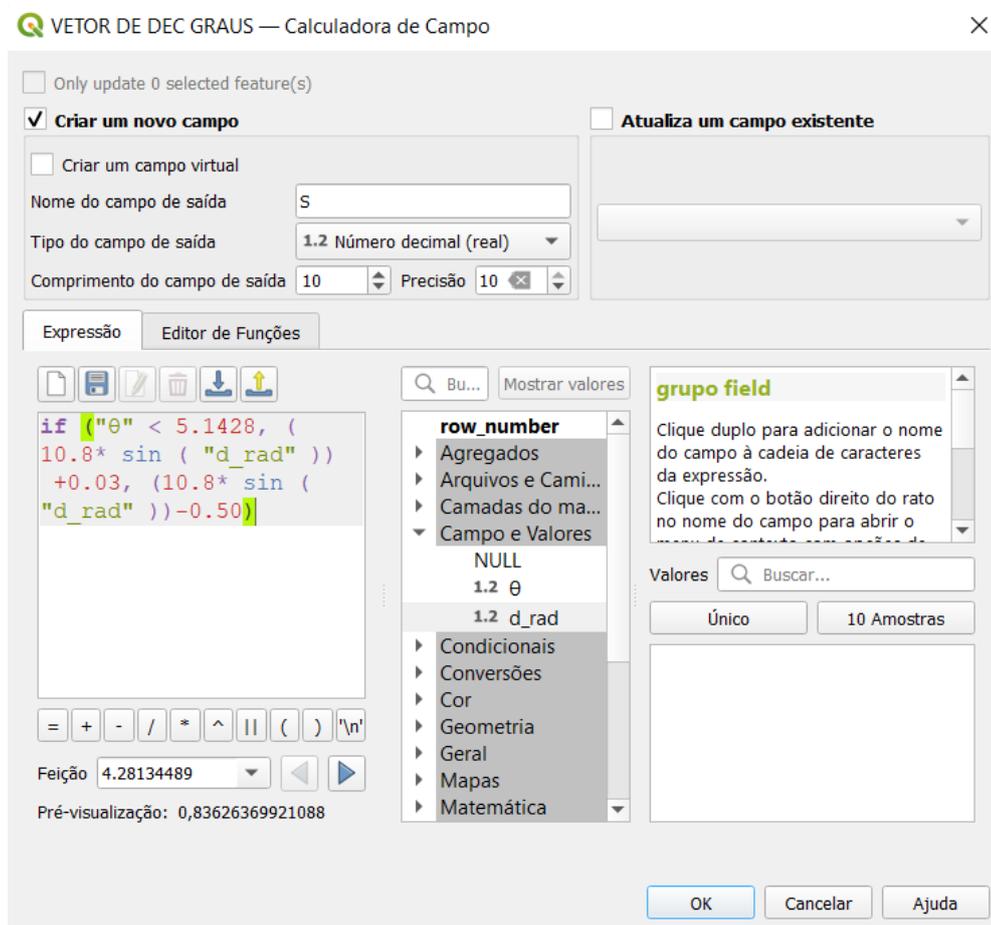
Fonte: QGIS (2023).

As funções matemáticas do QGIS pedem ângulos em radianos como parâmetros de entrada, de modo que foi necessária a conversão dos valores de declividade da tabela de atributos. O QGIS possui uma função matemática de conversão automática de ângulos em graus para

radianos, que foi aplicada na tabela de atributos por meio da calculadora de campo para a obtenção de uma coluna com valores de declividade em radianos.

Como a aplicação das equações 4.1 e 4.2 são condicionais aos valores de declividade, o passo seguinte foi a criação de uma nova coluna na tabela de atributos, também por meio da “Calculadora de campo”, na qual foi aplicada uma função condicional baseada nas Equações 4.1 e 4.2. A função criada se encontra representada pela Equação 4.4 e aplicação da mesma se encontra na Figura 4.10.

Figura 4.10 – Cálculo do fator S na calculadora de campo do QGIS.



Fonte: QGIS (2023).

$$S = (\text{if } \theta < 5.1428, (10.8 * \text{sen}(d_{\text{rad}})) + 0.03, (10.8 * \text{sen}(d_{\text{rad}})) - 0.50) \quad (4.4)$$

Onde:

d_{rad} = declividade (radianos)

A Equação 4.5 diz que se os valores de declividade em graus forem menores do que 5,1428°, a Equação 4.3 será aplicada, caso contrário, a Equação 4.4 será aplicada. Importante destacar que nessa equação os separadores decimais são representados por ponto, enquanto as vírgulas dividem a função em 3 partes: a primeira indica a condição; a segunda indica o valor a ser retornado quando a condição é verdadeira; e a terceira indica o valor a ser retornado quando a condição é falsa.

Depois da aplicação da equação supracitada, o vetor foi convertido novamente para *raster*, exportando a coluna do fator S calculado, gerando assim um mapa representativo do fator S.

4.2.2 Comprimento de Encostas (L)

Para a obtenção do fator L em cada célula foi utilizado o método proposto por Desmet & Govers (1996), definido pela Equação 4.5.

$$L = ((A + D^2)^{(m+1)} - A^{(m+1)}) / (X^m * D^{(m+2)} * 22,13^m) \quad (4.5)$$

Onde:

L = comprimento da encosta (m)

A = área de contribuição da célula/acumulação de fluxo (m²)

D = tamanho da grade de células/tamanho do pixel (m)

X = valor da direção do fluxo (adimensional)

m = constante relativa à declividade (adimensional)

O coeficiente “m” foi obtido por meio do método proposto por Foster et al. (1977) e exposto por Galdino e Weill (2011), indicado pela Equação 4.6.

$$m = \beta / (1 + \beta) \quad (4.6)$$

Onde:

β = razão entre a erosão em sulcos e a erosão entre sulcos (adimensional)

Para o cálculo da constante β foi utilizada a Equação 4.7, proposta originalmente por McCool et al. (1989) e exposta por Galdino e Weill (2011).

$$\beta = (\text{sen}\theta/0,0896)/[3 * (\text{sen}\theta)^{0,8} + 0,56] \quad (4.7)$$

Onde:

θ = ângulo de declividade da encosta (graus)

O primeiro passo para a obtenção do fator L foi o cálculo da constante β , no qual foi utilizado o mapa de declividade em graus anteriormente gerado. A equação para a obtenção de β foi aplicada por meio da calculadora *raster*.

Uma vez calculada a constante β , o passo seguinte foi o cálculo da constante m pela Equação 4.7, também utilizando a calculadora *raster*.

O valor da direção de fluxo (X) foi obtido por meio do comando *r.fill.dir* do GRASS, onde foi utilizado o MDT como parâmetro de entrada e escolhido o *Flow Direction* como parâmetro de saída.

A área de contribuição da célula (A) foi obtida pelo *r.flow* do GRASS, onde também foi utilizado o MDT como parâmetro de entrada e escolhido o *Flow accumulation* como parâmetro de saída.

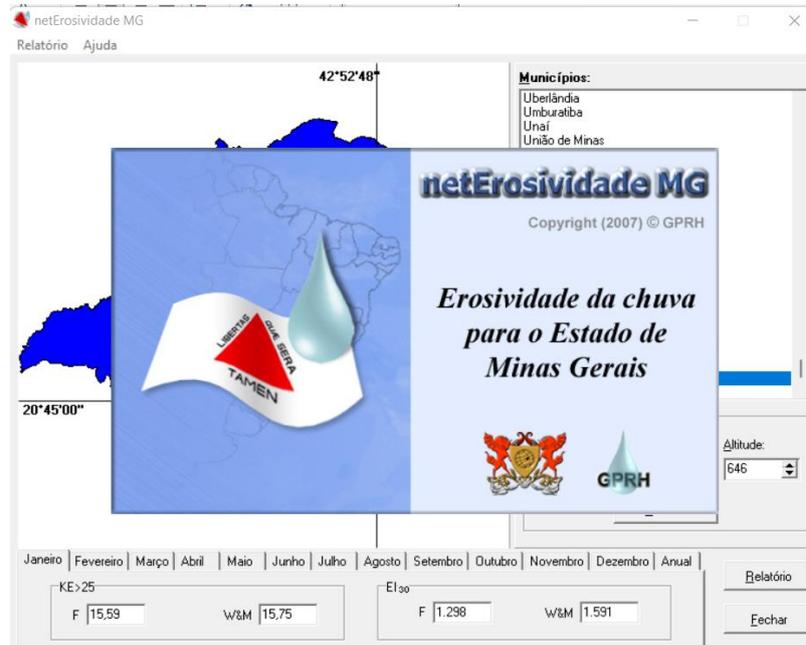
Já para o tamanho da grade de células (D), ou seja, o tamanho dos *pixels*, foi definido um valor igual a 1 por ser o valor de precisão do MDT utilizado nos cálculos. O valor do tamanho do *pixel* pode ser observado nas propriedades do *raster*.

Por fim, foi utilizada a calculadora *raster* para relacionar algebricamente os parâmetros supracitados por meio da Equação 4.6, gerando um mapa representativo do fator L.

4.2.3 Erosividade da Chuva (R)

Para a obtenção desse índice, foi utilizado o *software* netErosividade MG, produzido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em 2007, que fornece valores de erosividade da chuva para localidades no estado de Minas Gerais. Foram utilizados os dados de Erosividade da chuva de Brumadinho/MG, onde se encontra a área de estudo. A Figura 4.11 mostra a interface do dito *software*.

Figura 4.11 – Interface do *software* netErosividade MG.



Fonte: GPRH (2007).

Para a utilização do valor de R na calculadora *raster* do QGIS, a erosividade encontrada foi incluída na tabela de atributos do polígono da área de estudo (vetor) e a camada foi exportada para *raster* a partir da coluna representativa do fator.

Para a qualificação do valor de erosividade encontrado foi utilizada a classificação proposta por Carvalho (2008), exposta na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Classes de erosividade da chuva.

Erosividade (MJ.mm/ha.h.ano)	Classes
< 2452	Fraca
2452 a 4905	Moderada
4905 a 7357	Moderada a Forte
7357 a 9810	Forte
> 9810	Muito Forte

Fonte: Carvalho (2008).

4.2.4 Erodibilidade do Solo (K)

Uma vez que foram identificados os tipos de solo existentes na área de estudo (Item 4.1.5), foram feitas pesquisas bibliográficas para a definição dos valores de erodibilidade a serem utilizados. Os valores de erodibilidade foram então incluídos na tabela de atributos dos respectivos polígonos do vetor representativo dos tipos de solo e exportados para *raster*.

Mannigel et al. (2002) calcularam a erodibilidade de diversos solos com base em informações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA, com base na relação textural do perfil dos solos. Já Silva et al. (2009) calcularam a erodibilidade média de solos dos tipos CXbd e LVdf através de uma regressão linear feita a partir de dados de erosividade e perdas de solo em Lavras/MG. Os valores de erodibilidade adotados, assim como a fonte dos dados se encontram na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Valores para o fator de erodibilidade do solo (K).

Fonte	Tipo de Solo	Fator K (Mg.h.MJ-1.mm-1)
SILVA et al. (2009)	CXbd	0,0355
MANNIGEL et al. (2002)	LVAd	0,0112

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2009) e Mannigel et al. (2002).

Nota-se que o Cambissolo Háptico Tb Distrófico (CXbd) possui uma erodibilidade aproximadamente três vezes maior que o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) e por consequência contribui aproximadamente três vezes mais para a produção de sedimentos em uma mesma região com as mesmas características físicas (topografia, uso e cobertura e práticas conservacionistas) porém com diferentes tipos de solo.

4.2.5 Fator de Uso e Cobertura do Solo (C)

Para o fator de cobertura do solo, primeiramente foi realizada a vetorização por meio do *software* QGIS para a separação dos usos e ocupações existentes na área de estudo, utilizando como base a ortofoto previamente citada.

Os usos de solo definidos foram: remanescentes florestais, campo sujo, espaços livres asfaltados (incluindo as vias), edificações, solo exposto e massas d'água. Importante destacar

que os campos sujos são formados por vegetações baixas (gramas e herbáceas) com a presença de arbustos e subarbustos em pequenas quantidades (COSTA, 2014).

Após a classificação da dinâmica de uso e cobertura na região de estudo, foram atribuídos valores para o fator “C” para cada classe definida com base na literatura. O valor desse fator varia entre 0 (proteção máxima/não existe perda de solo) e 1 (solo totalmente exposto) (CHAVES, 1994a apud PRUSKI, 2006).

Para as classes impermeabilizadas (edificações e espaços livres asfaltados) foi, portanto, definido um valor de 0 para o coeficiente, visto que como as superfícies foram asfaltadas, não há perda de solo local.

Os valores de “C” foram obtidos na literatura e estão indicados na Tabela 4.5, juntamente com a fonte dos dados.

Tabela 4.5 – Valores para o fator de uso e cobertura do solo (C).

Fonte	Classe	Fator C
STEIN et al. (1987) apud BARBOSA et al. (2015)	Remanescentes Florestais	0,00004
STEIN et al. (1987) apud BARBOSA et al. (2015)	Campo Sujo	0,25000
STEIN et al. (1987) apud BARBOSA et al. (2015)	Solo Exposto	1,00000
STEIN et al. (1987) apud OLIVEIRA (2012)	Edificações	0,00000
SILVA (1978) apud CARDOZO et al. (2015),	Massas d’água	0,00000
STEIN et al. (1987) apud OLIVEIRA (2012)	Espaços Livres Asfaltados	0,00000

Fonte: Adaptado de Barbosa et al. (2015), Cardozo et al. (2015) e Oliveira (2012).

Uma vez definidos os fatores, eles foram atribuídos a cada classe na tabela de atributos do vetor de uso e cobertura no QGIS e exportados para *raster* para serem utilizadas no cálculo da RUSLE.

4.2.6 Práticas Conservacionistas (P)

O fator de práticas conservacionistas se relaciona com as práticas de plantio existentes. Como não foi possível coletar informações para a utilização desse fator na área de estudo em questão, foi definido um valor igual a 1 para o fator, conforme recomendado por Renard et al. (1997).

4.3 Modelagem Hidrológica

A modelagem hidrológica foi feita por meio do cálculo e geração de um mapa representativo do índice de umidade (w) baseado na metodologia de Araujo e Silva (2011), representada pela Equação 3.2.

O mapa de ângulos de declividade em graus utilizado no cálculo foi o mesmo obtido na metodologia de obtenção do fator S da RUSLE (Item 4.3.1), enquanto a área de contribuição utilizada foi o mapa de fluxo acumulado utilizado no cálculo do fator L (Item 4.3.2).

Os mapas foram então relacionados algebricamente por meio da calculadora *raster*, e reclassificados em quatro intervalos de mesmo tamanho para facilitar a visualização, gerando como produto um mapa de umidade do solo. Foi escolhida a classificação em quatro intervalos após vários testes, pois ela expôs as linhas de escoamento que atravessam a área de estudo e que possuem maior acúmulo de fluxos superficiais.

4.4 Definição de Áreas Prioritárias para a Detenção de Águas Pluviais

Os mapas gerados subsidiaram uma análise sobre os processos de erosão hídrica existentes na região de estudo e sobre as áreas de maior acúmulo de lâminas d'água, possibilitando a escolha de locais preferenciais para a detenção de águas pluviais, visando tanto a retenção de sedimentos quanto dos fluxos superficiais, de modo a melhorar a qualidade de vida da população ao amenizar as enchentes e garantir a proteção dos recursos hídricos na região.

Para a definição das áreas para a detenção de águas pluviais, foram observados os mapas de índice de umidade e de perda de solo por erosão hídrica, de modo a identificar visualmente os locais com maiores acúmulos de lâminas d'água e maior propensão à erosão.

As áreas escolhidas foram aquelas à jusante dos locais mais propensos a processos erosivos e aquelas com maior acúmulo de água (a jusante das linhas de escoamento mais expressivas),

visando reduzir a quantidade de água e sedimentos que chega aos corpos d'água e nas estradas. Foram utilizados apenas espaços sem estruturas existentes, fora de lotes e que não impedissem algum tipo de passagem.

Foram feitos dois mapas de áreas prioritárias para a detenção de águas pluviais: um baseado no mapa de perda de solo e outro baseado no mapa de índice de umidade.

Também foram geradas curvas de nível a partir do MDT para servirem de auxílio na locação, pois com elas é possível saber as diferenças de cotas, o que auxilia na identificação das direções de fluxo. As curvas foram geradas a partir do comando “extrair contorno” do QGIS, no qual foi inserido o MDT como parâmetro de entrada e definida a distância de “1” para a equidistância entre contornos, o que gerou curvas de nível de 1 metro, compatíveis com a precisão da elevação.

O critério de definição para a seleção de áreas usando o mapa de erosão hídrica foi, primariamente a seleção áreas à jusante das linhas de escoamento relacionadas a processos erosivos, visando a retenção desses sedimentos antes de chegarem ao curso d'água e às estradas.

Já para o mapa de índice de umidade, as áreas selecionadas foram aquelas à jusante de trechos que contêm faixas com maiores valores do índice, ou seja, em que o fluxo de água é mais constante. A escolha dos locais visou a interceptação dos maiores fluxos antes que eles chegassem nas estradas e nos corpos d'água, visando reduzir a quantidade de água que chega nas estradas e detê-las antes de elas levarem sedimentos aos córregos, permitindo que sejam filtradas e cheguem ao lençol freático em melhor qualidade, contribuindo para o desassoreamento dos recursos hídricos.

Quando houve limitações na seleção (limites legais, construções já existentes, espaços livres impermeabilizados e trechos de passagem) as áreas selecionadas foram as mais próximas o possível da jusante dos locais com perdas de solo, visando a máxima detenção possível. A parte norte da área de estudo, que possui o maior adensamento construtivo, foi totalmente excluída, por não possuir espaços livres para a construção de sistemas de detenção.

4.4.1 Áreas Restritas

Para a definição das áreas prioritárias para a detenção de áreas pluviais, também foram observadas algumas limitações construtivas definidas por lei: a existência de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e de Áreas de Uso Restrito (AURs) pela declividade.

4.4.1.1 Áreas de Preservação Permanente (APPs)

O levantamento do córrego da área de estudo feito pela empresa Inovativo Soluções Sustentáveis revelou que ele possui uma largura menor que 10 metros, de modo que foi definido uma faixa de APP de 30m em seu entorno, conforme definido pela Lei Federal 12.651/2012.

Os barramentos artificiais também receberam uma faixa extra de APP de 30 metros a partir de sua extremidade e o ponto de nascente do córrego um raio de 50 metros, com base nas definições da mesma lei.

Dessa forma, foram delimitadas as áreas de APP na região de estudo por meio do comando *buffer*, do QGIS. O *buffer* foi feito a partir do vetor representativo do córrego, do vetor das massas d'água (que representam os barramentos) e do ponto de nascente.

4.4.1.2 Áreas de Uso Restrito (AUR)

Com base no Art. 54 da Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013, foi estabelecido um limite de declividade de 25° para a definição das áreas prioritárias para a detenção de águas pluviais.

De acordo com a lei supracitada, áreas menores do que 25° e maiores do que 45° não possuem restrições construtivas, porém declividades acentuadas reduzem a eficiência dos sistemas de detenção, conforme exposto por Ballard et al. (2015), de modo que foram consideradas apenas áreas com declividades menores do que 25°.

O mapa de restrição devido à declividade foi feito por meio da reclassificação do mapa de declividade em graus feito previamente (item 4.1), por meio do “reclassificar por tabela” do QGIS.

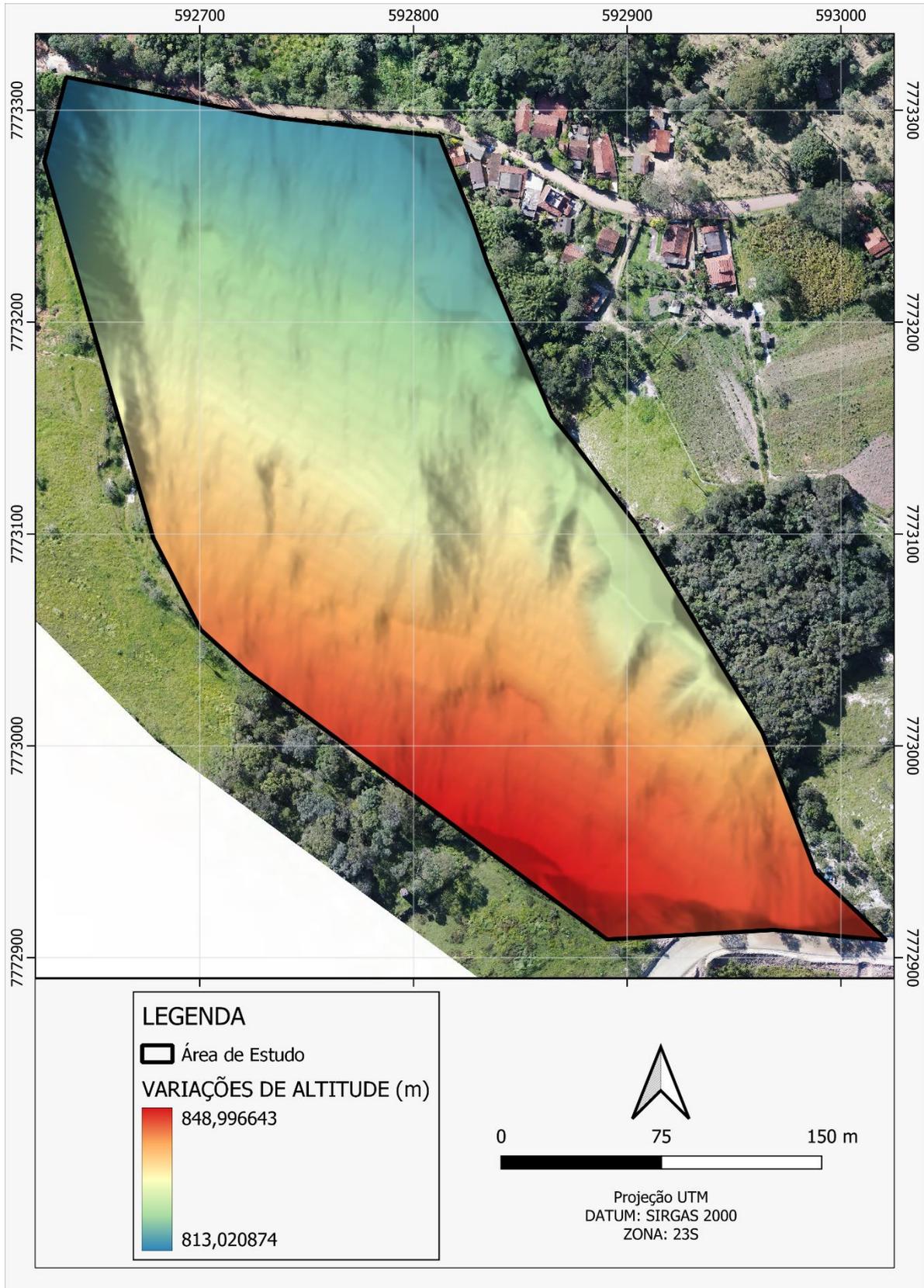
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse tópico apresenta os resultados obtidos pelas pesquisas, estudos por meio do *software* QGIS, fotos e mapas gerados pelas análises.

5.1 Caracterização da Área de Estudo - Relevo

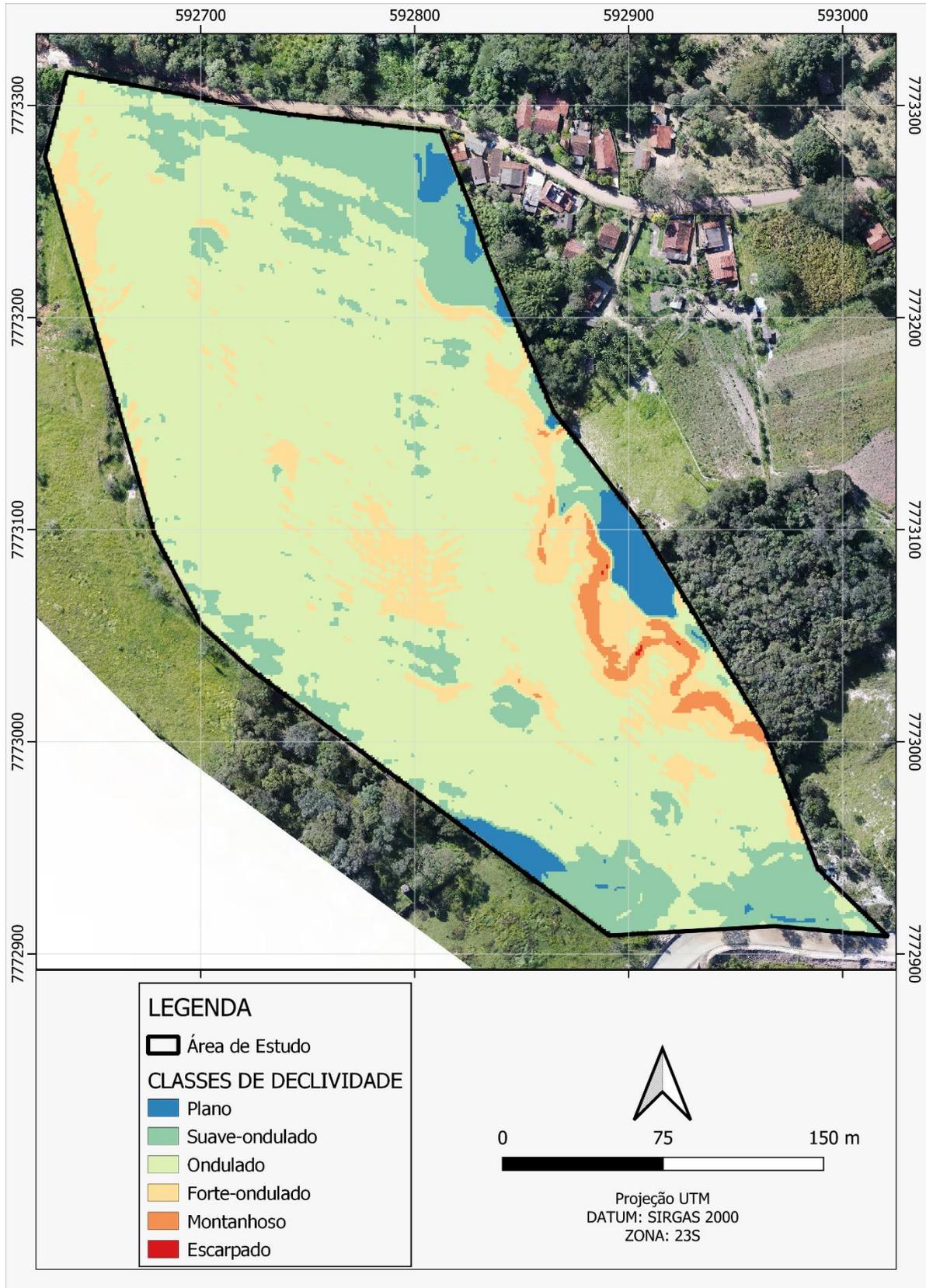
O mapa de hipsometria da região de estudo gerado se encontra na Figura 5.1, e o mapa de declividade reclassificado conforme as classes da EMBRAPA (2018) se encontra na Figura 5.2.

Figura 5.1 – Mapa de hipsometria.



Fonte: O Autor (2023).

Figura 5.2 – Mapa de classes de declividade.



Fonte: O Autor (2023).

Observando o mapa de hipsometria gerado, foi possível perceber que as cotas na área de estudo variam aproximadamente entre 813m e 849m, sendo que as menores cotas de altitude se encontram nas porções norte e na porção leste (onde se encontra o curso d'água).

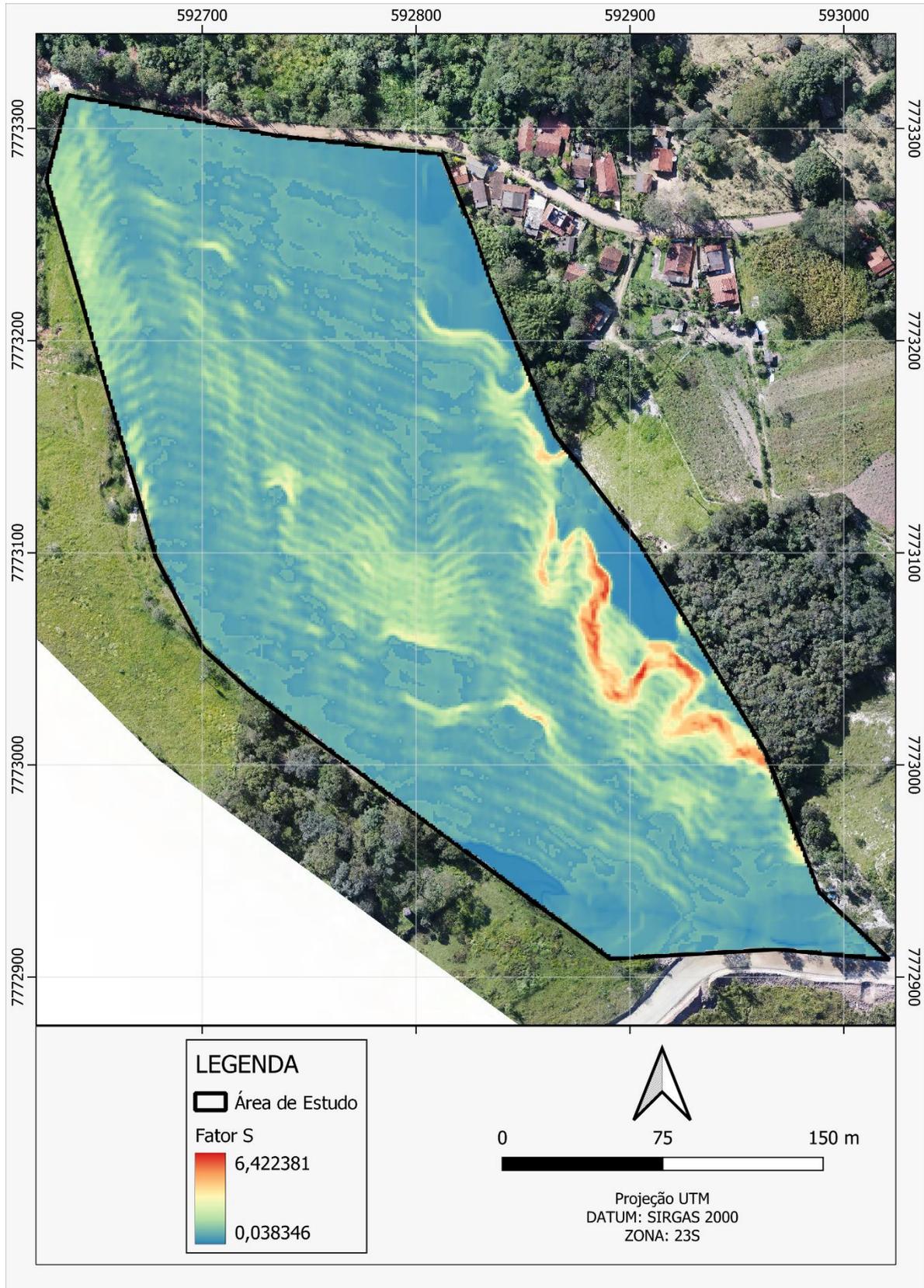
Com base no mapa de declividade e na classificação de declividades da EMBRAPA (2018), pode-se observar que a área de estudo possui o terreno com relevo predominantemente ondulado, possuindo também diversos fragmentos de relevo suave-ondulado e forte-ondulado dispersos pela área. Próximo ao córrego é onde estão distribuídas as maiores taxas de declividade, com trechos que variam entre relevos forte-ondulado, montanhoso e escarpado. Os locais indicados como relevo plano coincidem em sua maioria com onde estão presentes o córrego e as massas d'água advindas dos barramentos, com alguns fragmentos na parte sul da área e principalmente no sudoeste.

5.2 Estimativa da Produção de Sedimentos por Erosão Hídrica

5.2.1 Declividade de Encostas (S)

A Figura 5.3 mostra o mapa representativo do fator S criado.

Figura 5.3 – Mapa representativo do fator S.



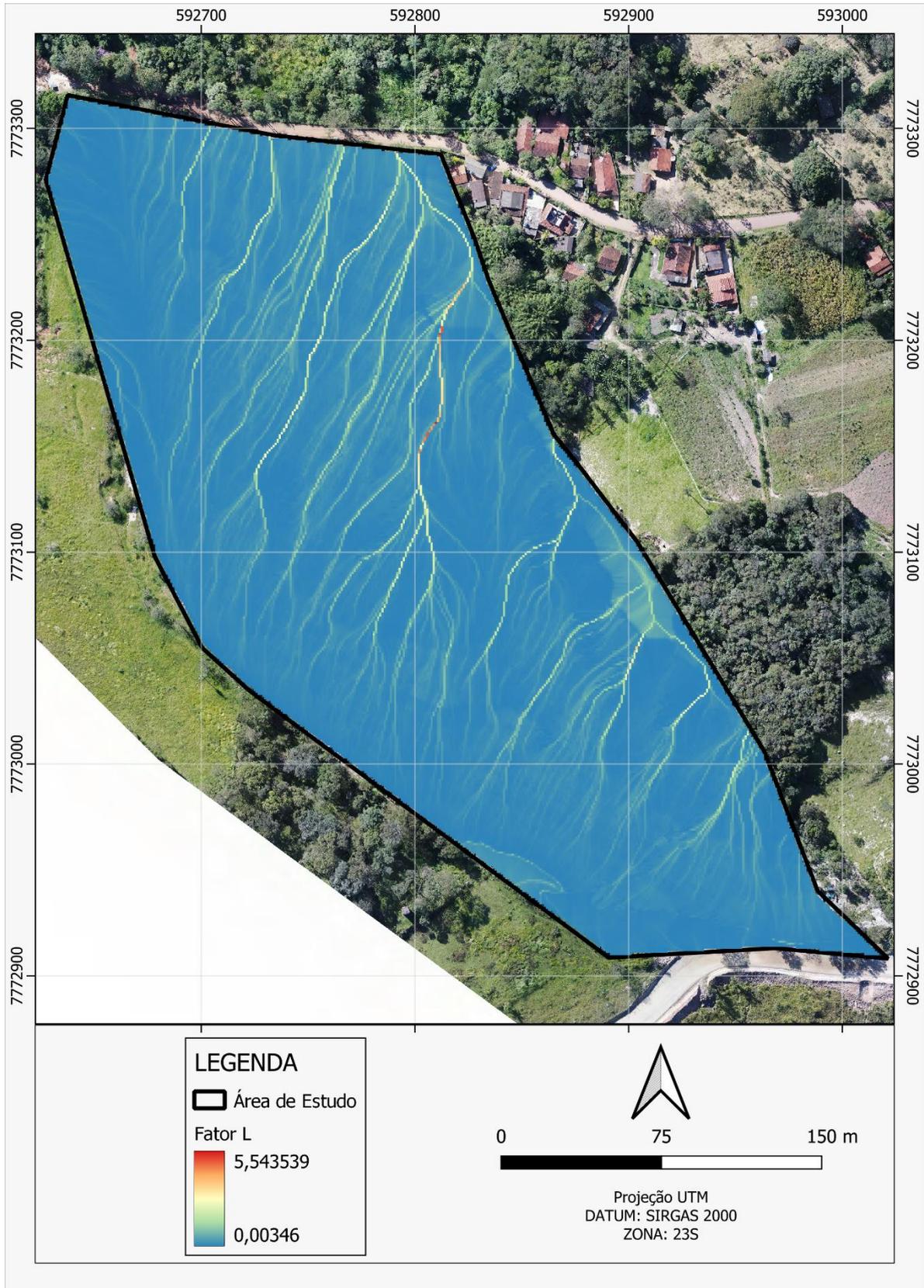
Fonte: O Autor (2023).

Pode-se observar que o mapa do fator S possui uma distribuição semelhante ao mapa de declividade (Figura 5.2). Além disso o valor do fator na área de estudo varia entre 0,038346 e 6,422381 (unidades adimensionais).

5.2.2 *Comprimento de Encostas (L)*

O resultado obtido para o mapa representativo do fator L se encontra na Figura 5.4.

Figura 5.4 – Mapa representativo do fator L.



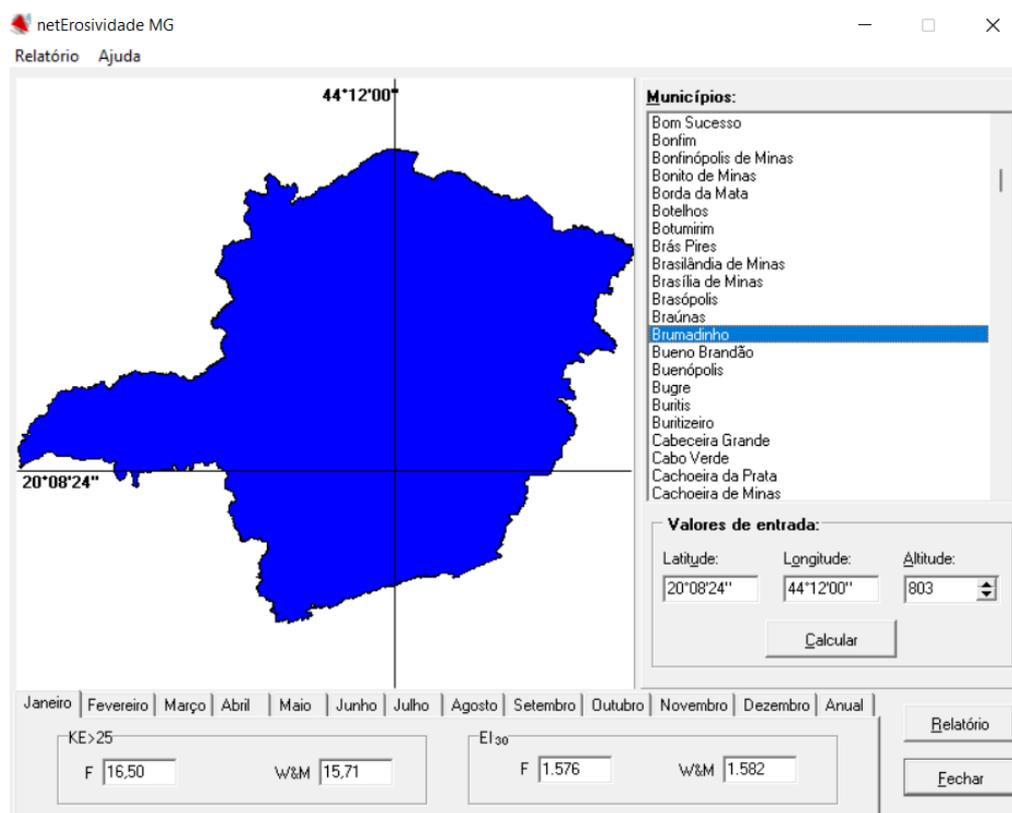
Fonte: O Autor (2023).

O fator L representa o comprimento das encostas e dessa forma, no mapa foram expostas as vertentes existentes na área de estudo. Além disso os valores do fator L variaram entre 0,00346 e 5,543539 (unidades adimensionais).

5.2.3 Erosividade da Chuva (R)

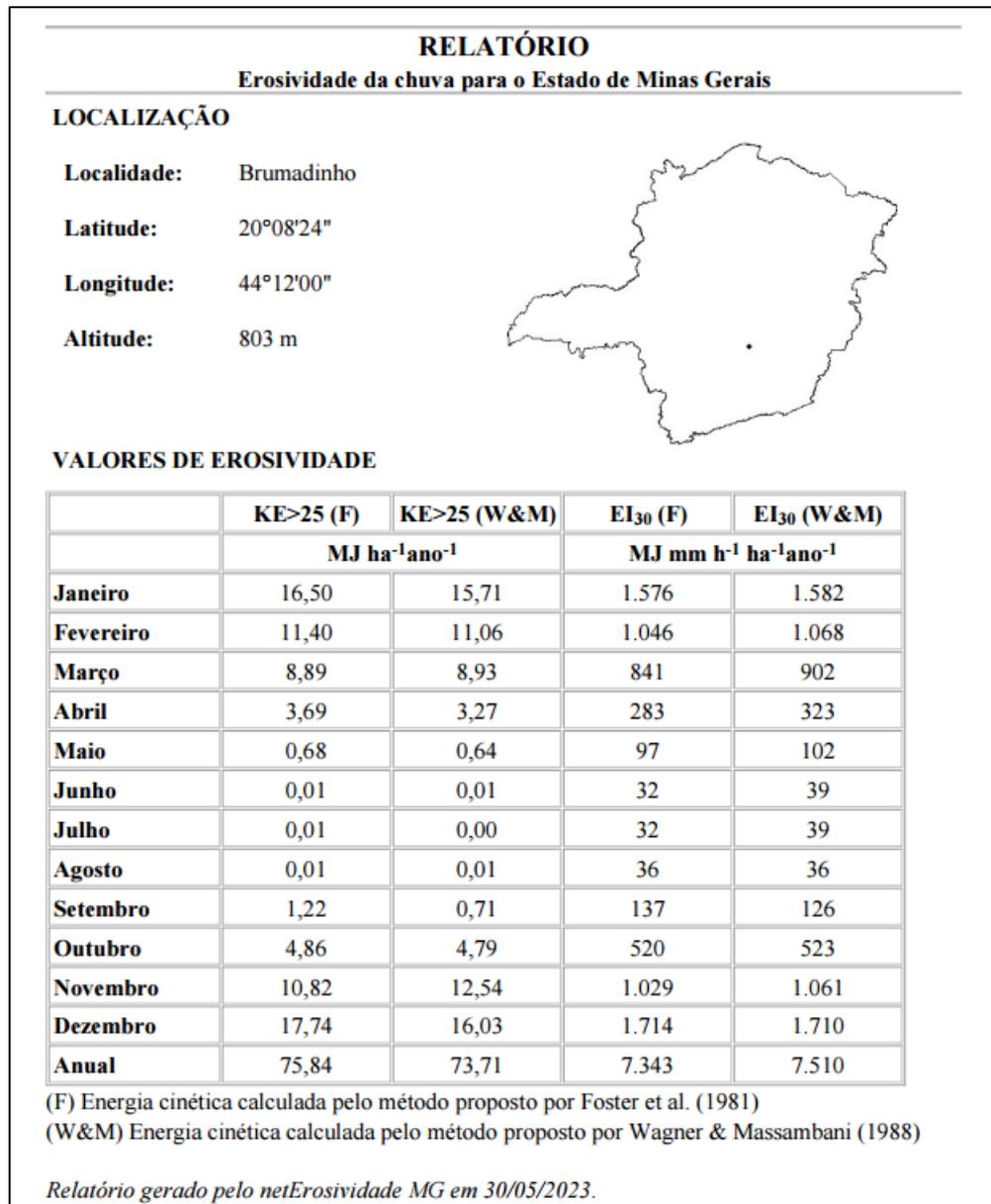
Conforme citado anteriormente, o fator de Erosividade da chuva (R) foi obtido a partir do *software* netErosividade MG. A Figura 5.5 mostra a seleção do município de Brumadinho, onde se encontra a área de estudo e a Figura 5.61 mostra o relatório gerado pelo *software*.

Figura 5.5 – Seleção do Município no *software* netErosividade MG



Fonte: GPRH (2007).

Figura 5.6 – Relatório Gerado pelo software netErosividade MG.



Fonte: GPRH (2007).

Com base no relatório gerado foi possível obter valores para a erosividade anual da chuva, representada pelo EI₃₀, conforme a metodologia proposta por dois autores distintos. O valor de erosividade pelo método proposto por Wagner e Massambani foi apenas aproximadamente 2,27% maior que o valor obtido pela metodologia proposta por Foster et al. Como a diferença encontrada foi pequena, optou-se por utilizar o maior valor encontrado para o presente estudo, de modo a garantir um fator de segurança.

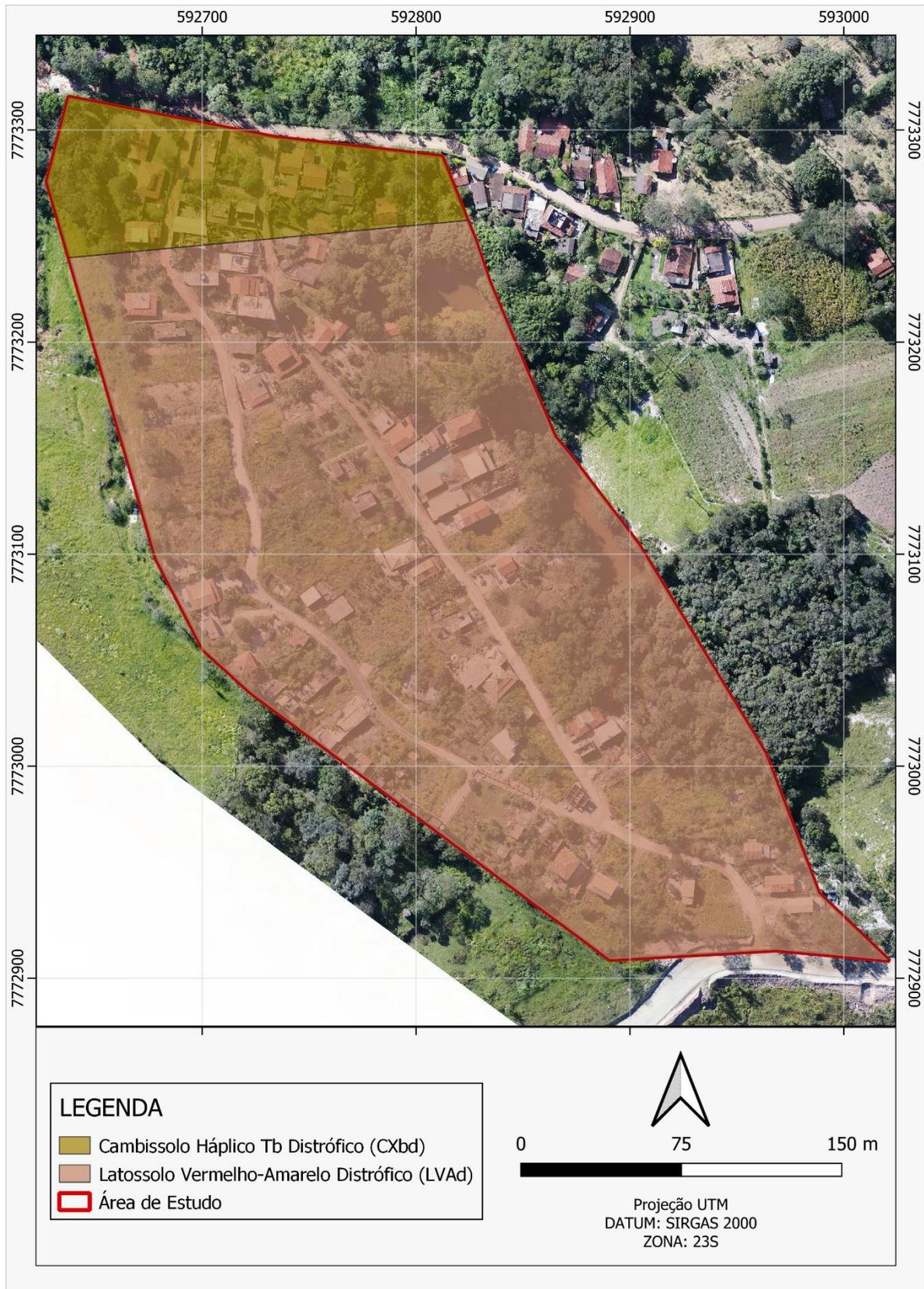
Dessa forma, foi definido um valor de $7510 \text{ MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para erosividade da chuva (R), valor que foi considerado para toda a área de estudo e utilizado para o cálculo da perda de solo anual pela RUSLE.

De acordo com a classificação dos valores de erosividade expostas por Carvalho (2008) e presentes na Tabela 4.3, a erosividade da região de Brumadinho utilizada no presente estudo se enquadra como “Forte”, o que ressalta a importância do controle das águas pluviais para a preservação dos solos no local.

5.2.4 Erodibilidade do Solo (K)

A Figura 5.7 indica os tipos de solo encontrados na área de estudo.

Figura 5.7 – Mapa de solos na área de estudo.



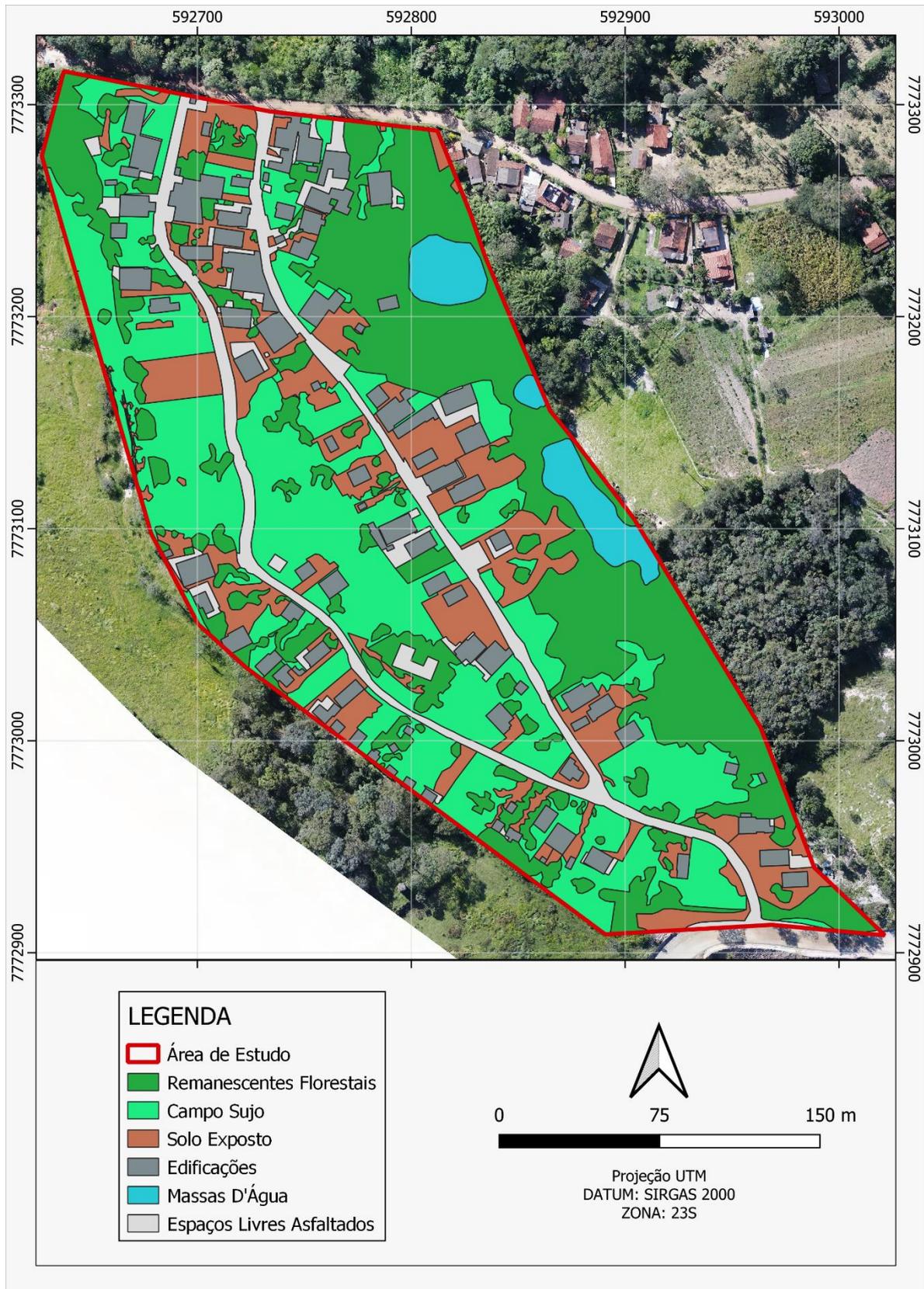
Fonte: O Autor (2023).

O Cambissolo Háplico Tb Distrófico se encontra em menor quantidade, existindo apenas na porção mais ao norte do vilarejo. Já o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico é predominante, sendo encontrado em aproximadamente 87,40% da área de estudo.

5.2.5 Fator de Uso e Cobertura do Solo (C)

A Figura 5.8 mostra o resultado da vetorização do uso e ocupação do solo da região e a Tabela 5.1 mostra a porcentagem, na área de estudo, de cada uma das classes de uso e cobertura do solo mapeadas.

Figura 5.8 – Mapa de uso e cobertura do solo.



Fonte: O Autor (2023).

Tabela 5.1 – Dinâmica do uso e cobertura do solo na área de estudo.

Classe	Área (m ²)	%
Remanescentes Florestais	23638,90	30,89
Campo Sujo	23690,20	30,95
Solo Exposto	11731,10	15,33
Edificações	8116,26	10,60
Massas d'Água	2442,84	3,19
Espaços Livres Asfaltados	6920,55	9,04
TOTAL	76539,86	100

Fonte: O Autor.

A classe de remanescentes florestais engloba áreas cobertas por vegetação arbórea, enquanto o campo sujo engloba regiões com predomínio de vegetações herbáceas e gramíneas, com alguns poucos arbustos. Já os espaços livres impermeáveis englobam as regiões fora das edificações em que os solos foram asfaltados: vias, estacionamentos, quintais etc.

5.2.6 Práticas conservacionistas (P)

Foram identificados alguns terrenos utilizados para cultivo, porém não foi possível identificar a utilização de práticas conservacionistas nos mesmos.

Como exemplos de terrenos de cultivo, foi identificado o cultivo de hortaliças no quintal de uma residência (Figura 5.9) e o cultivo de milho em um lote não edificado (Figura 5.10).

Figura 5.9 – Cultivo de hortaliças.



Fonte: Inovativo (2022).

Figura 5.10 – Cultivo de milho em lote sem edificação.



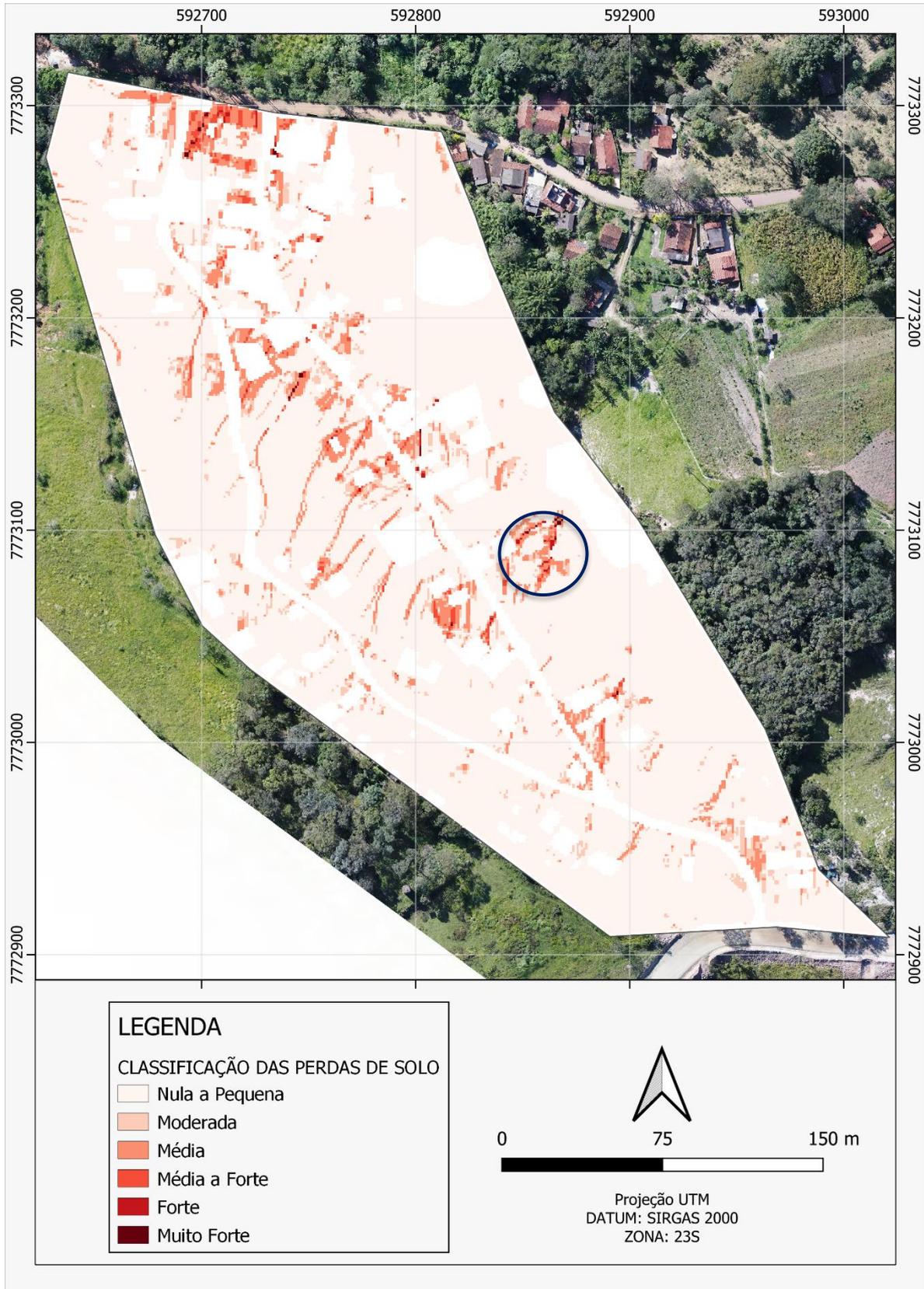
Fonte: Inovativo (2022).

Dessa forma, como não foi possível identificar as práticas conservacionistas existentes, foi definido um valor igual a 1 para o fator, conforme recomendado por Renard et al. (1997).

5.2.7 *Produção de Sedimentos*

Uma vez definidos os parâmetros e gerados os mapas necessários para o cálculo da perda de solo anual pela RUSLE, os mapas foram multiplicados por meio da calculadora *raster* do QGIS, com base na Equação 3.1 gerando um mapa de produção de sedimentos pela erosão hídrica. O mapa foi então reclassificado conforme as classes da Tabela 4.2 para melhor interpretação dos resultados. A Figura 5.11 mostra o mapa resultante.

Figura 5.11 – Estimativa da perda de solo anual por erosão hídrica.



Fonte: O Autor (2023).

Com base no modelo e na classificação indicada na Tabela 4.2, foi identificado que a maior parte da área de estudo possui perdas de solo de nula a pequena, porém foram identificados trechos com fragmentos de perdas de solo forte ou muito fortes, sendo que as taxas de perda de solo na área variaram entre 0 e 524 t/ha.ano, chegando a valores muito acima do valor de 200 t/ha.ano que classifica as perdas de solo como muito fortes.

No geral, as áreas mais susceptíveis à perda de solo por erosão hídrica foram aquelas com declividades acentuadas e sem proteção do solo. Esses fatores foram ainda mais graves nos trechos constituídos por cambissolos. O fator L também teve grande influência no resultado, expondo as linhas das lâminas de escoamento mais susceptíveis a processos erosivos.

As maiores concentrações de perda de solo foram encontradas na parte norte da área de estudo, onde existem cambissolos. Essa também é a parte mais adensada em termos de construção da área.

Parte das maiores taxas de perda de solo também se encontra próxima aos barramentos artificiais a oeste da área, o que deixa o córrego susceptível a receber essa carga de sedimentos.

Os locais onde foram encontradas as maiores taxas de perda de solo se correlacionaram parcialmente com a existência de processos erosivos no local, identificados por meio da ortofoto. A Figura 5.12 mostra um exemplo de processo erosivo correlato com um local indicado com tendência “forte” à perda de solo. A localização desse processo erosivo está circulada na Figura 5.11.

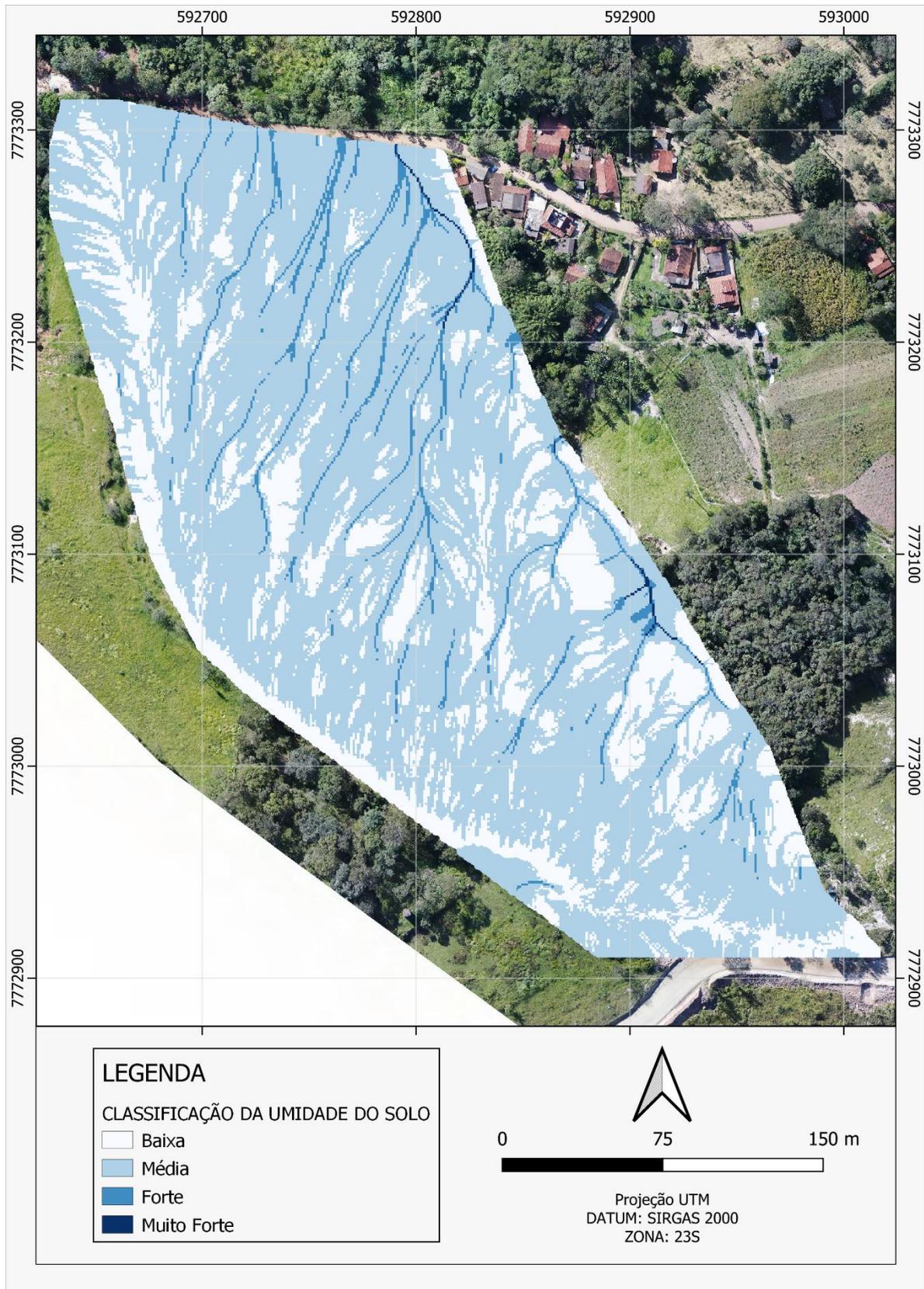
Figura 5.12 – Processo erosivo na área de estudo.



Fonte: Adaptado de Inovativo (2022).

5.3 Modelagem Hidrológica

A Figura 5.13 mostra o resultado do mapa do índice de umidade. O mapa expôs as áreas com maior acúmulo de fluxos superficiais dentro da área de estudo. As áreas com classificação forte ou muito forte coincidiram com o córrego e com as vertentes hidrográficas que atravessam a área, informação que foi validada pela análise das curvas de nível.

Figura 5.13 – Mapa de acumulação de umidade no solo.

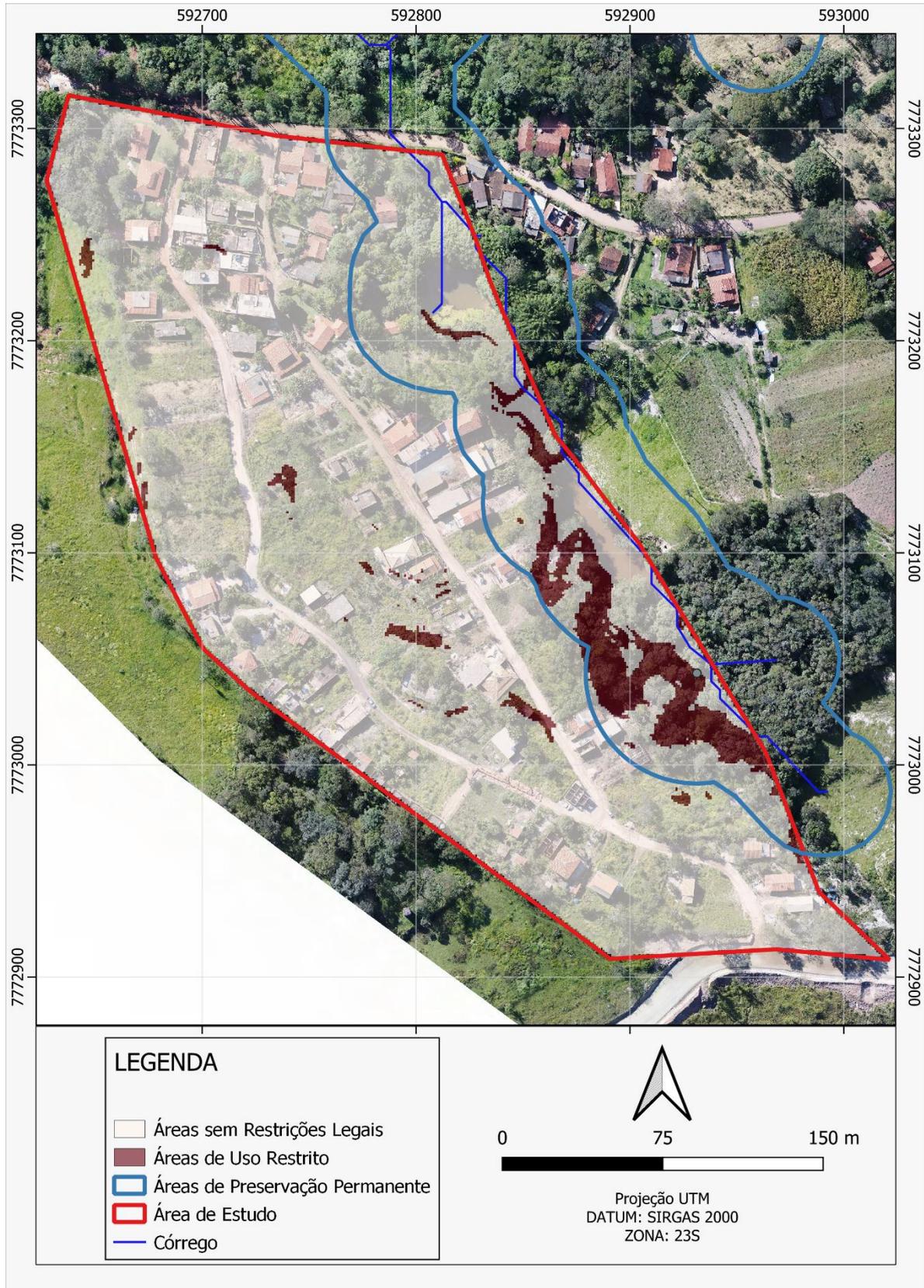
Fonte: O Autor (2023).

Por meio da análise do mapa nota-se que grande parte das vertentes hidrográficas (trechos com classificação muito forte) atravessam a área de estudo, passando pelas estradas, o que somado à falta de um sistema de drenagem eficiente na área, gera inundações.

5.4 Definição de Áreas Prioritárias para a Detenção de Águas Pluviais

Para a definição das áreas prioritárias para a detenção de águas pluviais, foram primeiramente excluídas as áreas com restrições legais. A Figura 5.14 indica as ditas áreas.

Figura 5.14 – Mapa de áreas legalmente protegidas.

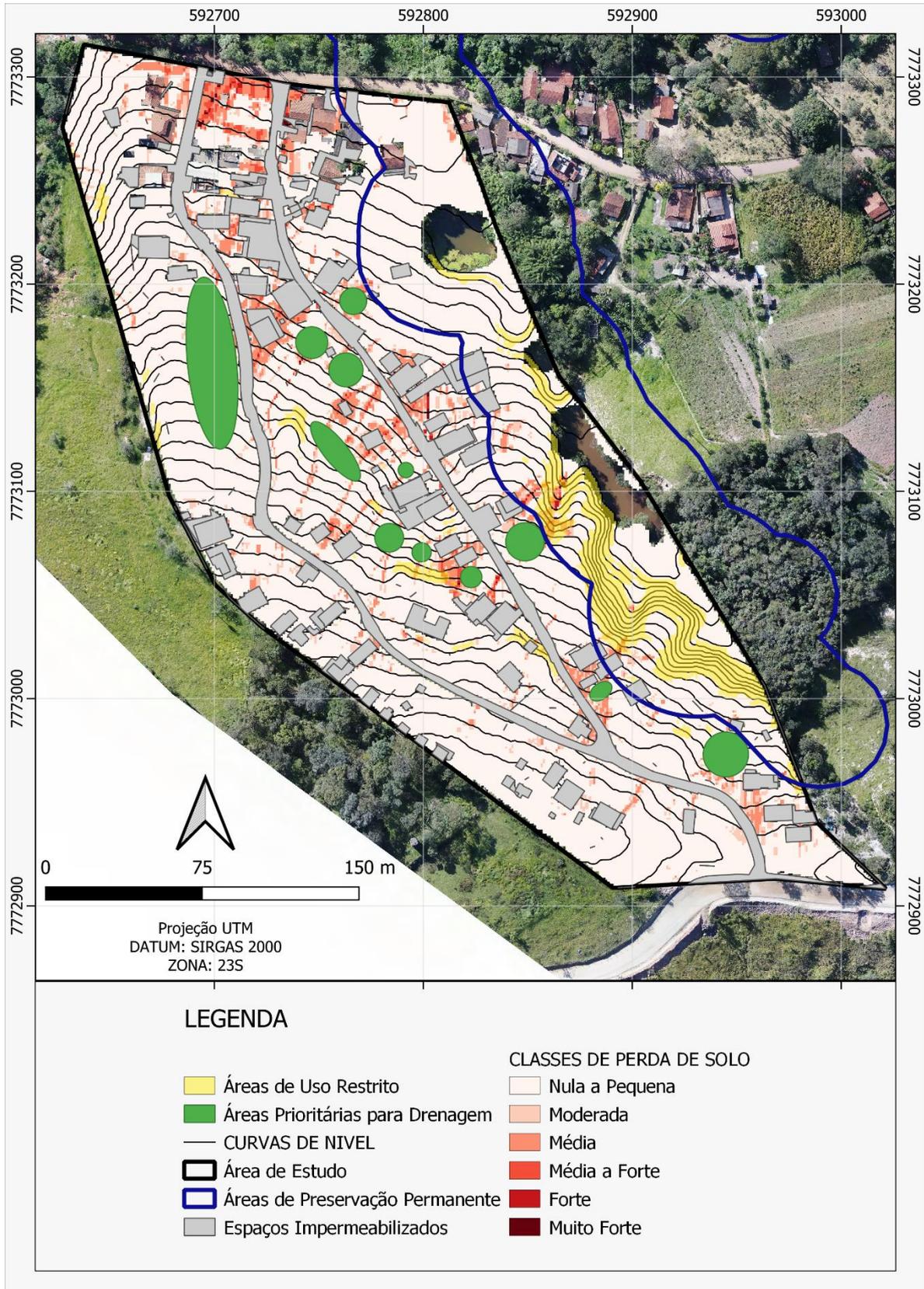


Fonte: O Autor (2023).

A maior parte das Áreas de Uso Restrito (AUR) devido à declividade se encontram dentro da área de APP, porém existem alguns fragmentos espalhados pela área.

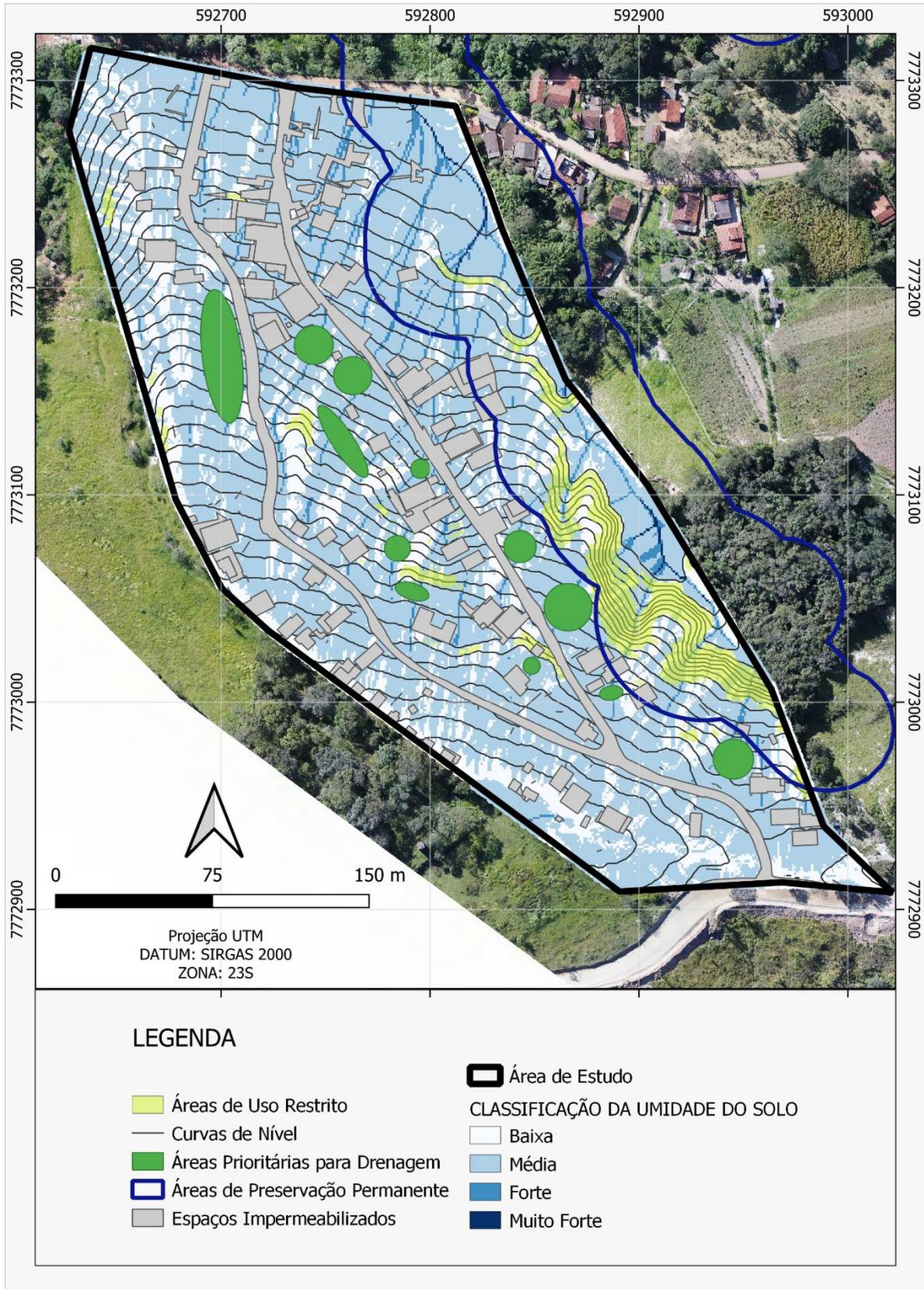
Os resultados da definição das áreas para drenagem baseadas no mapa de perda de solo e na modelagem hidrológica, excluindo-se em ambos os casos as áreas de uso restrito, se encontram nas Figuras 5.15 e 5.16, respectivamente.

Figura 5.15 – Áreas para detenção de águas pluviais visando a retenção de sedimentos.



Fonte: O Autor (2023).

Figura 5.16 – Áreas para a detenção de águas pluviais visando a redução dos fluxos.



Fonte: O Autor (2023).

As áreas definidas como prioritárias na Figura 5.15 representam os locais sem limitações construtivas com maiores taxas de acúmulo de sedimentos, enquanto as áreas na Figura 5.16 representam os pontos com maior acumulação de fluxos superficiais.

Foram delimitadas 12 áreas prioritárias para drenagem em cada mapa. Dessas áreas, 9 se sobrepuseram total ou parcialmente ao se comparar os dois mapas (aproximadamente 75%). Isso se deve ao fato de que ambos os fatores em comum entre o Índice de Umidade e a estimativa da produção de sedimentos por erosão hídrica (a declividade, presente no fator S da RUSLE e o fluxo acumulado, presente no fator L da RUSLE) foram bem relevantes no resultado da RUSLE nesse cenário, de forma que a maioria das áreas com perdas de solo fortes ou superiores coincidiram com as áreas de maior acumulação de escoamento superficial. Situação semelhante à observada por Cardozo et al. (2015), que por meio de seu estudo de perdas de solo em uma sub-bacia hidrográfica na Região Metropolitana de Porto Alegre observou que os fatores topográficos foram mais relevantes do que os demais fatores na estimativa da erosão hídrica.

A intensidade da erosão é diretamente proporcional ao comprimento das vertentes e aos graus de declividade das encostas, visto que esses fatores influenciam nos volumes e velocidades de escoamento, respectivamente, o que aumenta a capacidade da água de desencadear processos erosivos (CARDOZO et al., 2015). Esse fato justifica os locais com maiores fluxos de água terem coincidido em grande parte com as maiores perdas de solo, pois na área do presente estudo existe uma grande quantidade de vertentes hidrográficas ligadas ao córrego, ou seja, a topografia local favorece o escoamento superficial e conseqüentemente o desencadeamento de processos erosivos.

Importante destacar que a delimitação de áreas prioritárias não significa que todas as áreas deverão possuir sistemas de detenção e nem que os polígonos delimitados representam uma bacia de detenção como um todo. A delimitação apenas indica os locais em que os sistemas cumpririam mais eficientemente suas funções de detenção de águas pluviais e de retenção de sedimentos, servindo como direcionamento para obras de drenagem na região de estudo, porém necessitando o correto dimensionamento para garantir a eficiência.

A efetiva implantação de sistemas de drenagem requer um planejamento urbano que leve em conta, além dos aspectos físicos, questões sociais e integração com a paisagem, em concordância com o Plano Diretor do município (BODNAR; PIRESS; BIANCHI, 2019).

Também é importante considerar que ambos os mapas de perda de solo por erosão hídrica e de acumulação de fluxos superficiais utilizaram um MDT como base, que considera as condições naturais do terreno e, portanto, ignora as influências das modificações antrópicas nos processos naturais. Porém, da forma que as áreas foram selecionadas (entre estradas) e na condição em que a área de estudo se encontra (em urbanização, com vários locais em condições naturais) o método utilizado prevê bem o processo de escoamento superficial, visto que o comportamento dos fluxos de água é semelhante ao natural nos trechos entre as estradas, até ser interceptado pelas áreas delimitadas ou alguma construção existente.

Dessa forma, apesar de os mapas serem eficientes na definição de áreas prioritárias para a retenção de águas pluviais, é necessário um estudo mais aprofundado, que considere a localização das drenagens existentes e outros fatores antrópicos, para a correta implantação dos sistemas.

Apesar das limitações existentes, pode-se inferir que o método do índice de umidade é eficiente na definição de aptidão à construção de estruturas que utilizam a água, como é o caso dos sistemas de retenção, pois deixam visíveis os caminhos naturais do escoamento, confirmando as conclusões do artigo de Araujo e Silva (2011).

6 CONCLUSÕES

Com base nas características da região e das informações obtidas pelos estudos de erosão hídrica e pela modelagem hidrológica, conclui-se que a implantação de bacias de retenção seria de grande valia para a comunidade local, devido a ser um local com altas taxas de produção de sedimentos por erosão hídrica e com muitas faixas com grande acúmulo de fluxos superficiais, o que faz com seja necessário um maior controle das águas pluviais e a retenção de sedimentos.

Somado a isso, o córrego sem nome localizado na parte leste da região recebe grande parte dessa carga de sedimentos, além de que o córrego em si já se encontra assoreado, o que tornam necessárias medidas para melhorar a qualidade dessas águas. A retenção de águas pluviais, principalmente por bacias de retenção vegetadas, também seria extremamente benéfica, pois faria com que as águas pluviais fossem filtradas e infiltradas, chegando ao córrego com uma melhor qualidade (BALLARD et al., 2015).

Além disso, a vila objeto do estudo em questão não possui um sistema de drenagem eficiente, o que proporciona a existência de pontos de alagamento, e somado à baixa capacidade hídrica dos reservatórios, que ocorre pela área se encontrar em domínio de aquífero cristalino, contribui para a contaminação dos recursos hídricos e baixa fertilidade do solo (BOMFIM, 2010).

Em resumo, os fatores que tornam importante a implantação de um sistema de retenção de águas pluviais na área de estudo são:

- Muitos pontos de grande acumulação de fluxo superficial;
- Taxas de perda de solo por erosão hídrica altas;
- Existência de processos erosivos associados à perda de solo;
- Córrego assoreado e que recebe alta carga de sedimentos;
- Falta de um sistema de drenagem eficiente;
- Baixa capacidade hídrica dos reservatórios.

Também se conclui que o estudo da produção de sedimentos é uma boa ferramenta de apoio para a locação de sistemas de drenagem, visto que devido à influência dos fatores topográficos (L e S), as taxas de perda de solo por escoamento são bem representadas, informação que foi validada pela comparação entre o mapa resultado da RUSLE e o mapa de Índice de Umidade, que destaca os locais com maior acúmulo de lâminas d'água.

Por meio da observação dos mapas de produção de sedimentos e das curvas de nível ou direções de fluxo, é possível prever o caminho feito pelas partículas do solo desprendidas no processo de arraste e definir os melhores locais para a detenção das águas pluviais carregadas com sedimentos.

Por fim, conclui-se que ambos os mapas finais gerados servem como apoio para obras de drenagens pluviais subseqüentes, porém necessitando estudos mais aprofundados para a correta implantação dessas construções.

7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se o aprofundamento em metodologias que relacionem a produção de sedimentos com a implantação de sistemas de retenção, visando buscar uma maior eficiência desses sistemas.

Também se recomenda o estudo das possibilidades da criação de sistemas de retenção multifuncionais em trabalhos desse tipo (campos de futebol, praças etc.) conforme recomendado por Ballard et al. (2015), visando o melhor aproveitamento do espaço.

Por fim, recomenda-se a utilização de outros tipos de modelagem hidrológica e de métodos de estimativa da dinâmica de erosão hídrica em estudos similares, visando criar parâmetros comparativos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS. **Enchentes recentes ampliam impacto das tragédias de Brumadinho e Mariana, dizem atingidos**. 2022. Câmara dos Deputados, 2022. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/848155-enchentes-recentes-ampliam-impacto-das-tragedias-de-brumadinho-e-mariana-dizem-atingidos/>>. Acesso em 08 nov. 2023.

AMORIM, R. S.; SILVA, D. D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. D. **Avaliação do desempenho dos modelos de previsão da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil**. 2010. Engenharia Agrícola. v. 30, 1046-1049, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/eagri/a/gmfn6RXq7fPYjkPTwnCVVrJ/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Nota Técnica nº 46/2018/SPR - Produção de base vetorial com o Curve Number (CN) para BHO 2014 (BHO_CN)**. 2018. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d1c36d85-a9d5-4f6a-85f7-71c2dc801a67/attachments/NOTA_TECNICA_46_2018_SPR.pdf>. Acesso em 07 mai. 2023.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Programa Produtor de Água: Manual Operativo**. 2008. Ministério do Meio Ambiente, Superintendência de Usos Múltiplos, Brasília-DF, 2008. Disponível em: <<http://produtordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/documentos/MANUAL%20OPERATIVO%20-%20PROGRAMA%20PRODUTOR%20DE%20C3%81GUA.pdf>>. Acesso em 09 nov. 2022.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Séries Históricas de Estações**. 2023. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em 07 mai. 2023.

ARAGON, J. O. de. A. GRANI, R. **Avaliação de áreas com restrições ambientais**. 2020. XX Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias (COBREAP), 2020. Disponível em: <<https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2020/02/Workshop-Avalia%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1reas-com-restri%C3%A7%C3%B5es-ambientais-JOS%C3%89-OCT%C3%81VIO-DE-AZEVEDO-ARAGON.pdf>>. Acesso em 11 jul. 2023.

ARAUJO, A. M.; SILVA, A. de. B. **Modelagem de áreas de escoamento superficial a partir do Modelo Digital de Terreno**. 2011. Anais, XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE, p.3735, 2011. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/06.29.13.09/doc/p0264.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2023.

BALLARD, B. W.; WILSON, U. C. H.; ILLMAN, S.; SCOTT, T.; ASHLEY, R.; KELLAGHER, R. **The SuDS Manual**. 2015. Ciria, 937 p, Londres, 2015. Disponível em: <https://www.susdrain.org/resources/SuDS_Manual.html>. Acesso em 23 mai. 2023.

BARBOSA, A. F.; OLIVEIRA, E. F. de.; MIOTO, C. L.; FILHO, A. C. P. **The Application of the Universal Soil Loss Equation by Using Free and Available Softwares**. 2015. UFRJ, Anuário do Instituto de Geociências, 38_1, p 170-179, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/281571389_The_Application_of_the_Universal_Soil_Loss_Equation_by_Using_Free_and_Available_Softwares>. Acesso em 04 abr. 2023.

BARROS, L. C. de; LANDAU, E. C.; RIBEIRO, P. E. de A.; BARROS, I. de R. **Abrangência geográfica do projeto de barraginhas no Brasil**. EMBRAPA, 2013. 45p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/980938/abrangencia-geografica-do-projeto-barraginhas-no-brasil>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

BARROS, L. C. de; RIBEIRO, P. E. de A. **Barraginhas: Água de Chuva para todos**. EMBRAPA, 2009. 49 f. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/485248/barraginhas-agua-de-chuva-para-todos>>. Acesso em 03 abr. 2022.

BELO HORIZONTE. **Plano de Ações de Combate às Inundações em Belo Horizonte**. 2011. Prefeitura de Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <http://pbh.gov.br/combate_inundacoes/Plano_de_Acoes_de_Combate_a_Inundacoes_em_BH_.pdf>. Acesso em 09 jul. 2023.

BERTONI J.; LOMBARDI NETO F. **Conservação do solo**. 2012. São Paulo, Coleção Brasil Agrícola, 8ª ed, 355 p, 2012.

BLAINSKI, É. ACOSTA, E. NOGUEIRA, P. C. do. P. **Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense**. 2017. Rev. Ambient. Água 12 (2), 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/sWTPKKnqzBJ9bQTBLTfnjxCm/?lang=pt>>. Acesso em 08 jul. 2023.

BODNAR, Z.; PIRESS, A. dos. S.; BIANCHI, P. N. L. **A sustentabilidade por meio do planejamento urbano**. 2019. Revista Brasileira de Direito, Passo Fundo, vol. 15, n. 3, p. 38-57, 2019. Disponível em: <<http://seer.atitus.edu.br/index.php/revistadedireito/article/view/3646>>. Acesso em 23 jun. 2023.

BOMFIM L. F. C. **Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente SIG: concepção e metodologia.** 2010. 18 f. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Luís, 2010. Disponível em:
<<https://aguassubterraneas.abas.org/assubterraneas/article/view/22886>>. Acesso em 01 mai. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2012. Disponível em:
<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm> Acesso em 04 mai. 2023.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CARDOZO, G.; ZANANDREA, F.; MICHEL, G. P. POLETO, C. **Aplicação da USLE na predição de perdas de solo em uma sub-bacia hidrográfica na Região Metropolitana de Porto Alegre – RS.** 2015. Congresso Internacional de Hidrossedimentologia. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/gpden/wordpress/wp-content/uploads/2015/12/Cardozo-et-al-2015-Hidrossedimentologia-USLE.pdf>>. Acesso em 05 jun. 2023.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática.** 2a ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CARVALHO, F. de. C. **Manejo e conservação do solo e da água – escoamento superficial.** 2010. Material de Pós-Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:
<<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/daniel/Downloads/Material/Pos-graduacao/Manejo%20e%20conservacao%20do%20solo%20e%20da%20agua/manejo%20e%20conservacao%20-%20parte%203.pdf>>. Acesso em 02 mai. 2023.

CASTRO, D. C. C. de; RODRIGUES, R. S. S; FILHO, D. F. F. **View of Surface runoff from drainage area of the lakes Bolonha and Black Water in Belém and Ananindeua, Pará.** 2019. Research, Society and Development, v. 9, n.3. Disponível em:
<<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/2373/1890>>. Acesso em: 12 mai. 2022.

COSTA, W. S. **Mapeamento de formações campestres nativas e de pastagens cultivadas no cerrado brasileiro utilizando mineração de dados.** 2014. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Computação Aplicada, INPE, São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3FQP36L>>. Acesso em 23 jun. 2023.

COUTO, J. L. V. do. **Bacias urbanas.** 2004. UFRRJ. Disponível em:
<<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/baciaurb.htm#:~:text=A%20bacia%20de%20>

reten%C3%A7%C3%A3o%20tem,volume%20das%20enxurradas%20mais%20lentamente.>. Acesso em 10 mai. 2023.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa Geodiversidade do Estado de Minas Gerais**. 2010. Repositório Institucional de Geociências, 2010. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14704>>. Acesso em 05 mai. 2022.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. de F.; MARIA, I. C. D. **Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo**. 2015. *Bragantia*, 74(2), 224–233. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/brag/a/nCjy5nDxcp4tDGwhx6CbjHp/>>. Acesso em: 13 mai. 2022.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. **A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units**. 1996. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5), p 427-433, 1996. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/233425999_A_GIS_procedure_for_automatically_calculating_the_USLE_LS_factor_on_topographically_complex_landscape_units>. Acesso em 23 mai. 2023.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2018. 356p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs>>. Acesso em 17 nov. 2022.

FERNANDES, J. G.; GALVÍNCIO, J. D.; FREIRE, M. G. B. dos. S. **O Modelo SWAT e suas Possibilidades de Aplicações em APL Agrícolas**. 2012. *Revista Brasileira de Geografia Física* 01, p. 115-126, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232821/26817>>. Acesso em 11 jul. 2023.

FREITAS, C. K. de. **Avaliação da retenção de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Cunha por meio do modelo InVEST SDR**. 2018. 77 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Rio Grande do Sul, 2018. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/199249>>. Acesso em: 17 set. 2022.

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**. 2011. Anais, XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE, p.4813, 2011. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.07.13.01/doc/p0942.pdf>>. Acesso em 11 abr. 2023.

GPRH. GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS. Softwares. 2007. UFV. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em: 17 mai. 2022.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. **Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos**. 1996. Anuário do Instituto de Geociências, v. 19, p. 93-114. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/viewFile/6168/4765>>. Acesso em 15 out. 2022.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. D. C. O. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. 2013. Oficina de Textos. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-PT&lr=&id=_zZNDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=processos+erosivos&ots=xKRve1hNad&sig=DZrvPMj4ikoUC28MIzliRTwJ9Ok#v=onepage&q=processos%20erosivos&f=false>. Acesso em 15 nov. 2022.

GUIMARÃES, D. V.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MARTINS, R. P.; NETO, J. de. O. M. **Modeling of Soil Losses on a Yellow Argisol Under Planted Forest**. 2019. Floresta e Ambiente, 26(1), 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/floram/a/WRbrVPz4xWPsG63kP9Xxfr/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em 11 ABR. 2023.

HIGGITT, D. L. **Soil erosion and soil problems**. Progress in Physical Geography, v.1, n.15, p.91-100, 1991.

IDE-SISEMA. INFRAESTRUTURA DE DADO ESPACIAIS. **WebGIS**. 2022. Disponível em: <<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>>. Acesso em 09 mai. 2022.

HIPÓLITO, M. T.; COSTA, T. C. e C. da; BARROS, L. C. de; VIANA, A. A. de O. N. **Alocação de barraginhas com uso de modelagem hidrológica e geoprocessamento**. 2019. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 28 p., 2019. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1112264>>. Acesso em 06 nov. 2022.

LIMA, H.; SILVA, E. S.; RAMINHOS, C. **Bacias de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação**. 2006. Revista Escola de Minas, v. 59, n. 1, p. 97–109, 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rem/a/xndZLswjWn68zvfNBSCVXjy/?lang=pt#>>. Acesso em 11 jun. 2023.

LUCAS, A. H.; SOBRINHA, L. A. MORUZZI, R. B.; BARBASSA, A. P. **Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil**. 2015. Engenharia Ambiental e Sanitária 20 (1), 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/Bk8MYpvHmjWRGPdM7MwFckB/#>>. Acesso em 07 jul. 2023.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. de. P. e.; MORETI, D. MEDEIROS, L. da. R. **Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do estado de São Paulo.** 2002. Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002. Disponível em: <<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/download/2374/1787/>>. Acesso em 10 jun. 2023.

MARTINI, L. C. P.; UBERTI, A. A. A.; SCHEIBE, L. F.; COMIN, J. J.; OLIVEIRA, M. A. T. de. **Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: decisão multicriterial suportada em sistemas de informações geográficas.** 2006. Geologia USP. Série Científica, 6(1), 41-52. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/27416>>. Acesso em: 08 mai. 2022.

MATHIAS, D. T; LUPINACCI, C. M.; NUNES, J. O. R. **The identification of runoff flows in an area of technogenic relief using hydrological models in GIS.** 2020. Sociedade & Natureza, v. 32, p. 738–748, 2020. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/journal/3213/321364988060/html/>>. Acesso em: 19 mai. 2022.

MINAS GERAIS. **Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013.** Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Minas Gerais: Governo do Estado de Minas Gerais, 2013. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=30375>> Acesso em 03 mai. 2023.

OLIVEIRA, J. S. de. **Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solo em ambiente SIG.** 2012. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-31052012-075705/pt-br.php>>. Acesso em 13 mai. 2022.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Planeta perde 24 bilhões de toneladas de solo fértil todos os anos.** 2019. ONU News, Perspectiva Global, Reportagens Humanas, 2019. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2019/06/1676501>>. Acesso em 04 dez. 2022.

PERONI, C. S. L. **Avaliação de Bacias de Detenção na gestão de águas pluviais em Araraquara, SP.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/10008>>. Acesso em 09 jul. 2023.

PINTO, C. T.; OLIVEIRA, P. V. de. C. O.; PONZONI, F. J.; CASTRO, R. M. de. **Identificação de áreas susceptíveis a processos erosivos na região do Vale do Paraíba.** 2015. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17., 2015, João Pessoa: SBSR, 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0021.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2022.

PRUSKI, F. F. **Conservação de Solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Editora UFV, 238 p, 2006.

QGIS DOCUMENTATION. **Hydrological analysis**. 2023. QGIS Training Manual, 2023.

Disponível em:

<https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/training_manual/processing/hydro.html>. Acesso em 25 jun. 2023.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; MCCOOL, D.K.; YODER, D.C.

Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). 1997. U.S. *Department of Agriculture, Agriculture Handbook* 703, 1997, 404 p. Disponível em:

<https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/64080530/rusle/ah_703.pdf>. Acesso em 18 abr. 2022.

SCHWAMBACK, D.; MOREIRA, L.; REIS, H. IX Congresso Internacional de Custos. **Estimativa da perda de solo em uma bacia hidrográfica rural por meio da equação universal de perda de solo revisada**. 2018. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/326693206_Estimativa_da_perda_de_solo_em_uma_bacia_hidrografica_rural_por_meio_da_equacao_universal_de_perda_de_solo_revisada>. Acesso em: 27 abr. 2022.

SILVA, A. M. da.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M.

Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. 2009. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33 (6), 2009. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/cnstKFMGXyvtJzKth5QTyHK/?lang=pt&format=html#>>. Acesso em 03 mai. 2023.

SILVA, M. S. L. da. **Estudos da erosão**. 1995. EMBRAPA-CPATSA. Disponível em:

<<https://core.ac.uk/download/pdf/33890161.pdf>>. Acesso em 27 nov. 2022.

STRAUCH, M.; LIMA, J. E.F.W; VOLK, M.; LORZ, C.; MAKESCHIN, F. **The impact of Best Management Practices on simulated streamflow and sediment load in a Central Brazilian catchment**. 2013. *Journal of Environmental Management*, Volume 127, *Supplement*, 2013, p S24-S36, ISSN 0301-4797. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147971300042X>>. Acesso em 21 out. 2022.

TELLES, T.; MELO, T.; RIGHETTO, A.; DIDONÉ, E.; BARBOSA, G. **Soil management practices adopted by farmers and how they perceive conservation agriculture**. 2022.

Revista Brasileira de Ciência do Solo 46, 2022. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/Xr89jDy5mZmkSThbCmZcNkx/>>. Acesso em 14 mai. 2022.

THORNTHWAITE, C.W. **An approach toward a rational classification of climate.** 1948. *Geographical Review*, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/275605891_Epocas_de_florescimento_e_colheita_da_nogueira-macadamia_para_areas_cafeicolasda_regiao_sudeste/fulltext/55f5a93c08ae63926cf4e732/Epocas-de-florescimento-e-colheita-da-nogueira-macadamia-para-areas-cafeicolasda-regiao-sudeste.pdf>. Acesso em 23 jun. 2023.

TOMINAGA, E. N. de S. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-19092014-120127/pt-br.php>>. Acesso em 10 jul. 2023.

VELOSO, A. **Importância do Estudo das Vertentes.** 2009. *GEOgraphia*, 4(8), p 79-83, 2009. Disponível em: <<https://periodicos.uff.br/geographia/article/view/13434>>. Acesso em 23 jun. 2023.

ANEXO I
TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA USO DE PRODUTOS

Eu, **Luiz Gluck Lima**, AUTORIZO, por meio deste termo, que o aluno **Augusto Peixoto dos Santos** utilize alguns dos produtos específicos gerados pela empresa Inovativo Soluções Sustentáveis, referentes ao Vilarejo do Córrego do Feijão, em Brumadinho/MG, assim como o NOME da empresa, para fins EXCLUSIVOS de UTILIZAÇÃO no Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA DETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS COM BASE NA ESTIMATIVA DA EROÇÃO HÍDRICA E MODELAGEM HIDROLÓGICA**, sendo VEDADA a publicação.

Os produtos fornecidos para fins EXCLUSIVOS da realização desse trabalho, desde que NÃO PUBLICADO são:

1. Um Modelo Digital de Terreno (MDT) da região;
2. Um mapa vetorizado de uso e cobertura da região, para utilização em *softwares* SIG (Sistemas de Informação Geográfica);
3. Fotos da área datadas do dia 03/02/2022;
4. Um arquivo vetorizado do córrego sem nome identificado na região, assim como a localização do ponto de nascente e informações sobre o mesmo;
5. Uma ortofoto da área feita com imagens de um *Drone Phantom 4 Pro*, em voos de 70m de altura e 75% de sobreposição frontal e lateral das imagens.

Valido esta autorização assinando este documento em duas vias de igual teor e forma, ficando uma em minha posse.

Belo Horizonte, 12 de Julho de 2023.

Assinatura do Autor do Trabalho

Assinatura do Responsável pela Empresa

#d1ebc543-9770-4fc7-9391-7a507e6f81b7



Datas e horários baseados no fuso horário (GMT -3:00) em Brasília, Brasil
Sincronizado com o NTP.br e Observatório Nacional (ON)
Certificado de assinatura gerado em 12/07/2023 às 15:00:57 (GMT -3:00)

Termo-de-Autorizacao-Produtos rev3

ID única do documento: #d1ebc543-9770-4fc7-9391-7a507e6f81b7

Hash do documento original (SHA256): ece22055bfac039cfa36bbb5608dad5ea42f05c56a8cad6cdadae055ec75d676

Este Log é exclusivo ao documento número #d1ebc543-9770-4fc7-9391-7a507e6f81b7 e deve ser considerado parte do mesmo, com os efeitos prescritos nos Termos de Uso.

Assinaturas (2)

✓ **Augusto Peixoto dos Santos (Participante)**

Assinou em 12/07/2023 às 15:01:22 (GMT -3:00)

✓ **Luiz Gluck Lima (Participante)**

Assinou em 12/07/2023 às 15:02:47 (GMT -3:00)

Histórico completo

Data e hora	Evento
12/07/2023 às 15:00:57 (GMT -3:00)	Luiz Gluck Lima solicitou as assinaturas.
12/07/2023 às 15:01:22 (GMT -3:00)	Augusto Peixoto dos Santos (Autenticação: e-mail augusto.psantos@hotmail.com; IP: 177.182.39.27) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em https://verificador.contraktor.com.br . Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.
12/07/2023 às 15:02:47 (GMT -3:00)	Luiz Gluck Lima (Autenticação: e-mail luizgluck@gmail.com; IP: 181.29.216.32) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em https://verificador.contraktor.com.br . Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.