

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

RAPHAELLA DOS SANTOS LIMA

**TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DO
ASSOREAMENTO NO ARROIO JOÃO DIAS NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO
SUL, RS**

**Caçapava do Sul
2020**

RAPHAELLA DOS SANTOS LIMA

TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DO ASSOREAMENTO NO ARROIO JOÃO DIAS NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL, RS

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin

**Caçapava do Sul
2020**



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

RAPHAELLA DOS SANTOS LIMA

**TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DO
ASSOREAMENTO NO ARROIO JOÃO DIAS NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Dissertação defendida e aprovada em: 04, Novembro e 2020.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin
Orientador
(UNIPAMPA)

Prof. Dra. Cristiane Heredia Gomes
(UNIPAMPA)

Prof. Dra. Maria Amélia Zazycki
(UFN)



Assinado eletronicamente por **RAFAEL MATIAS FELTRIN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/01/2021, às 09:44, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CRISTIANE HEREDIA GOMES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/01/2021, às 10:51, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Maria Amélia Zazycki, Usuário Externo**, em 14/01/2021, às 21:09, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0444776** e o código CRC **8C270009**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, a quem sempre recorri nos momentos difíceis e quem sempre me direcionou e fortaleceu.

A minha família, em especial ao meu pai Vantuil Lima e minha mãe Carmem Lima, pela educação e ensinamentos, sem eles não estaria onde estou e nem seria a pessoa que sou. Ao meu irmão Clayton Lima e aos meus avós pela preocupação, apoio e incentivo.

Ao professor Dr. Rafael Matias Feltrin, pela excelente orientação, e pelas oportunidades recebidas ao longo da graduação, como a participação no Grupo de Estudos em Recursos Hídricos e Solos (GERHS), que me proporcionou crescimento pessoal e profissional ao longo do curso.

Aos professores da Unipampa, em especial a Dra. Cristiane Heredia Gomes, Dra. Maria Amelia Zazycki, Dra Zilda Vendrame, Dr. Rui Sergio Saraiva e ao Dr. Pedro Kemerich pelos conhecimentos adquiridos e por toda ajuda recebida.

Ao Mestre Luiz LaSsóva Vargas, por todos os momentos de conforto, confiança e apoio aos meus estudos.

Aos amigos, Gabriele Züge, Gilcinieri Marques, Leticia Soares e Maiara Leão, por todos os momentos de apoio, pela ajuda recebida e pela amizade proporcionada durante o curso.

Agradeço a Universidade Federal do Pampa pela oportunidade, e a todos que, de alguma forma, contribuíram para esta construção.

RESUMO

A poluição dos mananciais, o desmatamento, o assoreamento dos rios e a impermeabilização do solo, entre tantas outras ações do homem moderno, são responsáveis pela degradação e contaminação da água. Nas bacias hidrográficas, a mata ciliar é fundamental na criação e manutenção da vida nos rios. Sua remoção, além de afetar a vida aquática e todo o ecossistema da região, pode acelerar o processo de erosão natural e causar o assoreamento de recursos hídricos naturais ou artificiais. O geoprocessamento tem permitido um melhor gerenciamento de grandes áreas com rapidez e precisão. Os estudos que buscam entender os fatores que contribuem para o assoreamento, visam, a análise da utilização da terra, por meio de imagens de satélites e o desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), contendo de modo integrado todas as informações disponíveis para uma região. Desse modo o estudo buscou avaliar e monitorar as principais áreas de ocorrência de assoreamento no leito fluvial, com o objetivo de analisar as causas do processo erosivo e verificar o grau de assoreamento presente no Arroio João Dias, no município de Caçapava do Sul. A metodologia utilizada abrange basicamente 6 etapas, iniciando pela análise temporal de imagens de satélite; aquisição do mapa de erosividade da chuva; criação do mapa de erodibilidade do solo; obtenção do mapa do fator topográfico e uso, manejo e práticas conservacionistas; e álgebra de mapas com as variáveis da USLE. Como resultados tem-se que a Sub-bacia Hidrográfica do Arroio João Dias apresenta, em 71,12% da área, perdas de solo classificadas como baixa ($<10 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$), principalmente em função de características como o uso e ocupação do solo e das condições geomorfológicas presentes na região. Já as perdas consideradas de intensidade alta, ou seja, de 50 a $200 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, ocupam 27,02% da área e estão associadas a vegetação campestre. As classes de erosividade acima de $200 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ representam 1,87% da sub-bacia, sendo classificadas como erosão muito alta. Esses índices elevados de erosão correspondem a área localizada no entorno da mina de cobre a céu aberto e região da barragem de rejeitos, mostrando um elevado grau de assoreamento no leito do Arroio João Dias. Com a análise temporal de 34 anos na região das Minas do Camaquã, onde foram comparadas 11 imagens de satélite ao longo dos anos, analisou-se as alterações ocorridas na cobertura vegetal, observando-se uma redução de 50% da vegetação nativa de 1984 a 2019, um aumento de 35% de solo exposto e um aumento de 68% da vegetação campestre. As possíveis causas identificadas para o aumento do assoreamento foram a remoção das Áreas de Preservação Permanente, a construção do reservatório e a presença de solo exposto nas margens do arroio e na barragem de rejeitos localizada próxima ao arroio.

Palavras-chave: EUPS, SIG, Erosão, Mineração.

ABSTRACT

Pollution of water sources, deforestation, silting of rivers and waterproofing of the soil, among many other actions of modern man, are responsible for the degradation and contamination of water. In hydrographic basins, riparian forest is essential in the creation and maintenance of life in rivers. Its removal, in addition to affecting aquatic life and the entire ecosystem of the region, can accelerate the process of natural erosion and cause the silting up of natural or artificial water resources. Geoprocessing has allowed for better management of large areas quickly and accurately. The studies that seek to understand the factors that contribute to silting up, aim at the analysis of land use, through satellite images and the development of a Geographic Information System (GIS), containing in an integrated way all the information available for a region. Thus, the study sought to evaluate and monitor the main areas of silting occurrence in the riverbed, with the aim of analyzing the causes of the erosion process and verifying the degree of silting present in the João Dias Stream, in the municipality of Caçapava do Sul. used basically covers 6 stages, starting with the temporal analysis of satellite images; acquisition of the rain erosivity map; creation of the soil erodibility map; obtaining the map of the topographic factor and use, management and conservation practices; and map algebra with USLE variables. As a result, the Arroio João Dias Hydrographic Sub-basin presents, in 71.12% of the area, soil losses classified as low ($<10 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$), mainly due to characteristics such as land use and occupation and geomorphological conditions present in the region. The losses considered to be of high intensity, that is, from 50 to $200 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$, occupy 27.02% of the area and are associated with countryside vegetation. The erosivity classes above $200 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ represent 1.87% of the sub-basin, being classified as very high erosion. These high levels of erosion correspond to the area located around the open pit copper mine and the tailings dam region, showing a high degree of silting in the João Dias stream bed. With the 34-year temporal analysis in the Minas do Camaquã region, where 11 satellite images were compared over the years, the changes in the vegetation cover were analyzed, observing a 50% reduction in native vegetation from 1984 to 2019, a 35% increase in exposed soil and a 68% increase in countryside vegetation. The possible causes identified for the increase in silting up were the removal of the Permanent Preservation Areas, the construction of the reservoir and the presence of exposed soil on the banks of the stream and in the tailings dam located near the stream.

Keywords: USLE, GIS, Erosion, Mining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização de Caçapava do Sul, RS. _____	37
Figura 2 - Mapa de localização das Minas do Camaquã, RS. _____	38
Figura 3 - (A) Localização da BHRC no RS; (B) localização da SbHAJD na BHRC e (C) área da SbHAJD. _____	39
Figura 4 - As imagens (a), (b) e (c) se referem ao arroio João Dias localizado na região das Minas do Camaquã em Caçapava do Sul. _____	40
Figura 5 - Valores médios mensais de precipitação pluviométrica para o município de Caçapava do Sul, RS (período de 1976 – 2005). _____	42
Figura 6 - Fluxograma da metodologia utilizada. _____	45
Figura 7 - Fluxograma para a delimitação da Sub bacia Hidrográfica do arroio João Dias - SbHAJD. _____	46
Figura 8 - Localização das Estações Pluviométricas próximas a área da Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias. _____	47
Figura 9 - Software SAGA GIS utilizado na determinação do fator LS através do modelo digital de elevação da SbHAJD. _____	49
Figura 10 - Passo a passo utilizado no SAGA GIS para elaborar o mapa do fator topográfico - fator LS para a SbHAJD. _____	49
Figura 11 - Composição de bandas para imagem colorida da área da Sub bacia Hidrográfica do Arroio João Dias. _____	50
Figura 12 - Krigagem realizada no Surfer 16 para gerar o mapa de erosividade da chuva – Fator R, para a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias - SbHAJD. _____	53
Figura 13 - Mapa de erosividade da chuva – Fator R, para a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias (SbHAJD). _____	55
Figura 14 - Índices de precipitação e erosividade EI_{30} para a média multianual da estação Caçapava do Sul (1999 - 2019). _____	56
Figura 15 - Mapa de erodibilidade dos solos – Fator K, para a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias (SbHJD). _____	58
Figura 16 - Modelo Digital de elevação para a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias. _____	59
Figura 17 - Mapa de declividade da região da Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias. _____	61
Figura 18 - Mapa do fator topográfico – Fator LS, para a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias (SbHAJD). _____	62

Figura 19 - Mapa de uso e ocupação do solo para a SbHAJD, utilizando imagem LANDSAT 8 do ano de 2019. _____	64
Figura 20 - Mapa do fator de uso e manejo dos solos – Fator CP, para a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias (SbHAJD). _____	65
Figura 21 - Mapa de potencial perda de solo por erosão laminar para Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias. _____	68
Figura 22 - Quantificação do uso e ocupação do solo em % de área nas minas do Camaquã nos anos de 1984 e 2019. _____	71
Figura 23 - Mapas comparativos para a evolução do uso e ocupação do solo da área de estudo localizada nas Minas do Camaquã (1984 - 2019). _____	72
Figura 24 - Comparação entre as imagens de satélite dos anos de 1984 e 2019, na localidade das Minas do Camaquã. _____	74
Figura 25 - Região das Minas do Camaquã em Caçapava do Sul e sua respectiva perda de solo em ton/(ha.ano). _____	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações pluviométricas utilizadas para o cálculo da erosividade das chuvas na área de estudo. _____	47
Tabela 2 - Classe para interpretação do índice de erosividade anual. _____	48
Tabela 3 - Classificação da erodibilidade dos solos. _____	48
Tabela 4 - Valores do fator CP utilizados no trabalho. _____	51
Tabela 5 – Para a avaliação do uso e ocupação do solo foram utilizadas as seguintes imagens de satélite. _____	52
Tabela 6 - Valores de erosividade da chuva e classificação para área de Influência da SbHAJD. _____	54
Tabela 7 – Valores de erodibilidade dos solos e classificação para área de Influência da SbHAJD. _____	57
Tabela 8 - Distribuição das classes de declividade para a SbHAJD. _____	60
Tabela 9 - Distribuição do potencial erosivo na Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias. _____	68
Tabela 10 - Dados de uso e ocupação do solo para a região das Minas do Camaquã (1984 – 2019). _____	70

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Justificativa	15
1.2. Objetivo	16
1.2.1. Objetivo Geral	16
1.2.2. Objetivo específico	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. Assoreamento do leito de rios	17
2.1.1. Assoreamento no mundo	17
2.1.1.1. Rio Congo	17
2.1.1.2. Rio Amarelo	17
2.1.2. Assoreamento no Brasil	18
2.1.2.1. Região Hidrográfica Amazônica	18
2.1.2.2. Rio Paraíba do Sul	19
2.1.2.3. Rio Negro	19
2.1.2.4. Rio São Francisco	20
2.1.2.5. Baía de Antonina	20
2.1.2.6. Rio Taquari	20
2.2. Bacia hidrográfica	21
2.2.1. Fatores que influenciam nos processos hidrológicos da bacia hidrográfica	22
2.2.1.1. Forma da bacia	22
2.2.1.2. Declividade da bacia	22
2.2.1.3. Geomorfologia	23
2.3. Mineração	23
2.3.1. Barragens de rejeito	24
2.3.2. Cortinas Verdes	25
2.4. Processos erosivos	26
2.4.1. Erosão fluvial	26
2.4.2. Erosão hídrica do solo	27
2.5. Equação universal de perda de solos – EUPS	28

2.5.1.	Erosividade da Chuva – Fator R	29
2.5.2.	Erodibilidade do solo – Fator K	29
2.5.3.	Fator topográfico – Fator LS	31
2.5.4.	Uso, manejo e práticas conservacionistas – Fator CP	33
2.5.5.	Hidrossedimentologia	34
2.5.6.	Transporte e depósito de sedimentos	34
2.6.	Perda da biodiversidade	35
2.7.	Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos	35
3.	ÁREA DE ESTUDO	36
3.1.	Bacia hidrográfica em estudo	38
3.2.	Histórico da Área	40
3.3.	Características Climáticas	42
3.4.	Características da Vegetação	43
3.5.	Relevo	43
3.6.	Tipo de solo e formação geológica	44
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	44
4.1.	Aplicação da Equação Universal de Perda de Solos – EUPS	44
4.1.1.	Processamento de dados	44
4.1.2.	Erosividade da Chuva – Fator R	46
4.1.3.	Erodibilidade do solo – Fator K	48
4.1.4.	Fator topográfico – Fator LS	49
4.1.5.	Uso, manejo e práticas conservacionistas – Fator CP	50
4.1.6.	Integração dos Fatores da EUPS em SIG	51
4.2.	Evolução do Assoreamento	51
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1.	Equação Universal de Perda de Solos – EUPS	52
5.1.1.	Erosividade da Chuva – Fator R	52
5.1.2.	Erodibilidade do solo – Fator K	56
5.1.3.	Fator topográfico – Fator LS	59
5.1.4.	Uso, manejo e práticas conservacionistas – Fator CP	62

5.1.5. Índice de Erosão Laminar – Fator A _____	66
5.2. Evolução do assoreamento _____	69
5.3. Causas do assoreamento _____	73
6. CONCLUSÃO _____	76
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA _____	79

1. INTRODUÇÃO

A perda da cobertura florestal aumenta a quantidade e a velocidade do escoamento superficial com o conseqüente aumento da capacidade de arraste e transporte de material (SCHROEDER, 1996).

Nas bacias hidrográficas a mata ciliar é fundamental na criação e manutenção da vida nos rios, pois, mantém a proteção da área circundante ao corpo aquoso, evitando a erosão do solo e o assoreamento subsequente, bem como se apresenta como um importante protetor de biodiversidade (FILHO, 2014). A remoção da vegetação natural próximo a margens de rios, além de afetar a vida aquática e todo o ecossistema daquela região, pode acelerar o processo de erosão natural, além de reduzir a proteção natural contra enchentes e como consequência causa o assoreamento de recursos hídricos naturais ou artificiais (BARBOSA; PINTO; CASTRO, 2014). O assoreamento observado nos rios possui diferentes causas, mas a mais importante é o desmatamento (ZULLHUBER; SIQUEIRA, 2007).

A preocupação com a conservação dos recursos naturais vem se tornando cada vez mais importante, devido à má ocupação do solo e o uso inadequado dos recursos ambientais. As práticas de conservação do solo, os métodos de avaliação de impactos e de perdas de solo, são ferramentas de grande uso no planejamento agroambiental (DE MELLO; BUENO; PEREIRA, 2006). Segundo dados do IBGE (2002), o assoreamento está entre os quatro problemas ambientais mais frequentes no país. No Rio Grande do Sul este problema atinge principalmente a metade sul do estado, onde 58% é ocasionado pela erosão hídrica. Os problemas ligados à erosão dos solos – assoreamento e contaminação dos recursos hídricos – estão relacionados ao uso inadequado da terra; seja na agricultura, moradia, indústria, entre outros (SILVA, 2009).

O geoprocessamento, entendido como um conjunto de tecnologias utilizadas na coleta e tratamento, manipulação e produção de informações, tem permitido um melhor gerenciamento de grandes áreas com rapidez e precisão a custos bem mais baixos quando comparados a levantamentos feitos in loco (ALVES, 2000). Segundo Delatorre, Modesto e Piroli (2011), o uso de imagens de satélite possibilita o estudo e monitoramento tanto de fenômenos naturais (erosão do solo e inundações) como fenômenos antrópicos, no caso, os desmatamentos. Estes são registrados nas imagens de sensoriamento remoto, onde, por meio de análises, torna-se possível identificar, calcular e monitorar o crescimento de áreas desmatadas, áreas impermeabilizadas, assim como identificar áreas submetidas a processos de erosão (ZANATA et al., 2012).

Os estudos que buscam entender os fatores que contribuem para o assoreamento, visam, a análise da utilização da terra, por meio de imagens de satélites (de diferentes datas), em comparação com as taxas de assoreamento; aplicação de modelagem hidrológica buscando à quantificação da perda de solos na bacia hidrográfica; elaboração de cartas de fragilidade potencial e emergente à erosão e o desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), contendo de modo integrado todas as informações disponíveis para a região (PAULA; CUNICO; BOLDRINI, 2006).

A ocorrência de uma grande área assoreada nas margens do arroio João Dias desencadeou interesse a respeito do surgimento e evolução desse processo, tendo em vista que não foram encontrados na literatura estudos sobre o assoreamento de rios na região. Desse modo, o estudo buscou avaliar as principais áreas de ocorrência de assoreamento no leito fluvial, por meio de técnicas de geoprocessamento no arroio João Dias, município de Caçapava do Sul-RS.

1.1. Justificativa

A ocorrência de uma grande área assoreada nas margens do arroio João Dias, localizado próximo a barragem de rejeitos das Minas do Camaquã, município de Caçapava do Sul, RS, desencadeou interesse a respeito do surgimento e evolução desse processo, tendo em vista que não se sabe a data de início e quanto o processo está evoluindo com o passar dos anos. Esse arroio é o principal receptor dos efluentes e rejeitos da mineralização de cobre, os quais deságuam no alto curso do Rio Camaquã, sendo o mais importante eixo de drenagem do Escudo Sul-riograndense para a Laguna dos Patos. Desta forma, pode ocasionar impactos na qualidade da água tanto pela presença de cobre como de sedimentos, influenciando toda a bacia hidrográfica.

Não foram encontrados na literatura estudos sobre o assoreamento de rios na região. A maioria dos estudos referem-se somente ao assoreamento de barragens e, portanto, existe uma lacuna de conhecimento a ser preenchida, justificando assim, a importância desse trabalho. Além de contribuir para a bibliografia, espera-se a identificação dos danos causados no meio natural ao longo dos anos e servir de parâmetro para outros estudos que apresentam os mesmos problemas.

Dado que os impactos ambientais são cumulativos, é de extrema importância que sejam analisados, a fim de evitar consequências como a perda da biodiversidade, sendo este, um dos fatores ocasionados pelo assoreamento, tanto por causas naturais ou antrópicas através de

desmatamentos ou usos inadequados do solo. No Brasil, o Código Florestal (Lei 12.651/2012) se destaca entre as leis existentes que visam a proteção dos recursos naturais na propriedade privada. Esse determina áreas específicas a serem mantidas com cobertura vegetal natural, conhecidas como áreas de preservação permanente (APP).

As técnicas de geoprocessamento são relevantes, devido a utilização de ferramentas para auxiliar no tratamento das informações geográficas e por ser um método atual, utilizado na análise de dados ambientais que influenciam diretamente as tomadas de decisões em diversas áreas ligadas a engenharia, às ciências naturais e da Terra.

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar as principais áreas de ocorrência de assoreamento no leito fluvial, por meio de técnicas de geoprocessamento do arroio João Dias localizado no município de Caçapava do Sul, RS.

1.2.2. Objetivo específico

A fim de alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar mapas temáticos de declividade, uso e ocupação do solo, relevo, etc.
- Identificar as causas naturais e antrópicas que contribuem para o assoreamento do arroio João Dias.
- Verificar o grau de assoreamento presente no leito fluvial.
- Quantificar a evolução do assoreamento durante os últimos trinta anos.
- Avaliar os impactos ambientais gerados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Assoreamento do leito de rios

Segundo Ribeiro (2003), o assoreamento é o processo de acúmulo de sedimentos, lixo e matéria orgânica nos leitos dos rios, lagos e mares, que causa a redução de sua profundidade. Os processos de sedimentação e deposição ocorrem de forma natural, no entanto, são intensificados pela ação humana. Segundo Icold (1989), os principais fatores que afetam a produção de sedimentos na área de drenagem são: Precipitação; Tipo de solo e formação geológica; Cobertura do solo; Uso do solo; Topografia; Natureza da rede de drenagem; Escoamento superficial; Características dos sedimentos (granulométricas, mineralógicas etc.) e Hidráulica dos canais.

2.1.1. Assoreamento no mundo

Para uma contextualização adequada do estudo, serão citados alguns casos de assoreamento de rios pelo mundo.

2.1.1.1. Rio Congo

Localizado no centro da África, o rio Congo é o segundo maior rio do continente, após o rio Nilo e o segundo maior do mundo em volume de água (apenas ultrapassado pelo rio Amazonas), chegando a debitar um caudal de 67.000 m³/s de água no Oceano Atlântico, em uma estreita faixa territorial compartilhada pela República Democrática do Congo. Os principais problemas ambientais existentes na bacia são o desmatamento acelerado, a poluição causada por lançamento de lixo e esgotos domésticos não tratados, e a exaustão dos recursos pesqueiros (PINTO-COELHO; HAVENS, 2015).

2.1.1.2. Rio Amarelo

O esquema de regulação de sedimentos de água, a partir de 2002, é um esforço da engenharia sem precedentes para gerenciar o rio Amarelo, com o objetivo de mitigar o assoreamento tanto no canal mais baixo do rio quanto dentro do reservatório de Xiaolangdi (WANG et al., 2017). O rio Amarelo inferior (LYR) localizado na China, apresenta um alto

grau de sedimentação, tornando-o vulnerável e perigoso, pois é fácil assorear, violar e migrar os seus cursos, a inclinação contínua do LYR por sedimentos pesados é um problema não resolvido (ZHOU; ZHANG, 2012). Desde o Holoceno, enquanto a Terra esfriava e se intensificava pelas atividades humanas, a forte perda de solo do LoessPlateau levou a extensão e o aumento do LYR (QIAN; YE, 1993). Logicamente, o assoreamento do LYR é causado por sedimentos pesados, ou seja, por sedimentos grossos (ZHOU; ZHANG, 2012). Chien et al. (1980) provou que a deposição do LYR era causada pelas chamadas partículas nocivas de $d > 0,05$ mm, provenientes de poucos contribuintes como os rios Huangpu, Kuye, Wuding e outros no rio Amarelo. O reconhecimento de sedimentos grosseiros reduziu a escala de conservação do solo e foi amplamente aceito como base racional na conservação do meio rio Amarelo (MYR), a preservação desses sedimentos em suas áreas de origem é a melhor maneira de mitigar o assoreamento do LYR (ZHOU; ZHANG, 2012).

2.1.2. Assoreamento no Brasil

2.1.2.1. Região Hidrográfica Amazônica

A bacia do rio Amazonas, conhecida como a maior bacia hidrográfica do mundo, vem sendo estudada por diversos pesquisadores motivados pela preocupação com o desmatamento da floresta amazônica, com a qualidade e quantidade dos recursos hídricos e com os possíveis impactos sobre o clima local e global (MELO, 2012). A Região Hidrográfica Amazônica representa cerca de 40% do território brasileiro e possui mais de 60% de toda a disponibilidade hídrica do País (BRASIL, 2006). No período de 2000 a 2001, aproximadamente 70% do desmatamento na Amazônia Legal ocorreu em cerca de 50 municípios nos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia, que representam em torno de 15,7% da área total da região, correspondendo às Sub-regiões Hidrográficas: Madeira, Tapajós e Xingu (BRASIL, 2002). Entre alguns municípios nessas sub-regiões, a área desmatada chega a 80-90% de sua superfície total (ANA, 2005).

O desmatamento das margens, em especial nas áreas de várzea, pode levar a um sério comprometimento ambiental, muito provavelmente necessitando de um monitoramento específico (FILIZOLA, 2003). Associa-se às áreas de várzea a existência de grandes zonas naturais de sedimentação na bacia, em especial na porção central, com taxas de deposição da ordem de 200 milhões de toneladas por ano. Têm-se então comprometimentos, potenciais, ainda maiores no tocante à navegação (MEADE et al., 1985). A região hidrográfica da Amazônia,

através do desmatamento pode vir a sofrer efeitos danosos ao meio aquático, ligados à erosão, assoreamento, mudanças drásticas na geomorfologia fluvial, entre outros problemas ambientais (BRASIL, 2006).

2.1.2.2. Rio Paraíba do Sul

O rio Paraíba do Sul resulta da convergência dos rios Paraíba e Paraitinga, que nascem no estado de São Paulo e seus cursos d'água percorrem a região de Minas Gerais até desaguar no Oceano Atlântico, até Rio de Janeiro em São João da Barra (ANA, 2019). A implantação de reservatórios ao longo da bacia do rio Paraíba do Sul trouxe impactos sobre as atividades econômicas como inundação e desorganização de atividades agropecuárias, pesqueiras, industriais, de serviços e comércio (CEIVAP, 2007). Observa-se também, impactos gerados pelos efluentes industriais, como o destino final de esgotos e impactos ambientais como, a erosão do solo, assoreamento e desmatamento das margens (INEA, 2013).

A cobertura vegetal é essencial para a interceptação das águas pluviais, para a regularização das vazões dos rios e para a redução de processos erosivos (COELHO; ANTUNES, 2012). Em razão das diversas formas de ocupação e uso do solo, associadas com o desmatamento nas margens da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, a vegetação encontra-se bastante alterada o que resulta nos processos de erosão e assoreamento do rio (INEA, 2013). O risco de diminuição da produção de água na Bacia, aumenta significativamente com o desmatamento das áreas próximas as cabeceiras de rios, resultando na diminuição acentuada na disponibilidade hídrica (SOUZA, 2004).

2.1.2.3. Rio Negro

O rio Negro é um dos três maiores rios do mundo. Passa por seu leito mais água do que a que corre em todos os rios da Europa juntos. Um dos principais afluentes do Amazonas, responsável por 15% da água que ele despeja no Atlântico, o Negro drena uma área correspondente a 10% dos 7 milhões de quilômetros quadrados da Bacia Amazônica (ZEIDEMANN, 2001). Na Bacia do rio Negro o desmatamento representa uma ameaça, pois aumenta a chance de erosão no terreno, causando deposição de sedimentos nas depressões e planícies, alterando os padrões de fluxo da água e reduzindo o número de espécies da fauna e flora do local (BACHEGA et al., 2009).

2.1.2.4. Rio São Francisco

O rio São Francisco, conhecido como rio da Integração Nacional, margeia as cidades de Petrolina-PE e Juazeiro-BA trazendo um volume imensurável de água doce para a região semiárida, transformando-a em um oásis em pleno sertão nordestino, no entanto, encontra-se em condições lamentáveis de degradação ambiental, seu leito fluvial está assoreado e suas margens, com solo bastante erodido pela devastação da mata ciliar (SOUSA et al., 2013).

2.1.2.5. Baía de Antonina

O Porto de Antonina está localizado na margem esquerda da Baía de Antonina, distante cerca de 17,7 quilômetros do Porto de Paranaguá, situado nos domínios do município de Antonina, no Estado do Paraná (VALENTE, 2013). Nos últimos 30 anos a Baía de Antonina assoreou 6 metros mesmo assim não houve qualquer interesse de autoridades portuárias (governamental e privada) em estudar a origem deste assoreamento (BOLDRINI et al., 2005). O processo de assoreamento demonstra-se como sendo natural, sobretudo, em áreas estuarinas e de baía, no entanto, as atividades antrópicas podem desequilibrar a dinâmica natural, reduzindo a vazão cursos d'água ou ampliado a quantidade de sedimentos a serem transportados, intensificando o assoreamento (PAULA et al., 2006).

2.1.2.6. Rio Taquari

A bacia do Rio Taquari está localizada na Região Nordeste do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo uma área de 26,428Km², e equivale a 9% do território estadual, a mesma faz limite com a bacia do Jacuí a oeste e sul, bacia Caí e bacia dos Sinos a leste (CAPRA, 2014). Devido ao assoreamento do leito fluvial do rio Taquari a planície de inundação adjacente perdeu os pulsos de inundação, e extensas áreas permanentemente inundadas passaram a funcionar ecologicamente como extensos lagos oligotróficos (pobres em nutrientes). Esse assoreamento do leito do rio tem levado a mudanças em seu curso, o que pode ter consequências adversas para a vida dos peixes e particularmente para a produção pesqueira (BRASIL, 2004).

2.2. Bacia hidrográfica

Na perspectiva de um estudo hidrológico, o conceito de bacia hidrográfica (BH) envolve o conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes e representa a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes (PIRES; SANTOS; DEL PRETE, 2002). O conhecimento da rede de drenagem pode indicar se a água deixa a bacia com menor ou maior velocidade, verificando o grau de desenvolvimento do sistema, fornecendo informações sobre a eficiência da drenagem na bacia (DE JESUS, 2012).

Segundo Barrella et al. (2000), a BH é formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático. O conceito de sub-bacia é o mesmo de bacia hidrográfica, acrescida do enfoque de que o deságue se dá diretamente em outro rio, essa possui dimensões que variam entre 20.000 a 300.000ha. Já nas microbacias a dimensão superficial é menor que 20.000ha (DILL et al., 2004).

O levantamento das características ambientais que compõem uma bacia hidrográfica é um instrumento de pesquisa que permite conhecer a sua estrutura e funcionamento. Os resultados desses estudos são bons indicadores do potencial de recursos naturais que a bacia pode oferecer, bem como o apontamento das suas fragilidades (ROSS, 2009). Estas características, estão relacionadas aos aspectos geológicos, às formas de relevo, aos processos geomorfológicos e às características hidrológicas e climáticas, assim como à biota e à ocupação da Terra (TORRES; NETO; MENEZES, 2012). O relevo é apenas um dos elementos que compõe a BH e está relacionado com as rochas que o sustenta, com o clima que o esculpe e com os solos que o recobre, modificando-se continuamente, influenciando e sendo influenciado (ROSS et al., 2009).

Os impactos de maior ocorrência em BH estão associados aos problemas de erosão dos solos, sedimentação de canais navegáveis, enchentes, perda da qualidade da água e do pescado e aumento do risco de extinção de elementos da fauna e flora (PIRES et al., 2002).

Para enfrentar os problemas que envolvem os recursos hídricos, a Política Nacional dos Recursos Hídricos – Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997 – recomenda a utilização de uma abordagem integrada envolvendo a bacia de drenagem e o conceito de ecossistema, isto é, uma avaliação significativa de como ocorrem as relações entre meios bióticos e abióticos de uma bacia e seus recursos hídricos (LORANDI; CANÇADO, 2002).

2.2.1. Fatores que influenciam nos processos hidrológicos da bacia hidrográfica

2.2.1.1. Forma da bacia

Existem vários índices utilizados para se determinar a forma das bacias, procurando relacioná-las com formas geométricas conhecidas, circular ou elíptica. O coeficiente de compactidade (K_c), é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia, é sempre um valor > 1 (CARVALHO; SILVA, 2006). Quanto menor o K_c , mais circular é a bacia, e tem maior tendência de haver picos de enchente, pois, maior será a possibilidade de toda a área estar contribuindo de uma só vez (VILLELA; MATTOS, 1975).

O fator de forma (K_f), é a razão entre a largura média da bacia e o comprimento do eixo da bacia (da foz ao ponto mais longínquo da área). Quanto menor o K_f , mais comprida é a bacia e portanto, menos sujeita a picos de enchentes, pois o tempo de concentração (T_c) é maior e, além disso, fica difícil uma mesma chuva intensa abranger toda a bacia (CARVALHO; SILVA, 2006).

O tempo de concentração (T_c) é definido como o tempo, a partir da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua na seção em estudo ou, em outras palavras, tempo que a água leva dos limites da bacia até o exutório. Com esses dados é possível desenvolver trabalhos de previsão de enchentes e prevenir que possíveis desastres ambientais aconteçam (DE JESUS, 2012). Na bacia circular, toda a água escoada tende a alcançar a saída da bacia ao mesmo tempo, já uma bacia elíptica apresenta a saída ou exutório na ponta do maior eixo e, se a área for igual à da bacia circular, o escoamento será mais distribuído no tempo, produzindo, portanto uma enchente menor (SCHMITT; MOREIRA, 2015).

2.2.1.2. Declividade da bacia

Quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento, menor o tempo de concentração e maior as perspectivas de picos de enchentes. A magnitude desses picos e a infiltração da água, trazem como consequência um maior ou menor grau de erosão o que depende da declividade média da bacia (determina a maior ou menor velocidade do escoamento superficial), associada à cobertura vegetal, tipo de solo e tipo de uso da terra (CARVALHO; SILVA, 2006).

2.2.1.3. Geomorfologia

Cunha (1998) considera que a bacia hidrográfica é uma unidade geomorfológica importante por agrupar e interagir com vários fatores, tais como: bióticos, abióticos, econômicos e sociais. Segundo Suguio e Bigarella (1990), os elementos físicos ambientais: climático, recobrimento florestal, capacidade de infiltração do solo, influência geológica e geomorfológica influenciam diretamente no condicionamento do escoamento superficial (deflúvio) em uma BH, indicando a quantidade total das águas das precipitações que alcançam o canal fluvial. O estudo da geomorfologia permite identificar as principais formas e relevo de diferentes tamanhos, sua formação e inter-relação com os demais componentes da natureza, e, portanto, são dinâmicos (ROSS, 2011). A geomorfologia fluvial engloba o estudo dos cursos de água e o das bacias hidrográficas e focaliza suas questões nos processos que dão origem às formas relacionadas ao escoamento dos rios, os quais são responsáveis pelo transporte de energia e matéria (MENDONÇA, 2013).

A caracterização morfométrica de uma BH é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões associadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO, 2007). O reconhecimento da dinâmica morfológica constitui-se de grande relevância para a implementação de projetos ligados a várias ações como obras viárias, exploração de recursos naturais, lazer e turismo (GIRÃO; CORREA, 2004).

2.3. Mineração

A principal forma de extração mineral no Brasil ocorre por meio das minas a céu aberto, iniciando com o desmatamento da região a ser lavrada e a retirada de todo o solo fértil (MILANEZ, 2017). A extração de minerais metálicos é uma das atividades mais impactantes no meio ambiente (FIGUEIREDO, 2000). De acordo com Tonietto e Silva (2011), as reservas de minérios medidas e indicadas no Brasil, totalizam 28,9 bilhões de toneladas, sendo que, desses, 67% está localizado no estado de Minas Gerais. Pelas estatísticas do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2014), Minas Gerais se situa como o maior estado produtor de minério do Brasil, com 47,01% da produção nacional.

Os principais impactos ambientais decorrentes da mineração são os desmatamentos e queimadas; alteração nos aspectos qualitativos e no regime hidrológico dos cursos de água; queima de mercúrio metálico ao ar livre; desencadeamento dos processos erosivos; mortalidade

da ictiofauna; fuga de animais silvestres; poluição química provocada pelo mercúrio metálico na hidrosfera, biosfera e na atmosfera (IPT, 1992).

Um dos impactos sobre os recursos hídricos está associados à extração mineral, referindo-se ao rompimento de barragens de rejeito (MILANEZ, 2017). Considera-se impacto ambiental qualquer alteração as propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades econômicas que afetem a saúde, segurança, bem estar da população e o meio ambiente, conforme a Resolução n.º 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1986). As consequências desses rompimentos para os recursos hídricos são as mais diversas: contaminação dos rios por metais, assoreamento, elevada mortalidade de peixes, destruição de mata ciliar e interrupção de sistemas de abastecimento públicos (ZONTA; TROCATE, 2016).

2.3.1. Barragens de rejeito

As barragens de rejeitos são estruturas construídas com a finalidade de armazenar materiais provenientes da lavra e beneficiamento de minérios, tradicionalmente denominados rejeitos (D'AGOSTINO, 2008). Quando esses são depositados podem ser muito plásticos, tradicionalmente denominados de lamas, compostos essencialmente por material argiloso, ou ainda, materiais não plásticos tais como siltes e areias que apresentam granulometria mais grossa e são também denominados de rejeitos granulares (ESPÓSITO, 2000).

Diferente de solos naturais, os rejeitos são produtos do tratamento físico e químico realizado artificialmente sobre solos e rochas, portanto, são materiais oriundos de processos de britagem e moagem (LOPES, 2000). Os rejeitos resultantes das diversas etapas do beneficiamento – lavagem, peneiramento, deslamagem, concentração gravítica e magnética, flotação, lixiviação, dentre outras – são constituídos em proporções variadas de gases, líquidos e sólidos (SOARES, 2010).

Existem três métodos básicos para o alteamento de uma barragem de contenção de rejeitos, método de montante, jusante e da linha de centro (D'AGOSTINO, 2008). O método de montante é o mais utilizado pelas mineradoras, mas, apresenta um baixo controle construtivo tornando-se crítico principalmente em relação à segurança (ARAÚJO, 2006). Segundo Martin e McRobert (1999) o método de alteamento à montante representa um desafio no âmbito geotécnico devido às tensões induzidas, potencial de liquefação e não consolidação do material utilizado como fundação.

O método da linha de jusante desloca o eixo de construção na direção oposta ao do lago de decantação, nesse caso, o dique deve ser dotado de drenagem interna (filtro vertical e tapete drenante) e o talude a montante é impermeabilizado com argila ou materiais sintéticos (THOMÉ; PASSINI, 2018). Dentre as características atribuídas por Soares (2010), as vantagens desse método são, maior segurança; menor probabilidade de entubamento e de rupturas horizontais, em consequência da maior resistência ao cisalhamento; maior resistência a vibrações provocadas por sismos naturais e vibrações em razão do emprego de explosivos nas frentes de lavra.

O método da linha de centro consiste de construção e alteamento do barramento tanto à montante quanto à jusante, acompanhando um eixo vertical, chamado de linha de centro, sobre o rejeito depositado a montante e sobre o próprio barramento à jusante (CARDOZO; PIMENTA; ZINGANO, 2016). Esse é um método intermediário que tenta minimizar as desvantagens entre o método de montante e o de jusante (PASSOS, 2009).

Segundo Soares (2010), o método utilizado deve ser o mais adequado às características do projeto, topografia, hidrologia, geologia, tipos e propriedades do subsolo, granulometria e concentração dos rejeitos, velocidade de deposição e variação da capacidade de armazenamento do reservatório com o aumento da altura. É importante registrar que quase a metade dos acidentes com barragens ocorridos no final do século XX e início do século XXI envolveu estruturas alteadas com a utilização do método para montante (THOMÉ; PASSINI, 2018).

2.3.2. Cortinas Verdes

As cortinas verdes são utilizadas como ferramentas de revegetação de áreas impactadas por agentes antropogênicos. São classificadas em dois grupos de acordo com o objetivo: Tratamento paisagístico e tratamento de grandes áreas mineradas (FIGUEIREDO, 2000).

A vegetação arbórea funciona como controlador da erosão, sendo uma barreira física ao transporte do material, proporcionando uma estrutura mais sólida ao solo, visto que o sistema radicular ancora o material particulado (BRUCH, 2014). Também diminui a velocidade de impacto da precipitação pluviométrica e eleva a porosidade da superfície, além de recompor a paisagem perturbada e reiniciar a cadeia de sucessão biológica (KOPEZINSKI, 2000).

2.4. Processos erosivos

O processo erosivo caracteriza-se pela interação ou não de fatores controladores, os quais determinam as variações nas taxas de erosão. As atividades antrópicas existentes na região podem alterar esses fatores e apressar ou retardar os processos erosivos (LORANDI; CANÇADO, 2002). Os fatores controladores, segundo Guerra & Cunha (1998), podem ser subdivididos em erosividade (causada pela chuva), erodibilidade (proporcionada pela característica do solo), características das encostas e natureza da cobertura vegetal. Segundo Guerra (2008), a erosão dos solos é desencadeada pela atuação conjunta dos elementos constituintes da encosta, comprimento, declividade e forma, aliados aos outros componentes da paisagem. Esses determinam a velocidade de escoamento superficial, caracterizando o potencial de carregamento em termos de tamanho e quantidade de material pela erosão (TOMAZONI et al., 2005).

Os processos erosivos provocam vários problemas em cursos d'água e reservatórios, tais como, aumento dos custos de tratamento de água, desequilíbrio do balanço de oxigênio dissolvido na água, danos no crescimento e desenvolvimento das espécies aquáticas e diminuição da capacidade de armazenamento dos reservatórios (BARROSO; SILVA, 1992). Os problemas decorrentes da erosão dos solos e do assoreamento estão relacionados com a abertura e uso inadequado de áreas voltadas à agricultura e à pecuária, incluindo a destruição de áreas de preservação permanente (matas de encosta e matas ciliares), além da ampliação de áreas de expansão urbana, outra causa não menos importante, porém mais localizada, é a abertura de áreas para mineração (PIRES et al., 2002).

2.4.1. Erosão fluvial

A erosão fluvial é causada pelas águas dos rios que provoca desgaste nos planaltos, dentre outros relevos e removem porções do solo das margens dos rios, provocando um deslizamento de terra, causando o aumento da largura do canal (CASADO et al. 2002). Esse tipo de erosão pode ser intensificado pela ação antrópica com a retirada da mata ciliar, diminuindo a rugosidade do canal, resultando, portanto, no aumento da velocidade de escoamento e no potencial erosivo do rio (ILHA, 2014).

Os processos erosivos nas margens fluviais, são desencadeados pela ação conjunta de vários fatores, entre eles destacam-se: a altura e declividade dos barrancos, a textura e estrutura do solo que compõem as margens, o clima predominante e a geometria hidráulica

(LABADESSA, 2014), que segundo Cunha (1998) é a relação entre vazão, velocidade do fluxo, forma do canal, carga de sedimentos transportados e declividade do perfil longitudinal. Para Beltrame (1994) dentre as propriedades físicas do solo que influenciam seu comportamento diante dos processos erosivos, a textura é de grande importância.

2.4.2. Erosão hídrica do solo

O processo de erosão pode ser definido como a desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas (SALOMÃO e IWASA, 1995). O principal agente causador desse fenômeno é a chuva. A erosão pela chuva é uma das mais graves e devastadoras, pois essa carrega sedimentos lentamente deixando o solo exposto e improdutivo (POLIDORIO; AUGUSTO, 2014). O potencial de erosão hídrica de determinado local ou região pode ser caracterizado por meio da avaliação da erosividade das chuvas e sua distribuição temporal (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003). Sendo essa mais evidente em regiões de alta precipitação pluviométrica, em área com solo exposto sem cobertura vegetal, intensificada em locais com declividade acentuada (RIGHS; SILVA, 2009).

A erosão hídrica é a principal causa de degradação de terras agrícolas e consiste basicamente do desprendimento e arraste das partículas do solo (SILVA et al., 2009). O arraste de partículas da camada arável de solos agricultáveis pode reduzir sua capacidade produtiva em razão da perda da camada de solo melhor formada e com maior teor de matéria orgânica (EVANGELISTA et al., 2006). Albuquerque et al. (2002) verificou que, à medida em que o manejo do solo, nas diversas atividades humanas, elimina a cobertura vegetal, sua superfície fica exposta à ação do impacto das gotas de chuva e da enxurrada. Desta forma, tanto o impacto das gotas de chuva quanto à enxurrada contribuem para modificar as condições físicas da superfície do solo, alterando a rugosidade superficial, a porosidade e a taxa de infiltração (DA SILVA et al., 2009).

A erosão hídrica passa por três processos fundamentais, desagregação, transporte e deposição das partículas de solo (TAVARES et al., 2008). Estas se classificam em laminar e linear. A erosão laminar ocorre quando o escoamento das águas pluviais é caracterizado de forma homogênea na superfície dos solos, sem formar canais definidos, já a erosão linear forma canais definidos, dando origem a três tipos de erosão, sendo elas, em sulcos, as ravinas e as voçorocas (ILHA, 2014).

Segundo Carvalho, Lima e Mortari (2001), a erosão em sulcos é um processo que ocorre em campos inclinados onde numerosos canais aleatórios se formam com apenas alguns

centímetros de profundidade, ocorre principalmente em solos recentemente cultivados. O ravinamento corresponde ao canal de escoamento pluvial concentrado, apresentando feições erosionais com traçado bem definido, a cada ano o canal se aprofunda devido à erosão das enxurradas podendo atingir até alguns metros de profundidade (MAGALHÃES, 2001). As voçorocas formam-se devido à variação da resistência à erosão, que em geral é devida a pequenas mudanças na elevação ou declividade dos terrenos (FONSECA, 2014). Esse é o estágio mais avançado de erosão acelerada correspondendo à passagem gradual do processo de ravinamento, até atingir o lençol freático, com o aparecimento de surgências d'água (MAGALHÃES, 2001).

2.5. Equação universal de perda de solos – EUPS

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) ou Universal Soil Loss Equation (USLE) (WISCHMEIER e SMITH, 1978), é um modelo empírico para estimar a perda média anual de solo por erosão laminar e considera fatores naturais e antrópicos, os quais podem ser estimados e especializados a partir das geotecnologias.

A aplicação da EUPS em escalas regionais é válida para estudos qualitativos sobre erosão hídrica laminar, fornecendo uma estimativa da espacialização de áreas com maior ou menor susceptibilidade erosiva (BARBOSA et al., 2016). Deste modo, é amplamente empregada na identificação de áreas potencialmente erosivas, em uma abordagem qualitativa, com o intuito de subsidiar o planejamento ambiental (BORGES, 2009). A EUPS caracteriza-se por estabelecer estimativas de perda média anual de solo por erosão laminar (KINNEL, 2010).

Conforme proposto por Wischmeier & Smith (1978), o modelo integra seis fatores do processo erosivo (Equação 1).

$$A = R \cdot K \cdot (LS) \cdot (CP) \quad (1)$$

Onde:

A = perda média anual de solo por unidade de área (ton/ha.ano);

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

K = erodibilidade do solo (ton.h/MJ.mm);

L = comprimento da vertente;

S = declividade da vertente;

C = uso e manejo do solo; e

P = práticas conservacionistas.

2.5.1. Erosividade da Chuva – Fator R

O fator erosividade (R) é o índice de erosão pelas chuvas, que expressa a capacidade de uma chuva erodir um solo desprotegido (WISCHMEIER, 1959). O processo de erosividade inicia-se pelo impacto direto da gota de chuva sobre o solo que desagregam as partículas, ou seja, os agregados. Além disso a ruptura desses agregados sela a superfície do solo e com isso diminui a taxa de infiltração, tendendo a formação de poças que poderão dar início ao escoamento superficial, influenciando no aumento da perda de solo (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 1999).

Conforme Lombardi Neto (1977) as equações que determinam o fator R são:

$$EI_{30} = 89,823 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,759} \quad (2)$$

Onde:

EI_{30} - índice de erosividade média mensal (MJ.mm/ha/h) para 30 minutos de chuva,

r - precipitação média mensal (mm);

P - precipitação média anual (mm).

Para determinação de R, soma-se o resultado dos valores mensais do índice de erosividade em cada estação pluviométrica:

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI_{30j} \quad (3)$$

Onde:

R = Erosividade anual, em (MJ.mm)/(ha.h.ano);

2.5.2. Erodibilidade do solo – Fator K

O fator de erodibilidade do solo (K) representa o efeito das propriedades e características do perfil do solo na perda de solo. K está fortemente relacionado às propriedades físicas do

solo, desempenha um papel importante nas estratégias de conservação do solo (SHABANI; KUMAR; ESMAEILI, 2014) e reflete a taxa de perda de solo por índice de erosividade das chuvas (PARVEEN; KUMAR, 2012). Estas propriedades estão relacionadas a infiltração, a permeabilidade, a capacidade total de armazenamento, a resistência as forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento (PAIVA; PAIVA, 2003). Essa pode ser determinada de forma direta, pela razão entre as perdas de solo e a erosividade das chuvas, sob chuva natural ou chuva simulada, e também por meio de análise de regressão linear simples entre essas duas variáveis (WISCHMEIER; SMITH, 1978). De forma indireta, a erodibilidade pode ser estimada por meio da representação gráfica com base na combinação dos atributos físicos dos solos (textura, estrutura e permeabilidade), com porcentagem de matéria orgânica (WISCHMEIER; JOHNSON; CROSS, 1971). Todas as equações para medir o fator K estão relacionadas à textura do solo, matéria orgânica do solo e porcentagem de areia, silte e argila no solo (MILLWARD; MERSEY, 1999).

Segundo Williams (1975), os cálculos para a erodibilidade do solo em bacias hidrográficas seguem as seguintes equações:

$$K = 0,1317 * Areia * f_{Argila-Silte} * CarbOrg * AreiaFina \quad (4)$$

$$Areia = 0,2 + 0,3. e^{[-0,0256ms(1-\frac{msilt}{100})]} \quad (5)$$

$$Argila - silte = (\frac{msilt}{mc + msilt})^{0,3} \quad (6)$$

$$CarbOrg = [1 - \frac{0,25. orgC}{orgC + e^{[3,72-2,95orgC]}}] \quad (7)$$

$$AreiaFina = [1 - \frac{0,7. (\frac{ms}{100})}{1 - \frac{ms}{100} + e^{[-5,51+22,9.(1+\frac{ms}{100})]}}] \quad (8)$$

Onde:

K = Fator de erodibilidade do solo (ton.h)/(MJ.mm);

Areia = Quantidade de areia;

(Argila-Silte) = Quantidade de (argila - silte);

CarbOrg = Quantidade de carbono orgânico;

AreiaFina = Quantidade de areia fina;

ms = Areia (%);

mc = Argila (%)

msilt = Lodo (%);

orgC = Carbono orgânico (%).

2.5.3. Fator topográfico – Fator LS

A intensidade da erosão hídrica é afetada tanto pela distância ao longo da qual se processa o escoamento superficial quanto pela declividade do terreno, representadas na USLE pelos fatores L e S, respectivamente (GALDINO; WEILL, 2011). Para facilitar a aplicação da EUPS, a maioria dos autores que trabalham com esse método recomendam a utilização dos fatores L e S combinados, uma vez que comprimento de rampa e declividade estão diretamente relacionados à topografia (PRADO; NÓBREGA, 2005). Esse fator representa a relação entre as perdas de solo em uma área com declividade e comprimento de encosta quaisquer e as perdas que ocorrem em uma parcela unitária padrão, com 22,1 m de comprimento e 9% de declividade (WISHMEIER e SMITH, 1965 e 1978).

O Fator L pode se caracterizar como a distância do ponto de origem do caimento da água até o ponto em que ela decresce, promovendo o início de uma sedimentação em rupturas de uma vertente junto a vales, ou quando vai de encontro a um canal definido (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Esse desempenha influência significativa no processo erosivo, principalmente pela interferência do comprimento da vertente na velocidade de escoamento superficial, e, por conseguinte na intensidade e quantidade de material transportado (PEREIRA, 2014).

O Cálculo do fator “LS”, baseia-se nas seguintes expressões de McCool et al. (1989).

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad (9)$$

Em que:

L = Comprimento do declive (adimensional);

λ = Comprimento da encosta em metros;

m = Constante dependente da declividade da encosta.

O comprimento da encosta, λ , foi definida por Wischemeier e Smith (1965) como a distância do ponto de origem do fluxo superficial até o ponto onde a declividade da encosta decresça o suficiente para que inicie a deposição, ou então que o fluxo se concentre em um canal definido.

Para o cálculo da constante “m” na USLE empregou a metodologia de Foster et al. (1977), cuja expressão é:

$$m = \frac{\beta}{(1 + \beta)} \quad (10)$$

Onde:

β = Pendente a nível de pixel (deve ser expressa em radianos).

McCool et al. (1989) computou valores de “ β ” para condições em que o solo é moderadamente susceptível tanto para erosão em sulcos quanto entre sulcos, através da equação:

$$\beta = \frac{\left(\frac{\text{sen}\theta}{0,0896}\right)}{[3.(\text{sen}\theta)^{0,8} + 0,56]} \quad (11)$$

Em que:

θ = declividade da encosta, em graus.

O fator topográfico desenvolvido para a BH foi calculado através das equações propostas por Desmet e Govers (1996) e Nearing (1997).

$$L_{(i,j)} = \frac{[A_{(i,j)} + D^2]^{(m+1)} - A_{(i,j)}^{m+1}}{[x^m D^{(m+2)} (22,13)^m]} \quad (12)$$

Onde:

$L_{i,j}$: fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j);

$A_{i,j}$: área de contribuição da célula em coordenadas (i,j) (m^2);

D: tamanho do pixel;

x: coeficiente função do aspecto para grade de célula em coordenadas (i,j)

m: coeficiente função da declividade para grade de célula com coordenada (i,j). Sendo que o coeficiente “m” é obtido a partir de determinadas classes de declividade: (a) $m = 0,5$ se declividade for $> 5\%$; (b) $m = 0,4$ para intervalo de 3 a 5%; (c) $m = 0,3$ para intervalo de 1 a 3 % e (d) $m = 0,2$ para declividade $< 1\%$.

Quando:

$$\tan\beta_{(i,j)} < 0,09 \quad S_{(i,j)} = 10,8\text{sen}\beta_{(i,j)} + 0,03 \quad (13)$$

$$\tan\beta_{(i,j)} \geq 0,09 \quad S_{(i,j)} = 16,8\text{sen}\beta_{(i,j)} - 0,5 \quad (14)$$

Onde:

S = grau de declive (adimensional).

2.5.4. Uso, manejo e práticas conservacionistas – Fator CP

O manejo dos solos e as práticas conservacionistas possuem grande importância para o equilíbrio ambiental. Em áreas que possuem as mesmas condições fisiográficas, quando mantida constante as variáveis influentes na erosão, o manejo pode ser o fator determinante para o desencadeamento dos processos erosivos (PEREIRA, 2014). A cobertura vegetal é um escudo natural que protege o solo (TOMAZONI et al.,2005).

Os valores para C e P estão diretamente relacionados ao uso da terra e cobertura vegetal da área de estudo, podendo variar ao longo dos anos como consequência das mudanças na forma e intensidade de uso do solo (BORGES, 2009). Segundo Stein et al. (1987) é somente necessário que esses fatores sejam trabalhados separadamente quando o objetivo do trabalho é definir formas mais adequadas de produção agrícola para a redução dos impactos gerados sobre o meio físico. As perdas de solo são reguladas de acordo com a capacidade de proteção que cada cultura oferece (TOMAZONI et al.,2005). Nas pequenas e médias propriedades rurais é habitual existir vários tipos de usos do terreno; lavoura, pastagem, eucalipto e etc. Por incidirem lado a lado, há confusão na classificação de imagens de média resolução, em função do problema de pixels misturados (LANZA, 2011).

2.5.5. Hidrossedimentologia

Hidrossedimentologia é o estudo dos processos relacionados à dinâmica da água e dos sedimentos (MENDONÇA, 2013). Segundo Vestena (2008), o Ciclo Hidrossedimentológico envolve o deslocamento, o transporte e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia hidrográfica, sendo este intimamente ligado ao ciclo hidrológico.

Segundo Carvalho (1994), sedimento é a partícula derivada da fragmentação da rocha, por processos físicos ou químicos que é transportada pela água ou pelo vento do lugar de origem aos rios e aos locais de deposição. Os processos responsáveis pela sedimentação são muito complexos, abrangendo erosão, transporte dos sedimentos nos cursos d'água, deposição do sedimento e sua compactação (MENDONÇA, 2013).

O conhecimento sobre a distribuição granulométrica de sedimentos do leito de rios é fundamental para o uso de métodos indiretos de cálculo da descarga sólida total em uma seção transversal de determinado curso d'água, bem como para outros estudos hidrossedimentológicos (LIMA; SILVA; CARVALHO, 2006).

2.5.6. Transporte e depósito de sedimentos

A origem dos sedimentos está relacionada com o ciclo das rochas, é formado a partir de rochas ígneas ou sedimentares que são degradadas pelos processos de intemperismo e transportadas por processos erosivos (CARVALHO et al., 2000). Geralmente são carregados por bacias sedimentares até os rios, que por sua vez realizam várias etapas de transporte e deposição das partículas (GUERRA, 1980). Os rios exercem fundamental papel na definição do modelado do relevo, agindo como receptores e transportadores dos sedimentos provenientes de seu alto curso, que se depositam ao longo de seu trajeto, definindo assim novas feições geomorfológicas e promovendo muitas vezes a construção de ambientes naturais de deposição como as planícies (MAIA; CAVALCANTE, 2004).

Os estudos acerca da descarga sólida dos corpos aquáticos são uma importante ferramenta para a caracterização dos mesmos, uma vez que os sedimentos interferem diretamente na qualidade e quantidade de água, pois, como veículos de transporte de microrganismos, podem conter partículas tóxicas e, sobretudo, intensificar o assoreamento dos rios, evidenciando importantes processos e estágios de degradação do meio ambiente (MARCONDES, 2011).

Guimarães (2009) afirma que os fenômenos relacionados com os sedimentos abrangem a erosão, deslocamento das partículas por enxurradas ou outros meios até os rios, transporte de sedimentos nos cursos d'água, deposição do sedimento na calha dos rios, lagos e reservatórios e sua compactação. O excesso de carga de sedimentos, por outro lado, pode causar impactos ambientais negativos, como depleção do campo de luz subaquático, eutrofização, assoreamento de estuários e perda de habitat e biodiversidade (CARTER, 1995). Além disso, o transporte de sedimentos em suspensão fornece um caminho para o acúmulo de contaminantes nos estuários (SCHOELLHAMER; MUMLEY; LEATHERBARROW, 2007).

A carga de sedimentos ou o calibre de sedimentos podem aumentar devido a mudanças climáticas, mudanças no uso da terra, descarte de rejeitos de minas e ajustes internos de sistemas de drenagem (MEADE, 1996).

2.6. Perda da biodiversidade

A vulnerabilidade ambiental refere-se ao risco de degradação do ambiente natural, relacionada à erosão do solo, perda de biodiversidade, assoreamento, contaminação dos recursos solo e água e perda da cobertura vegetal agravada por fatores antropogênicos, que pode resultar na perda de biodiversidade, em terras improdutivas e comprometer a qualidade e quantidade dos recursos hídricos (COSTA et al., 2007).

É importante ressaltar que apenas 5% da biodiversidade mundial é conhecida e que a perda de espécies pode ser um fator negativo para o desenvolvimento humano sustentável (agrícola, pecuário, industrial, cultural), devido à perda do potencial de uso da maioria das espécies (PIRES et al., 2002).

2.7. Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos

As ferramentas computacionais para geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas ao integrar dados do mundo real, obtidos de diversas fontes (imagens de satélite, mapas topográficos, mapas de solos e hidrografia) em diferentes formatos e escalas, criando bancos de dados georreferenciados (MELO, 2012). Santos (2010) aponta que a aplicação dos SIGs em estudos relacionados aos recursos hídricos tem sido crescente, principalmente pela facilidade de manipulação de mapas,

organização de banco de dados e de obtenção de informações geomorfológicas das bacias hidrográficas.

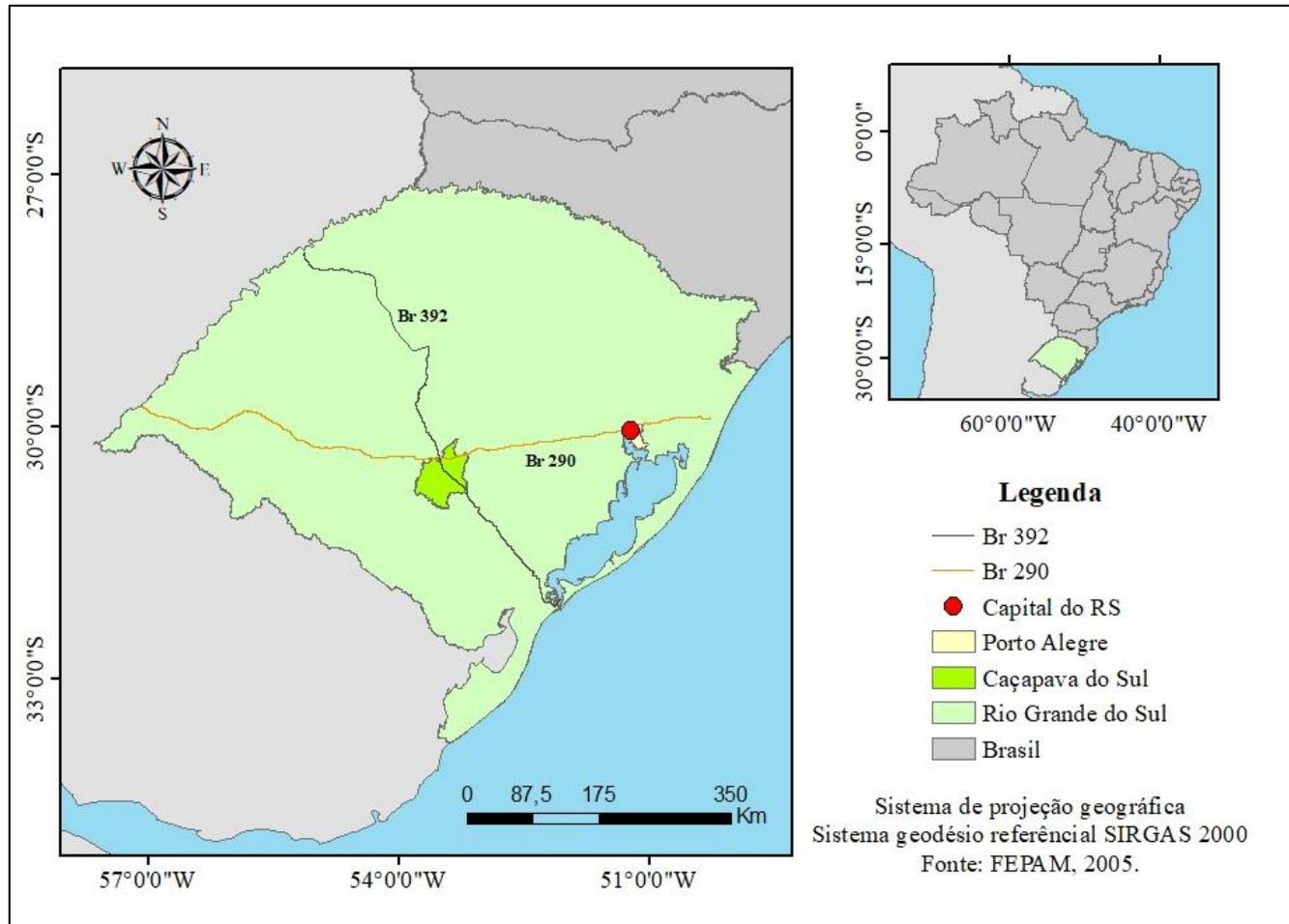
Com a dinamização crescente da tecnologia no fim do século XX e início do século XXI, processos como a exploração de dados geoespaciais também foram atingidos por essa evolução, assim, técnicas investigatórias foram aperfeiçoadas para melhor eficiência e rapidez nos estudos de imagens de sensoriamento remoto (IBGE, 2001). Atualmente, o geoprocessamento é fundamental para o planejamento das bacias hidrográficas, considerando que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas (MENDES, 2008).

O sensoriamento remoto e o geoprocessamento constituem-se em técnicas indispensáveis para a manutenção de registros do uso da terra ao longo do tempo, as imagens de satélite, são muito importantes e úteis, pois permitem avaliar as mudanças ocorridas na paisagem de uma região num dado período (CAMPOS et al., 2004). Possibilitando, por exemplo, a determinação de valores para variáveis de cobertura e uso do solo, variabilidade espacial de parâmetros climáticos, identificação de fontes poluidoras significativas e o mapeamento de áreas vulneráveis a processos erosivos (MELO, 2012). Essas técnicas tornam-se imprescindíveis para obtenção de informações da superfície terrestre, constituindo hoje um conjunto de ferramentas aplicáveis em planejamentos e zoneamentos (DE PAULA; CABRAL, 2012).

3. ÁREA DE ESTUDO

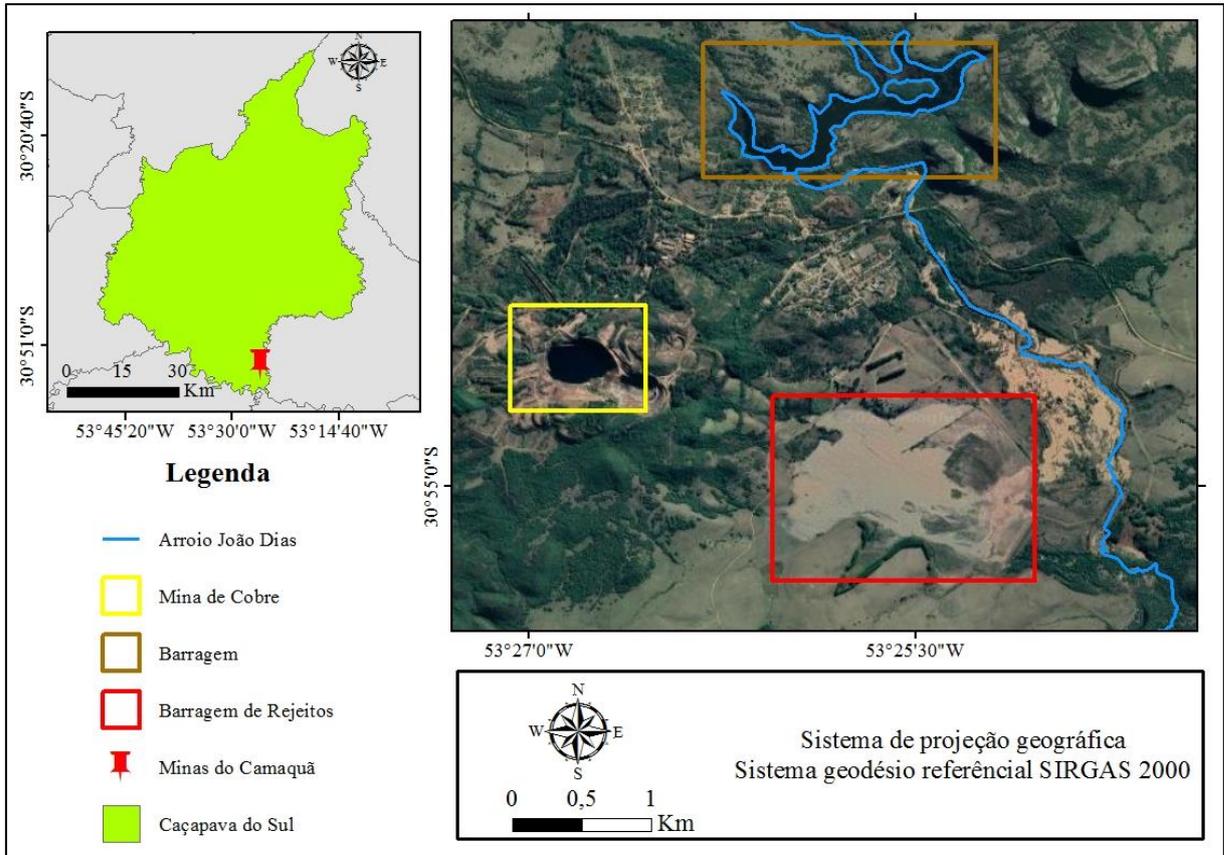
A área de estudo encontra-se no município de Caçapava do Sul, estado do Rio grande do Sul (Figura 1 e 2), inserido na unidade geomorfológica Escudo Sul-Riograndense, mais precisamente no distrito de Minas do Camaquã (GEOPROSPEC, 2016). O município possui área de 3.047,113 Km² e uma população estimada em 33.690 habitantes, localiza-se a cerca de 300 km a oeste da capital gaúcha, Porto Alegre e faz divisa territorial com São Sepé, Santana da Boa Vista, Cachoeira do Sul, Pinheiro Machado e Bagé (IBGE, 2010).

Figura 1 - Mapa de localização de Caçapava do Sul, RS.



Fonte: Autora, 2020.

Figura 2 - Mapa de localização das Minas do Camaquã, RS.



Fonte: Autora, 2020.

3.1. Bacia hidrográfica em estudo

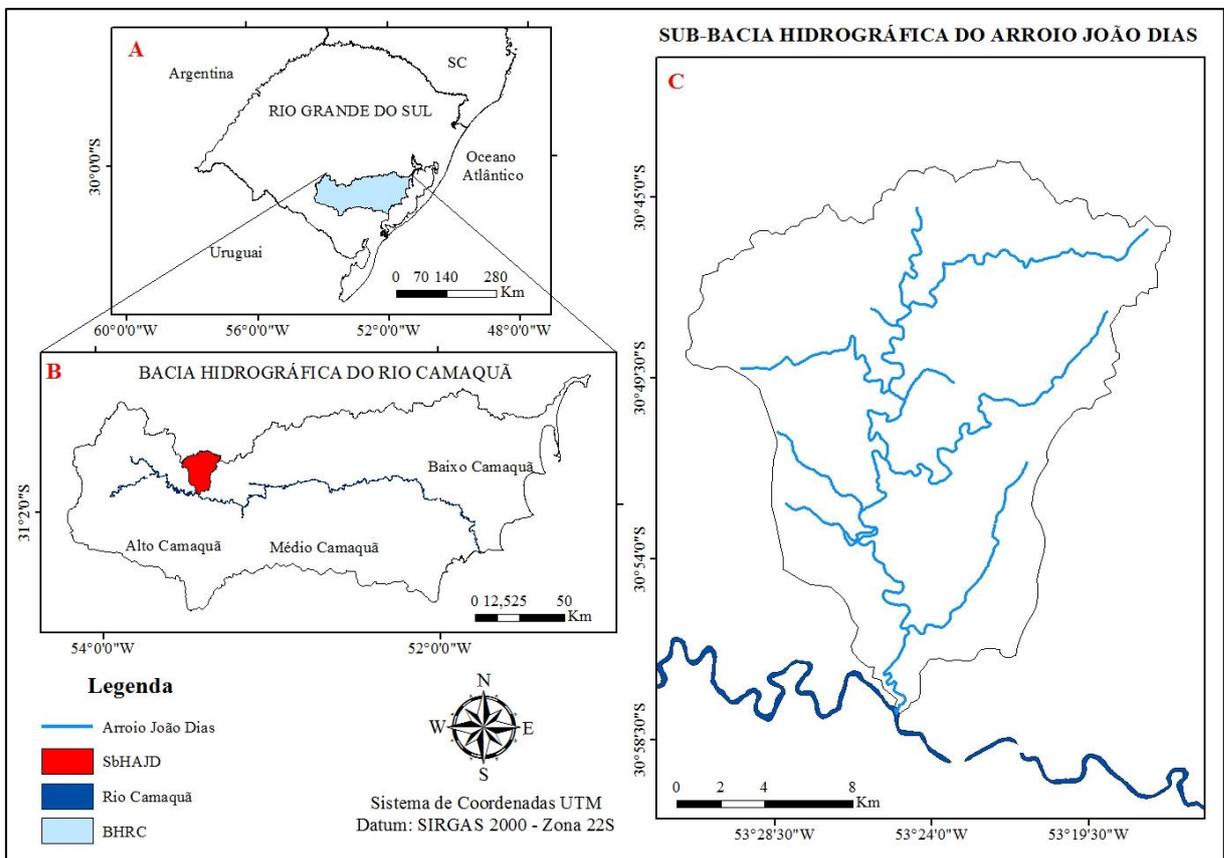
O rio Camaquã tem suas nascentes a oeste da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã (BHRC), com desembocadura a Leste na Laguna dos Patos, os principais usos da água na bacia se destinam à irrigação e ao abastecimento público (SEMA, 2019). Segundo Hansen e Fensterseifer (2000), essa bacia é subdividida em 29 Sub-bacias e é dividida esquematicamente em 4 regiões, sendo elas, Gerenciamento de Recursos Hídricos da Campanha; da Escarpa Oriental; das Terras Baixas e Litorânea.

A Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias (SbHAJD), localiza-se na região da campanha, que se insere na parte alta da BHRC (Figura 3). A região da Campanha é mais preservada, com relevo acidentado em certas partes e, em outras, com as características de savana, própria do bioma Pampa, cujo uso principal é a agropecuária extensiva, a silvicultura e a mineração de ouro, cobre, chumbo e zinco (GAMA, 2016). O arroio João Dias é o principal receptor dos efluentes e rejeitos da mineralização de cobre, esses deságuam no alto curso do

Rio Camaquã, que é o mais importante eixo de drenagem do Escudo Sul-Riograndense para a Laguna dos Patos (LAYBAUER; BIDONE, 1997).

Delimitada pelas coordenadas 30° 44' 12" a 30° 57' 56" S e 53° 30' 41" a 53° 16' 51" W, a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias serve de limite geográfico natural, em quase toda sua extensão, entre os municípios de Caçapava do Sul a oeste e Santana da Boa Vista a leste (BRUCH; GRUBER, HANSEN, 2009). Segundo Hansen e Fensterseifer (2000), a Sub-Bacia possui área de 17.448Km², abrangendo os municípios de Caçapava do Sul e Santana da Boa Vista.

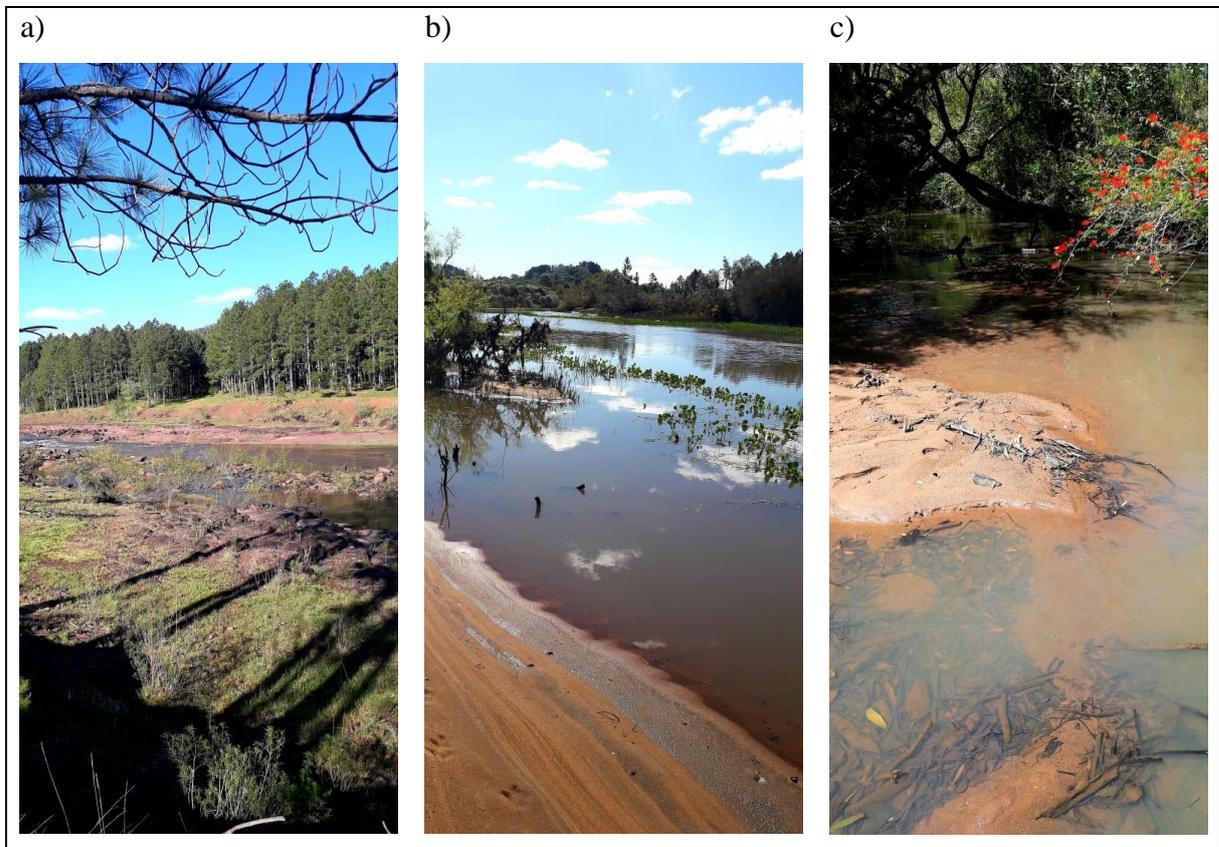
Figura 3 - (A) Localização da BHRC no RS; (B) localização da SbHAJD na BHRC e (C) área da SbHAJD.



Fonte: Autora, 2020.

A Figura 4 refere-se ao curso do arroio João Dias, nas proximidades das Minas do Camaquã, onde pode-se observar o afloramento de rochas, o solo, a presença do cultivo de eucaliptos e a ausência de mata ciliar (APP) nas margens do arroio.

Figura 4 - As imagens (a), (b) e (c) se referem ao arroio João Dias localizado na região das Minas do Camaquã em Caçapava do Sul.



Fonte: Autora, 2020.

3.2. Histórico da Área

Localizada a 70 km de Caçapava do Sul, em meio ao pampa gaúcho, sem acesso por asfalto e escondida por coxilhas e formações rochosas, encontra-se as Minas do Camaquã, uma vila que, apesar de pequena e quase deserta, já esteve no centro dos acontecimentos no estado do Rio Grande do Sul (BACK, 2017). Construída pelo empresário Francisco Pignatari, Minas do Camaquã gerou fortunas, atraiu mais de 5 mil moradores, recebeu a visita de governadores e do presidente da República (GONZATTO, 2014).

A procedência da exploração das Minas do Camaquã, de acordo com Teixeira (1992), teve como marco inicial a descoberta de rochas com tonalidade esverdeada pelo proprietário das terras e coronel João Dias dos Santos Rosa, em meados de 1865. Porém, foi um grupo de geólogos ingleses que explorava uma área mineral de Lavras do Sul, na mesma região onde foram encontradas as pedras, que analisaram, identificaram e comprovaram a riqueza dessas pedras (NOGUEIRA et al., 2012).

A logística para transportar a riqueza dos confins pampianos até o Velho Mundo era desafiadora. Os alemães carregavam o metal em carros de boi ao longo de 90km até a estação de trem em Hulha Negra, de onde a carga era conduzida ao porto de Rio Grande e, de lá, para a Inglaterra (GONZATTO, 2014). As atividades mineradoras funcionaram do período de 1899 até 1908, quando o trabalho de exploração do minério tornou-se mais técnico (NOGUEIRA et al., 2012). De acordo com Bettencourt (1992), isso ocorreu principalmente devido à introdução de novas tecnologias para a exploração, lembrando que nesta conjuntura foram abertas novas galerias subterrâneas, foi construída uma usina de concentração de minério e também uma barragem no arroio João Dias, que serviria para a instalação de uma turbina de geração de energia elétrica. O arroio João Dias, recebeu os rejeitos sólidos e efluentes líquidos provenientes do tratamento de minério de cobre, desde o século XIX, até a construção da barragem de rejeitos no final dos anos 1970 (RONCHI; BAECKER; MARTINS, 2000).

Segundo Macedo (2006), em 1942, foi fundada a Companhia Brasileira do Cobre (CBC), tendo como principais acionistas o Governo do Estado do Rio Grande do Sul e a Laminação Nacional de Metais, pertencente ao Grupo Pignatari. Na década seguinte, Pignatari assumiu o controle acionário da empresa e deu impulso a seu ambicioso projeto: criar, no Rio Grande do Sul, uma cidade-modelo, Minas do Camaquã (GONZATTO, 2014).

De acordo com os relatórios da CBC, a máxima produção de 4.371 toneladas de cobre nas Minas do Camaquã em 1971, na parte referente à lavra, foi obtida mediante mão de obra excessiva, sendo antieconômica para o mercado naquele ano (NOGUEIRA et al., 2012). O grupo Pignatari enfrentava dificuldades e não podia realizar os investimentos requeridos. Nesse contexto, a mina passou a ser controlada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e, em 1975, foram paralisadas as atividades da empresa (CBC, 1992). Dessa forma, as atividades de mineração foram restabelecidas somente a partir da década de 1981, através de um processo altamente mecanizado (PAIM, 2002).

Foram encaminhados estudos detalhados das Minas do Camaquã que resultaram, mediante mapeamentos e sondagens, na reavaliação das reservas, apresentando-se um relatório final chamado de Projeto Expansão Camaquã, buscando a realização da mineração a céu aberto, um novo modelo de extração, levando em conta as reservas existentes nas minas Uruguai e São Luís (NOGUEIRA et al., 2012). De acordo com Bettencourt (1992), com o projeto Expansão Camaquã a produção de concentrado de minério de cobre passou de uma escala de 1.500 para 5.500 toneladas por dia pois, além da mina a céu aberto, as minas subterrâneas Uruguai e São Luiz foram exploradas mais profundamente. Apresenta-se aqui a formação de uma nova empresa, que compraria a CBC, a Bom Jardim S/A, constituindo-se este nome numa alusão à

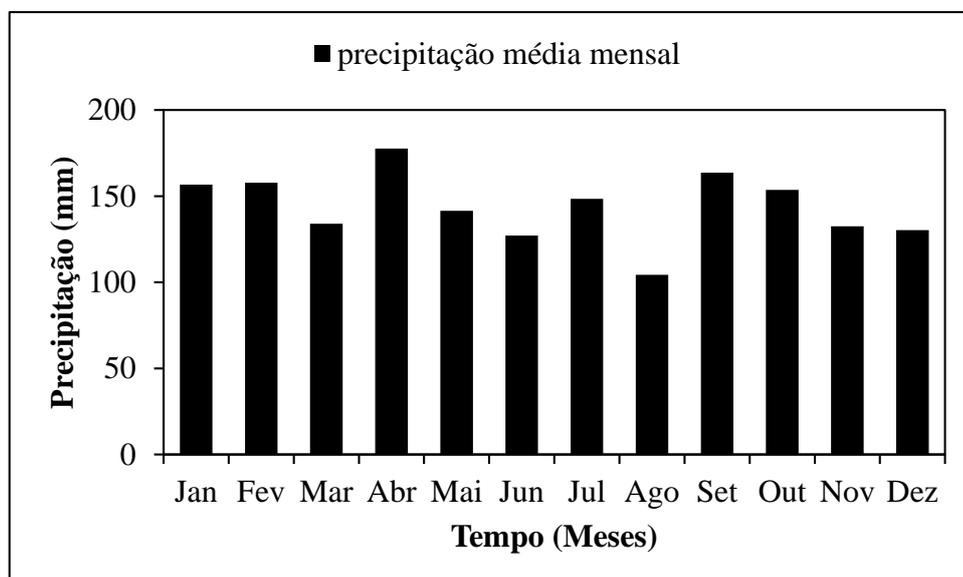
estrutura geológica da região em que se insere a mina de cobre, Janela Bom Jardim (NOGUEIRA et al., 2012). A Holding Bom Jardim conseguiu saldar suas dívidas com o BNDES antes do prazo estipulado e continuou as explorações do cobre até o esgotamento total das jazidas, em abril de 1996 (RONCHI; LOBATO, 2000).

3.3. Características Climáticas

Segundo a classificação climática de Köppen, Caçapava do Sul possui clima subtropical úmido (Cfa) (WREGE et al., 2012). A bacia do Camaquã, assim como o estado do Rio Grande do Sul em geral, caracteriza-se por ser uma região com boa disponibilidade hídrica e com uma distribuição uniforme das chuvas durante o ano, sem uma estação seca bem definida. Isto é, há precipitações durante todos os meses do ano e não existe grande diferença quantitativa entre o mês mais seco e o mais chuvoso (SOTÉRIO et al., 2005).

A média da precipitação pluviométrica acumulada mensal, estacional e anual na região sul do Brasil é referente ao período de 1976 a 2005. Segundo Wrege et al. (2012), Caçapava do Sul apresenta um total anual de precipitação pluviométrica de 1727,4 mm, a umidade relativa varia de 76 a 78% e a velocidade média do vento é de 3,25 a 3,5 m.s⁻¹. O mês que apresenta maior índice de pluviosidade é abril atingindo 177,6 mm e o com menor índice o mês de agosto, com a média chegando a 104,3 mm (Figura 5).

Figura 5 - Valores médios mensais de precipitação pluviométrica para o município de Caçapava do Sul, RS (período de 1976 – 2005).



Fonte: WREGE et al., 2012.

As temperaturas médias mensais na bacia hidrográfica do Camaquã indicam clima com estações bem definidas. Ou seja, inverno com temperaturas baixas, verão com temperaturas altas, outono e primavera com temperaturas amenas (GAMA, 2016). De acordo com a análise realizada para os dados disponíveis no site do INMET pela estação de Bagé (RS), Caçapava do Sul apresenta uma temperatura média anual de 19,4°C, tendo o mês mais quente (Fevereiro) uma temperatura média de 25,0°C enquanto o mês mais frio (Julho) apresentou temperatura média de 10,0°C. Ainda, os meses com temperaturas médias mais elevadas são Dezembro, Janeiro e Fevereiro, enquanto os meses com temperaturas mais baixas são Junho, Julho e Agosto (ANA, 2020).

3.4. Características da Vegetação

Segundo o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012), a região de Minas do Camaquã, classifica-se como Estepe Arborizada, região de solos rasos e líticos. Esta apresenta em sua fitofisionomia a predominância dos campos, que entremeados a eles, podem existir afloramentos rochosos, elementos florestais que estariam ligados às matas de galeria ou de outras florestas mais secas ou ainda indivíduos dispersos na região. Sendo as florestas e os campos as principais formações fitofisionômicas da região, onde nas regiões de maior altitude destaca-se o campo (estepe) resistente a baixas temperaturas e ventos, com predominância de espécies de gramíneas e compostas; e nas regiões de altitude inferior ocorrem as florestas (hidrófilas e sub-xerófilas) próximas a cursos d'água, com solo mais profundo e protegidas do vento (GEOPROSPEC, 2016).

3.5. Relevo

A Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias apresenta pedoformas com estrutura de relevos tabulares predominando sobre as convexas, representando as paisagens com platôs ruiformes, colinas, morros testemunhos á montante, enquanto que, à jusante, expõe uma superfície de denudação aplainada inferior com algumas cristas alinhadas (HANSEN; FENSTERSEIFER, 2000). Segundo o IBGE (2009) os morros testemunhos são relevos residual de topo plano, limitado por escarpas, resultante do recuo pela erosão de frente de cuesta ou de outras escarpas de relevos tabuliformes formados em rochas sedimentares ou excepcionalmente em derrames vulcânicos. Esses são compostos por conglomerados de arenitos recobertos por

clastos provenientes de rochas cristalinas, em geral cascalhos. Apresentam estratificação, denotando retrabalhamento fluvial pretérito (GEOPROSPEC, 2016).

A mesma apresenta uma baixa densidade de drenagem, com canais de segunda ordem de grandeza que desembocam na porção central do rio Camaquã, essa possui uma declividade geral inferior a 10% em relação as demais sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã (HANSEN; FENSTERSEIFER, 2000).

3.6. Tipo de solo e formação geológica

A Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias recobre as litologias do embasamento granítico-gnáissico e as sequências vulcano-sedimentares deformadas e metamorfizadas, que formam o Escudo Sul-Rio-Grandense (CHEMALE Jr., 2000). Os fatores de formação do solo são decorrentes do material de origem (rochas); da geomorfologia regional (relevo); das condições climáticas pretéritas e atuais; do tempo decorrido; e dos organismos vegetais e animais associados (RESENDE et al.,1995). Na Sub-bacia existem de montante para jusante as seguintes unidades: Afloramento de Rochas (AR); Associações de Afloramento de Rochas, mais Neossolos Litólicos (AR+RL), que são pouco desenvolvidos (Azonais); Neossolos Litólicos (RL) com profundidades inferiores a 0,5m; Neossolos Regolíticos; Argissolo Vermelho-Amarelo; Chernossolos Rêndzicos; Planossolos Hidromórficos; Neossolos Flúvicos (HANSEN; FENSTERSEIFER, 2000).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

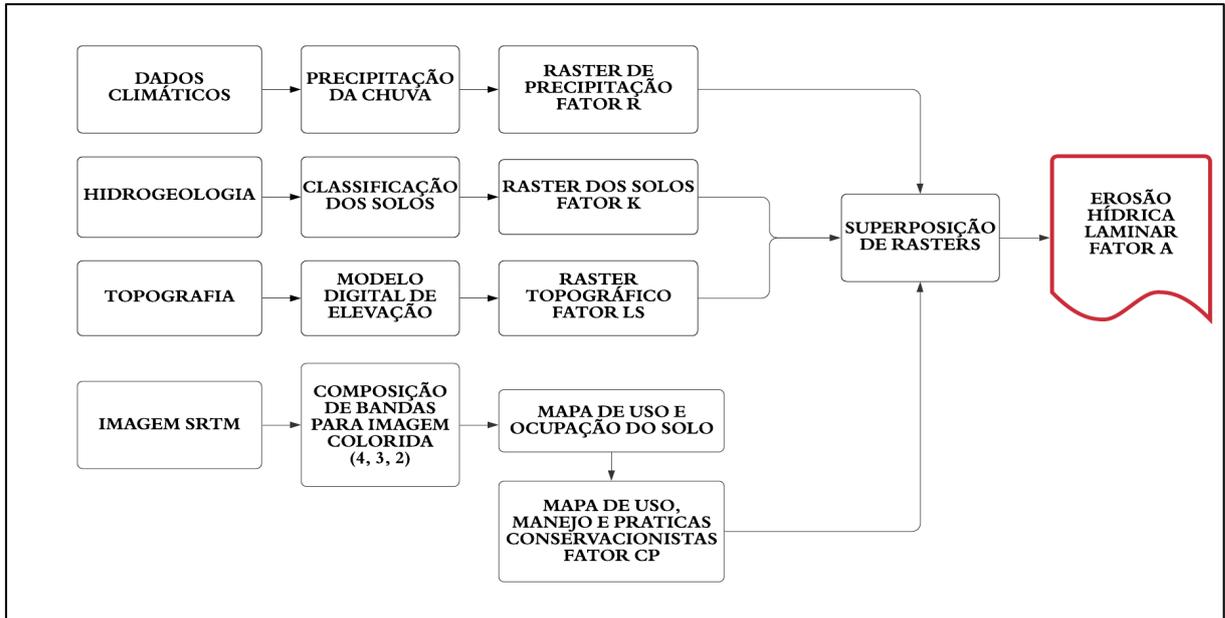
A metodologia utilizada no trabalho está apresentada nos próximos tópicos, contendo os materiais utilizados e os métodos aplicados.

4.1. Aplicação da Equação Universal de Perda de Solos – EUPS

4.1.1. Processamento de dados

A metodologia utilizada (Figura 6) abrange basicamente 5 etapas principais: (a) aquisição do mapa de erosividade da chuva (Fator R); (b) criação do mapa de erodibilidade do solo (Fator K); (c) obtenção do mapa do fator topográfico (Fator LS) e uso, manejo e práticas conservacionistas (Fator CP); e (d) álgebra de mapas com as variáveis da USLE.

Figura 6 - Fluxograma da metodologia utilizada.

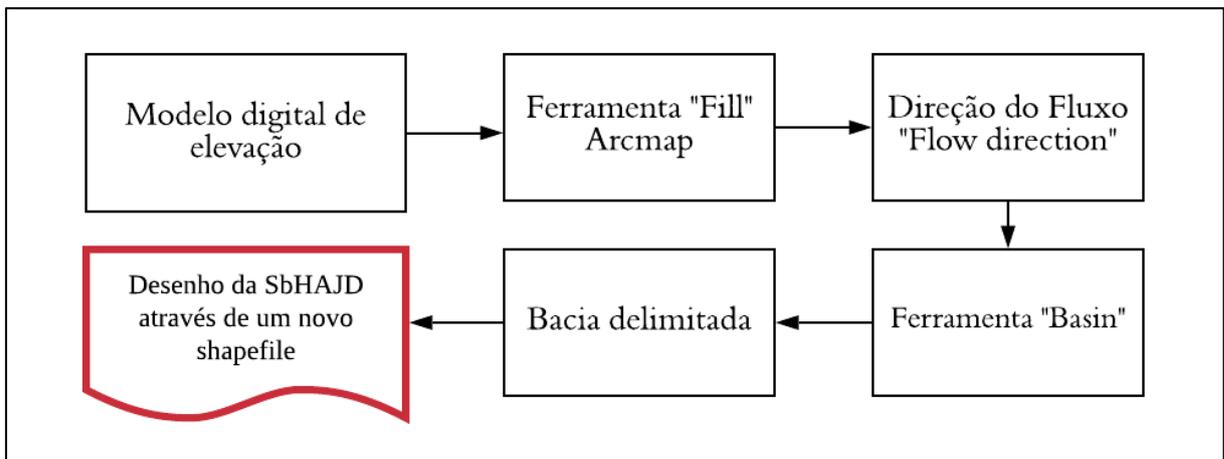


Fonte: Autora, 2020.

Para a confecção do mapa de erosão hídrica laminar, foi utilizado como base o Modelo Digital de Elevação (MDE) da Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias, disponível no site do INPE através do projeto TOPODATA que oferece o MDE e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores (INPE, 2008); um shapefile delimitando a área da sub bacia e os rasters de cada mapa. Esses dados foram processados através dos *softwares* ArcGis 10.5, Surfer 16 e SAGA GIS.

O shapefile delimitando a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias foi elaborado através da ferramenta *Basin* (Figura 7), assim obteve-se melhor visualização do formato da SbHAJD possibilitando a criação do seu contorno.

Figura 7 - Fluxograma para a delimitação da Sub bacia Hidrográfica do arroio João Dias - SbHAJD.



Fonte: Autora, 2020.

4.1.2. Erosividade da Chuva – Fator R

Para a elaboração do mapa de erosividade foram tabelados os dados de chuva do período de 1959 a 2019 buscando cumprir o estabelecido por Wischmeier e Smith (1978) de utilizar dados de no mínimo 20 anos. Os dados climatológicos referentes a pluviosidade foram obtidos de 19 estações de monitoramento diferentes (Tabela 1), disponíveis na base de dados HIDROWEB (ANA, 2020). Foram utilizados os dados dos Municípios de Piratini, Pinheiro Machado, São Sepé, Caçapava do Sul, Santana da Boa Vista, Bagé, Encruzilhada do Sul, Formigueiro, Dom Pedrito, Vila Nova, Lavras do Sul, Cachoeira do Sul e São Gabriel por serem municípios que rodeiam a SbHAJD (Figura 8). Foi utilizado também, para a elaboração do mapa de erosividade da chuva, o método de Krigagem, para estabelecer valores aproximados aos reais dentro da área de estudo, tendo em vista, que não existem dados disponíveis de chuva nessa região da sub-bacia.

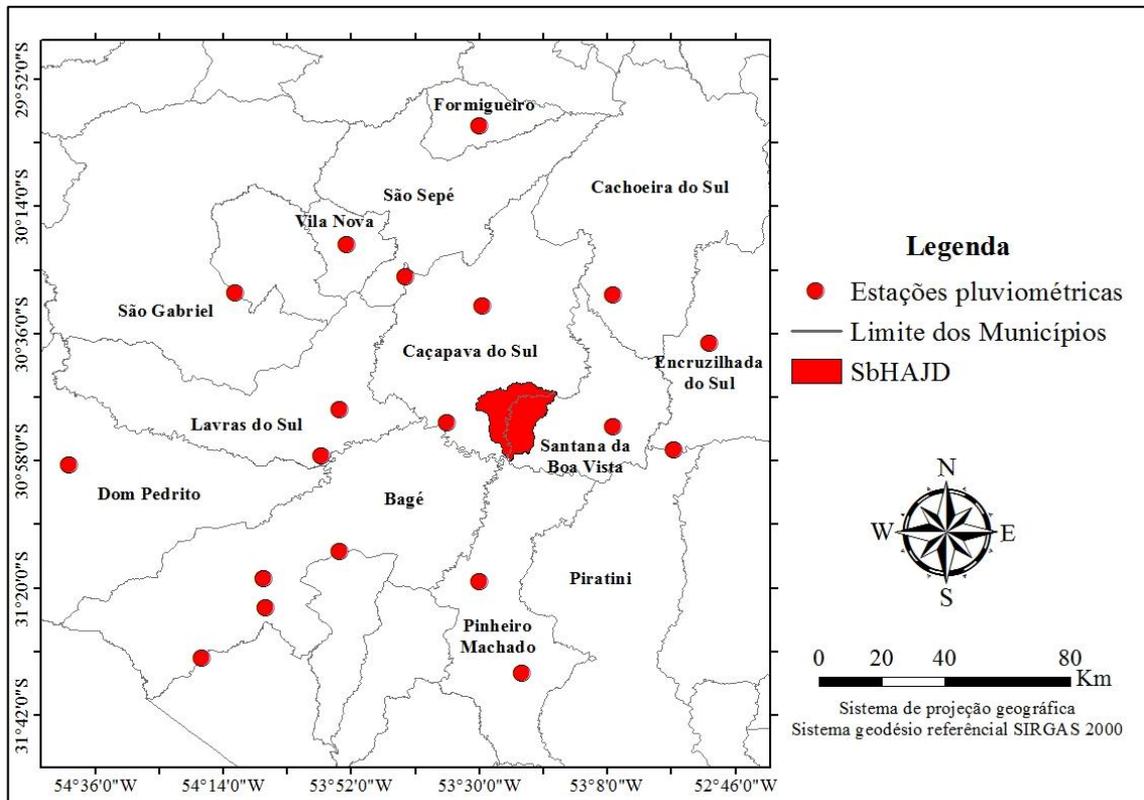
Com os valores da precipitação organizados foi determinado o índice de erosividade anual, Fator R. Para isso, foram tabelados dados de chuvas e calculado a média multianual (20 anos) da precipitação para a partir deles realizar os cálculos conforme as equações (2) e (3) proposta por Lombardi Neto (1977). Posteriormente, os valores da erosividade multianual foram espacializados através da Krigagem Ordinária, com o uso do Surfer16 onde foi criado o arquivo em formato *grid* e passado ao ArcGis 10.5 da ESRI. As classes de erosividade (Tabela 2), foram definidas utilizando a metodologia proposta por Carvalho (2008).

Tabela 1 - Estações pluviométricas utilizadas para o cálculo da erosividade das chuvas na área de estudo.

Município	Responsável	Operadora	Altitude (m)	Período	código	X	Y
Bagé	ANA	CPRM	120	1983 - 2009	3053010	-52.943	-30.577
Bagé	ANA	CPRM	-	1998 - 2019	3154006	-54.295	-31.534
Bagé	ANA	CPRM	368	1997 - 2019	3153003	-53.901	-31.227
Bagé	INMET	INMET	230	1969 - 1998	3154001	-54.119	-31.305
Bagé	SEMA - RS	SEMA - RS	-	1999 - 2019	3154012	-54.113	-31.389
Cachoeira do Sul	ANA	CPRM	121	1998 - 2019	3053018	-53.118	-30.487
Caçapava do Sul	ANA	CPRM	420	1999 - 2019	3053022	-53.492	-30.519
Caçapava do Sul	ANA	CPRM	-	2009 - 2019	3053028	-53.593	-30.854
Dom Pedrito	ANA	CPRM	120	1998 - 2019	3054002	-54.675	-30.978
Encruzilhada do Sul	ANA	CPRM	400	1999 - 2019	3052012	-52.840	-30.625
Formigueiro	DEPRC	CPRM	110	1959 - 1978	3053005	-53.500	-30.000
Lavras do Sul	ANA	CPRM	300	1996 - 2019	3053007	-53.901	-30.817
Pinheiro Machado	ANA	CPRM	200	1999 - 2019	3153017	-53.712	-30.435
Pinheiro Machado	ANA	CPRM	440	1997 - 2019	3153008	-53.377	-31.577
Piratini	ANA	CPRM	80	1993 - 2019	3052010	-52.943	-30.934
Santana da Boa Vista	CEEE	CEEE	340	1962 - 2000	3053015	-53.117	-30.867
São Gabriel	ANA	CPRM	190	2001 - 2019	3054020	-54.198	-30.481
São Sepé	ANA	CPRM	200	1999 - 2019	3053017	-53.499	-31.314
Vila Nova	ANA	CPRM	240	2001 - 2019	3053024	-53.880	-30.342

Fonte: ANA, 2020.

Figura 8 - Localização das Estações Pluviométricas próximas a área da Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias.



Fonte: Autora, 2020.

Tabela 2 - Classe para interpretação do índice de erosividade anual.

Fator R (Mj.mm/ha.h.ano)	Classe de erosividade
R < 2452	Erosividade fraca
2452 < R < 4905	Erosividade moderada
4905 < R < 7357	Erosividade moderada a forte
7357 < R < 9810	Erosividade forte
R > 9810	Erosividade muito forte

Fonte: CARVALHO, 2008.

4.1.3. Erodibilidade do solo – Fator K

O fator K de erodibilidade do solo foi obtido através do mapa de solos da EMBRAPA (DOS SANTOS et al., 2011) complementado com os dados disponíveis no site GeoNetwork, onde estão disponíveis informações de 106 tipos de solos com todos os fatores tabelados (FAO, 1974). Esses dados são, a porcentagem de areia, argila, silte e carbono orgânico disponíveis em cada tipo de solo, os mesmos foram utilizados para os cálculos do fator K. Usou-se também o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SBICs (DOS SANTOS et al., 2018) para atualizar a nomenclatura dos solos e fazer a correspondência com a base mundial de referência para recursos do solo (FAO, 2006). Assim foi possível identificar e calcular o fator K para a Sub-bacia Hidrográfica do Arroio João Dias.

Com esses dados utilizou-se as equações (4), (5), (6), (7) e (8) propostas por Williams (1975), e através do Excel foi calculado os valores de K para os diferentes tipos de solo, gerando uma planilha que posteriormente foi transformada em shape e anexada no ArcGis. Após os cálculos os valores encontrados foram classificados de acordo com o risco de erodibilidade (Tabela 3).

Tabela 3 - Classificação da erodibilidade dos solos.

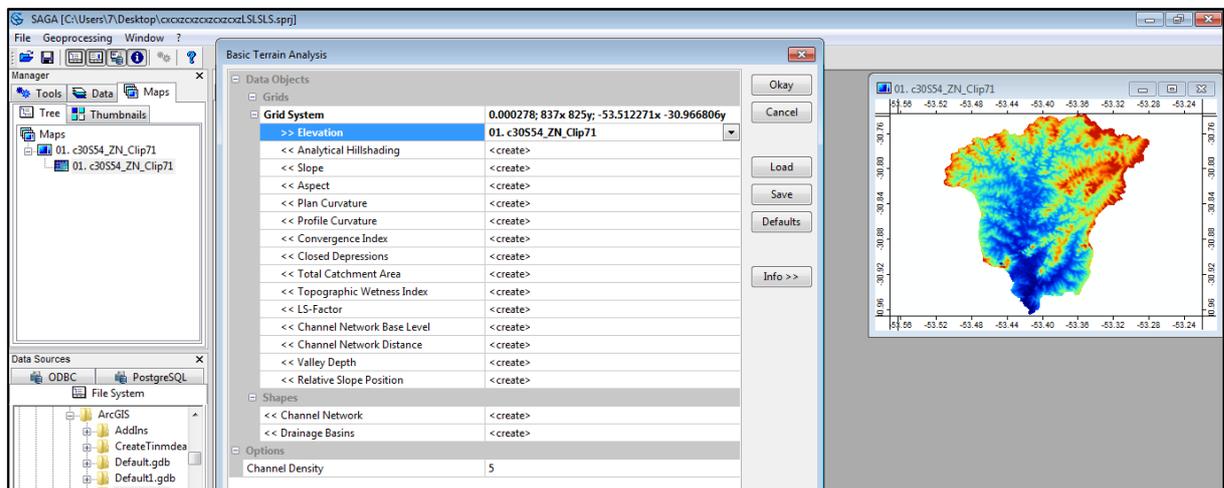
Classificação	Fator K (ton.h/MJ.mm)
Extremamente alta	> 0,06
Muito alta	0,0459 - 0,06
Alto	0,03 - 0,045
Média	0,015 - 0,03
Baixa	0,009 - 0,015
Muito baixa	< 0,009

Fonte: MANNINGEL et al., (2002).

4.1.4. Fator topográfico – Fator LS

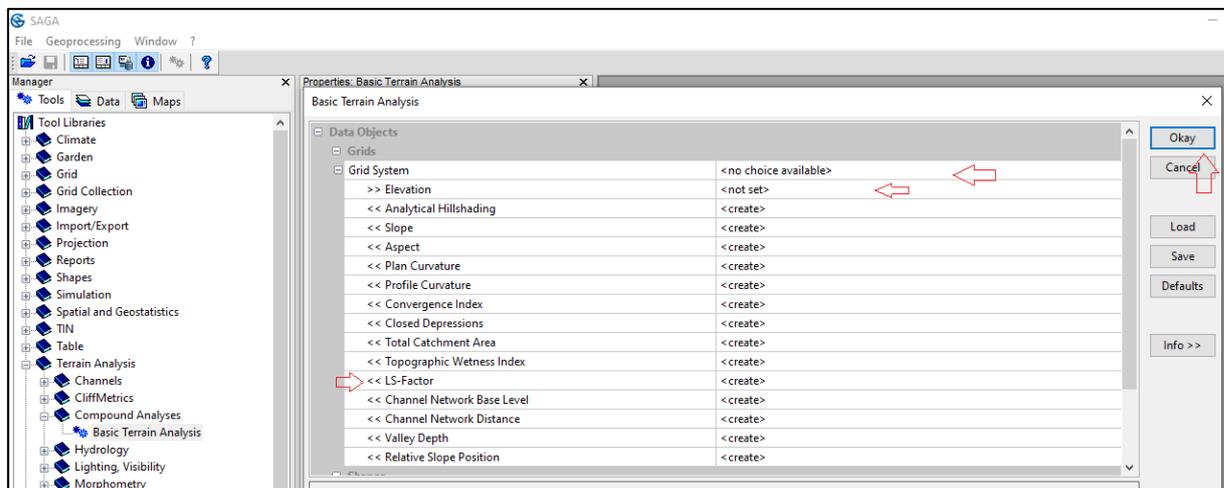
Para elaborar o mapa do Fator Topográfico foi utilizado como base o modelo digital de elevação (MDE) da Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias (INPE, 2008), e utilizado os Software ArcGis 10.5 da ESRI e o software livre SAGA GIS para interpolação de dados. Usou-se o software ArcGis para fazer o recorte do MDE da Sub-bacia, após o mesmo foi inserido no SAGA GIS (Figura 9). O passo a passo para elaborar o mapa do fator topográfico encontra-se na figura 10.

Figura 9 - Software SAGA GIS utilizado na determinação do fator LS através do modelo digital de elevação da SbHAJD.



Fonte: Autora, 2020.

Figura 10 - Passo a passo utilizado no SAGA GIS para elaborar o mapa do fator topográfico - fator LS para a SbHAJD.



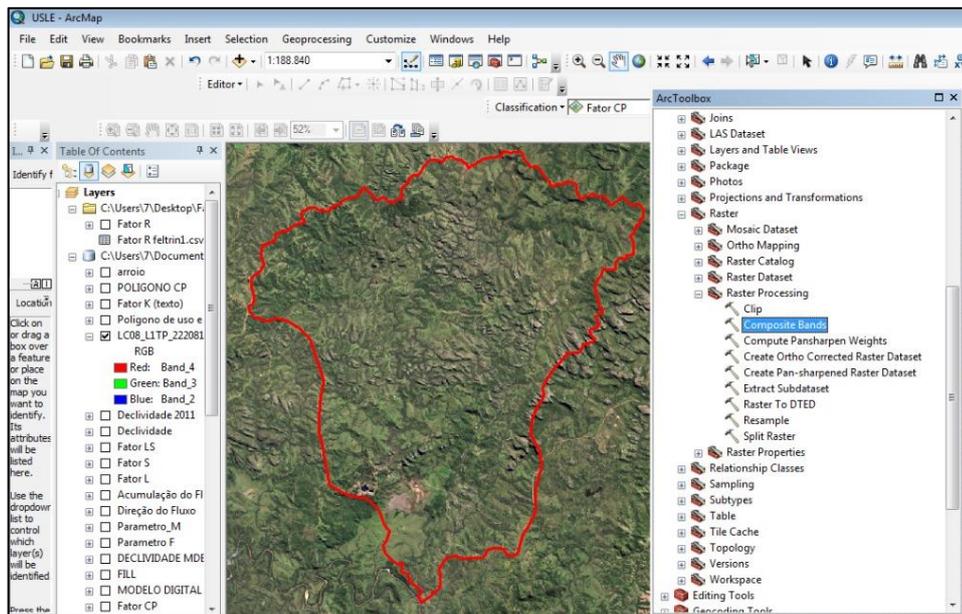
Fonte: Autora, 2020.

4.1.5. Uso, manejo e práticas conservacionistas – Fator CP

Os fatores antrópicos da EUPS – fator C e fator P – foram integrados nesse estudo formando um só mapa. Com base nas classes obtidas na geração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal, os valores de CP adotados no trabalho (Tabela 4) são os sugeridos por Stein et al. (1987); Oliveira (2012) e Ribeiro e Alves (2007).

Para elaborar o mapa foi utilizada a imagem de 18 de maio de 2019 do LANDSAT 8 (USGS, 2020), por ser uma imagem atual. Houve a composição de bandas dessa imagem, transformando em uma imagem colorida com o vermelho em banda 4, verde em banda 3 e azul em banda 2 através da ferramenta *composit bands* (Figura 11). Após foi elaborado o mapa de uso e ocupação do solo e a partir dele o *raster* do fator CP.

Figura 11 - Composição de bandas para imagem colorida da área da Sub bacia Hidrográfica do Arroio João Dias.



Fonte: Autora, 2020.

Tabela 4 - Valores do fator CP utilizados no trabalho.

Classes	Fator CP
Área úmida	0
Corpos d'água	0
Afloramento de rocha	0,001
Cerradão	0,00004
Vegetação densa	0,00004
Mata e cerrado	0,0007
Pastagem	0,01
Agricultura	0,2
Campo sujo	0,25
Solo exposto	1

Fonte: Modificado de Stein et al. (1987); Oliveira (2012); Ribeiro e Alves (2007).

4.1.6. Integração dos Fatores da EUPS em SIG

Após a obtenção de todos os fatores componentes da EUPS, realizou-se a álgebra de mapas, utilizando a ferramenta Raster Calculator do software ArcGIS (Equação 1). O produto da integração dos fatores na equação é o mapa da estimativa de perda de solo por erosão hídrica laminar, fator A.

4.2. Evolução do Assoreamento

Para estimar a evolução do assoreamento no arroio João Dias, foram analisadas imagens Multispectral Scanner (MSS) da plataforma orbital Landsat 1-5; Thematic Mapper (TM) da plataforma orbital Landsat 4-5 e imagens do sensor Termal Infrared Sensor (TIRS) e operational Land Imager (OLI) da plataforma orbital Landsat-8 (Tabela 5). Essas foram processadas através do software ArcGIS 10.5 da ESRI, com a escala de 1:250.000 considerando um período de 35 anos. Foram realizadas 11 análises temporais para avaliar a evolução do assoreamento no leito do Arroio João Dias, buscando identificar as mudanças ocorridas na vegetação nativa, vegetação campestre e a quantidade de solo exposto ao decorrer dos anos. Essa análise buscou através de imagens de satélite de 1984 a 2019 quantificar os dados ano a ano de acordo com a disponibilidade das imagens United States Geological Survey (USGS, 2020). Através de pesquisas bibliográficas e com base nas características dos solos, clima, modificação da vegetação e nos mapas obtidos ao longo dos anos e através da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) foram identificadas as possíveis causas para a ocorrência do assoreamento no leito do arroio João Dias, localizado nas Minas do Camaquã.

Tabela 5 – Para a avaliação do uso e ocupação do solo foram utilizadas as seguintes imagens de satélite.

Datas	Plataforma orbital
10/08/1984	LANDSAT 1-5
15/11/1986	
15/05/1987	
28/09/1992	
16/03/2008	LANDSAT 4-5
25/07/2009	
18/02/2010	
26/04/2011	
22/12/2017	LANDSAT - 8
07/01/2018	
18/05/2019	

Fonte: USGS, 2020.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

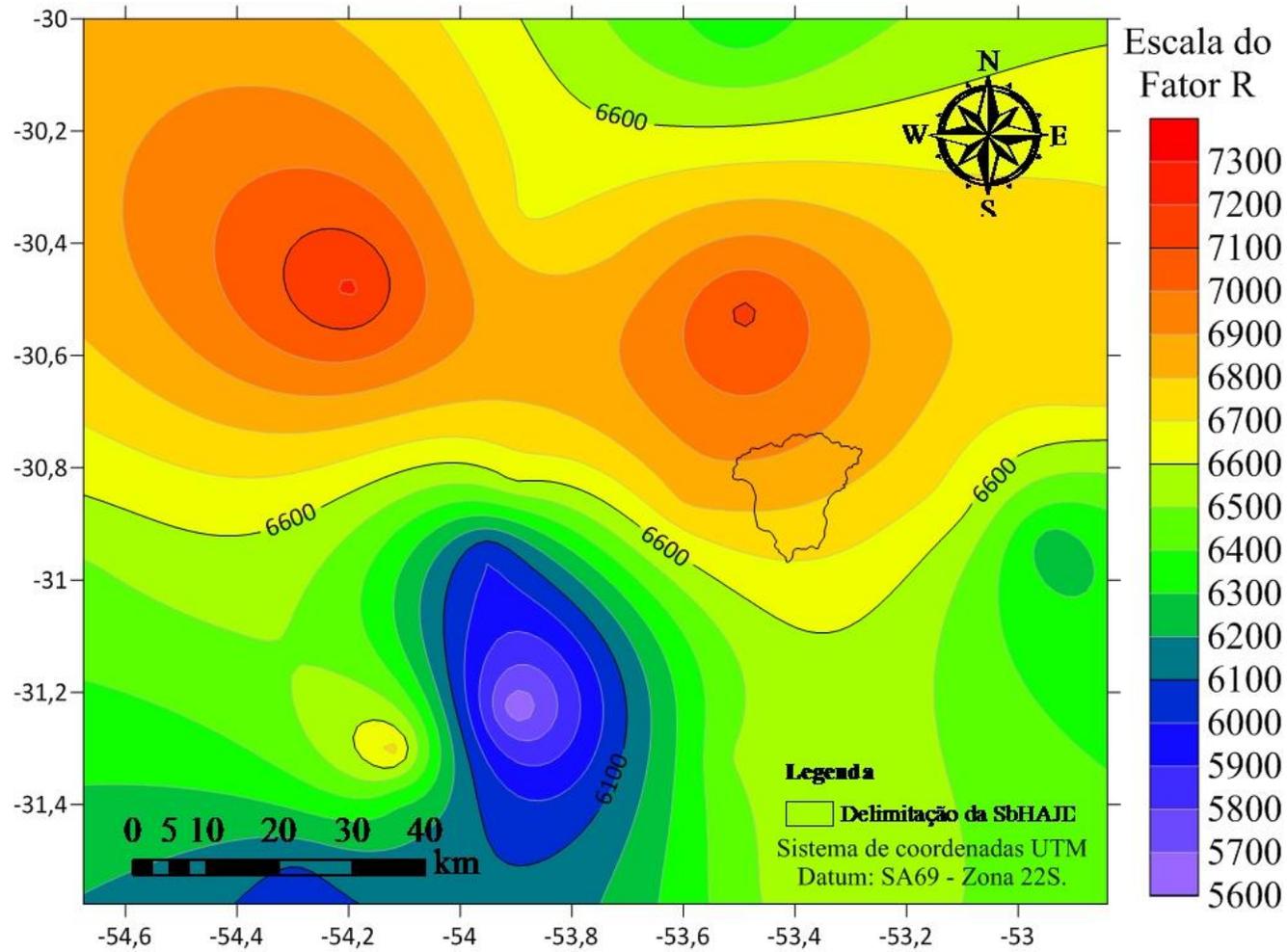
5.1. Equação Universal de Perda de Solos – EUPS

5.1.1. Erosividade da Chuva – Fator R

Devido à dimensão da área de estudo e falta de estações pluviométricas, o fator R foi estimado a partir de dados pluviométricos de estações situadas fora dos limites da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio João Dias. Através da metodologia de Lombardi Neto (1977), tem-se que, a localidade de São Gabriel apresentou o maior índice pluviométrico da região (1.733,317 mm/ano) e conseqüentemente uma maior erosividade sendo esta de 7223,18 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹, e Bagé como o município de menor precipitação (1257,93 mm/ano), com erosividade de 5621,51 MJ.mm.h⁻¹/ha⁻¹.ano⁻¹ (Tabela 6). Segundo Knapen et al. (2007), as variações temporais da pluviosidade são as grandes responsáveis pelas mudanças na umidade e consolidação do solo, crescimento das raízes, decomposição dos resíduos e a presença de crostas microbianas, fatores estes que controlam a variabilidade espacial da resistência à erosão de um determinado solo.

A Figura 12 mostra as curvas geradas no Surfer 16 através do método de krigagem para a região da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio João Dias, essas possuem classes de erosividade da chuva variando de 5600 a 7300 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹.

Figura 12 - Krigagem realizada no Surfer 16 para gerar o mapa de erosividade da chuva – Fator R, para a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias - SbHAJD.



Fonte: Autora, 2020.

Tabela 6 - Valores de erosividade da chuva e classificação para área de Influência da SbHAJD.

Município	Estações	Méd. da precip. Multianual (mm)	Fator R (MJ.mm)/(ha.h.ano)	Classificação (CARVALHO, 2008)
Bagé	3053010	1373,01	6003,23	Moderada a forte
Bagé	3154006	1386,295	6054,24	Moderada a forte
Bagé	3153003	1257,93	5621,51	Moderada a forte
Bagé	3154001	1595,629	6747,46	Moderada a forte
Bagé	3154012	1461,52	6330,43	Moderada a forte
Cachoeira do Sul	3053018	1604,659	6781,47	Moderada a forte
Caçapava do Sul	3053022	1711,62	7124,04	Moderada a forte
Caçapava do Sul	3053028	1585,355	6824,85	Moderada a forte
Dom Pedrito	3054002	1512,645	6487,47	Moderada a forte
Encruzilhada do Sul	3052012	1610,47	6800,69	Moderada a forte
Formigueiro	3053005	1449,165	6321,44	Moderada a forte
Lavras do Sul	3053007	1558,69	6628,13	Moderada a forte
Pinheiro Machado	3153017	1532,319	6521,96	Moderada a forte
Pinheiro Machado	3153008	1552,33	6575,21	Moderada a forte
Piratini	3059342	1450,24	6242,63	Moderada a forte
Santana da Boa Vista	3053015	1562,519	6656,08	Moderada a forte
São Gabriel	3054020	1733,317	7223,18	Moderada a forte
São Sepé	3053017	1616,786	6816,99	Moderada a forte
Vila Nova	3053024	1568,64	6681,21	Moderada a forte

Fonte: Autora, 2020.

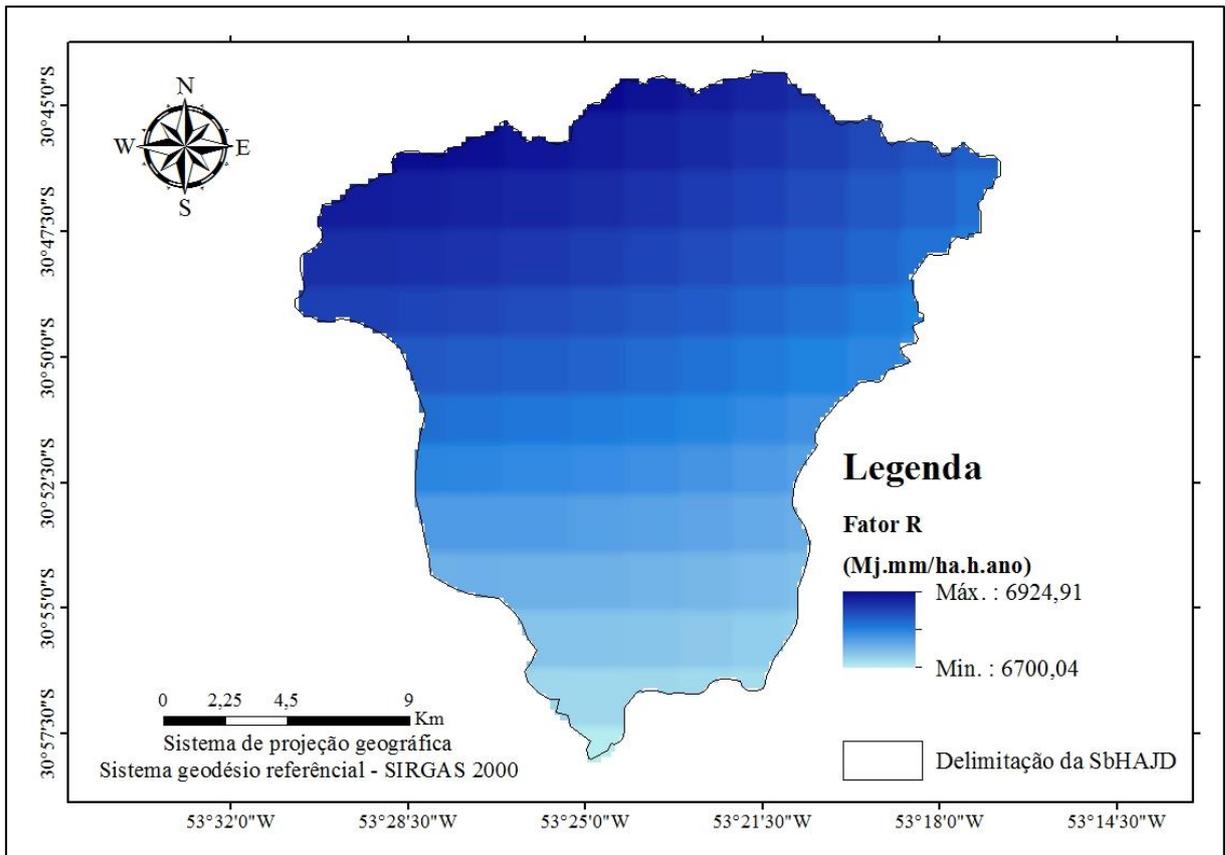
O sul do Brasil caracteriza-se por apresentar regularidade na distribuição anual da pluviometria (entre 1250 e 2000 mm). Essa característica é apontada como resultante da associação entre posição geográfica, relevo e atuação dos sistemas atmosféricos intertropicais e polares na região sul (MENDONÇA et al., 2007). A variação nos valores mensais de precipitação e de características da chuva, como a intensidade, determina grandes variações na erosividade.

Comparando os dados da estação Caçapava do Sul (3053022) com os dados disponíveis no Atlas Climático da Região Sul do Brasil temos que a estação de Caçapava do Sul apresentou média da precipitação multianual de 1711,62 mm e erosividade da chuva (EI_{30}) igual a 7124,04 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$, enquanto os dados do Atlas apresentam média multianual de precipitação para o município de 1727,4 mm entre os anos de 1976 a 2005 (WREGGE et al., 2012), comprovando o alto índice de erosividade da região dado que os valores de precipitação possuem pouca variação.

As ações erosivas podem induzir diferentes consequências ao longo do tempo na paisagem, como por exemplo a retirada de constituintes básicos da formação e desenvolvimento dos solos (BARBOSA et al., 2019). O mapa de erosividade da chuva para a Sub-bacia

Hidrográfica do arroio João Dias (Figura 13) apresentou valores variando de 6.700 a 6.925 $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Segundo Carvalho (2008), esses se encontram na classe de erosividade moderada a forte.

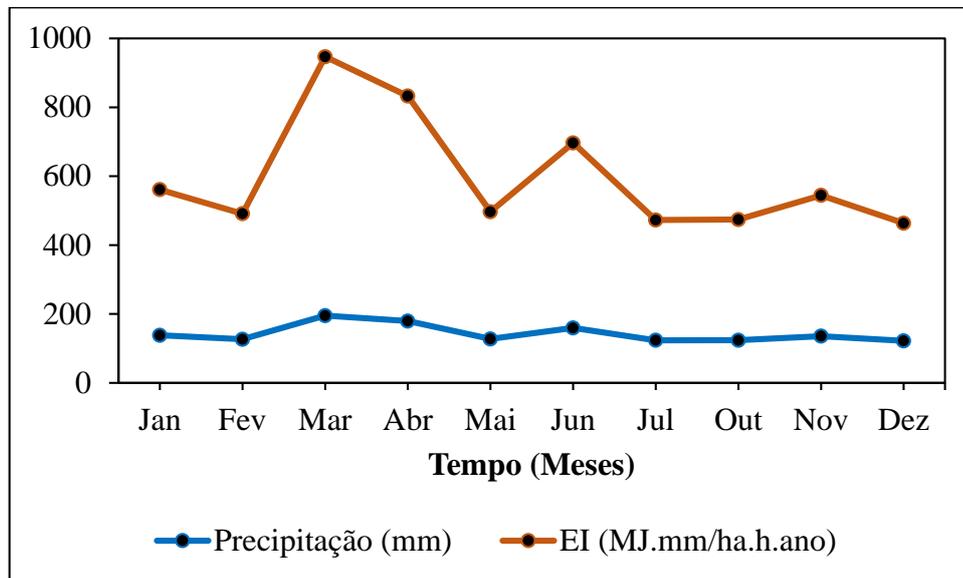
Figura 13 - Mapa de erosividade da chuva – Fator R, para a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias (SbHAJD).



Fonte: Autora, 2020.

Os valores médios mensais do índice de erosividade EI_{30} da chuva para a estação de Caçapava do Sul (3053022) presentes na figura 14, demonstram que os maiores valores de erosividade ocorreram nos meses de março e abril e os menores nos meses de julho, outubro e dezembro, lembrando que esses valores compõem a média multianual entre os anos de 1999 e 2019.

Figura 14 - Índices de precipitação e erosividade EI₃₀ para a média multianual da estação Caçapava do Sul (1999 - 2019).



Fonte: Autora, 2020.

De acordo com Santos, Montenegro e Pedrosa (2009), a capacidade das precipitações de desprenderem partículas ou agrupamentos de partículas depende da intensidade e frequência com que ocorrem, como também da energia cinética de impacto das gotas de chuvas sobre a superfície do solo. A cobertura vegetal dissipa a energia da chuva e protege a superfície do solo do selamento, aumentando a infiltração e diminuindo o escoamento superficial e a erosão hídrica, de forma que sem esta proteção o solo fica vulnerável e estes processos são potencializados (BERTOL; COGO; LEVIN, 1989). Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), a erosão causada pela água ocorre principalmente pelo impacto da chuva e pela erosão laminar, no qual a água acumulada começaria a deslocar-se no sentido da inclinação do terreno, retirando pequenas camadas de solo no seu trajeto.

5.1.2. Erodibilidade do solo – Fator K

Com base no mapa de solos do Brasil (DOS SANTOS et al., 2011), foram encontrados dois tipos de solo na região da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio João Dias, Argissolo Vermelho e Neossolo Litólico. Por meio da espacialização do fator K obteve-se um mapa com os valores deste parâmetro para cada tipo de solo (Figura 15). Assim, foi observada a predominância do tipo Neossolo Litólico ocupando 99,73% da área, sendo que o maior valor de erodibilidade também foi identificado neste tipo de solo com K igual a 0,0263 ton.h.MJ

$^1.\text{mm}^{-1}$. Enquanto o Argissolo Vermelho possui K igual a 0,0256 (ton.h/MJ.mm). De acordo com Manningel et al. (2002), classifica-se a erodibilidade para ambos os solos como mediana. A erodibilidade é o grau de facilidade com que um solo é erodido, portanto, depende de vários de seus atributos, como: textura, teor de matéria orgânica, estrutura, permeabilidade, declividade, comprimento de rampa e forma da encosta. Dessa forma, um solo com alta erodibilidade, sofrerá mais erosão que um com baixa erodibilidade, se expostos a uma mesma chuva (LIMA; OLIVEIRA; AQUINO, 2000).

A tabela 7 mostra os valores da erodibilidade dos solos estimados para área de Influência da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio João Dias, através dos cálculos realizados, bem como, as frações granulométricas constituintes obtidas do banco de dados da FAO (FAO, 1974).

Tabela 7 – Valores de erodibilidade dos solos e classificação para área de Influência da SbHAJD.

Solo	Areia	Silte	Argila	Carbono Orgânico	K (ton.h/MJ.mm)	Classificação (MANNINGEL et al., 2002)
Argissolo Vermelho	61,7	14,4	23,9	0,91	0,0256	Média
Neossolo Litólico	58,9	16,2	24,9	0,97	0,0263	Média

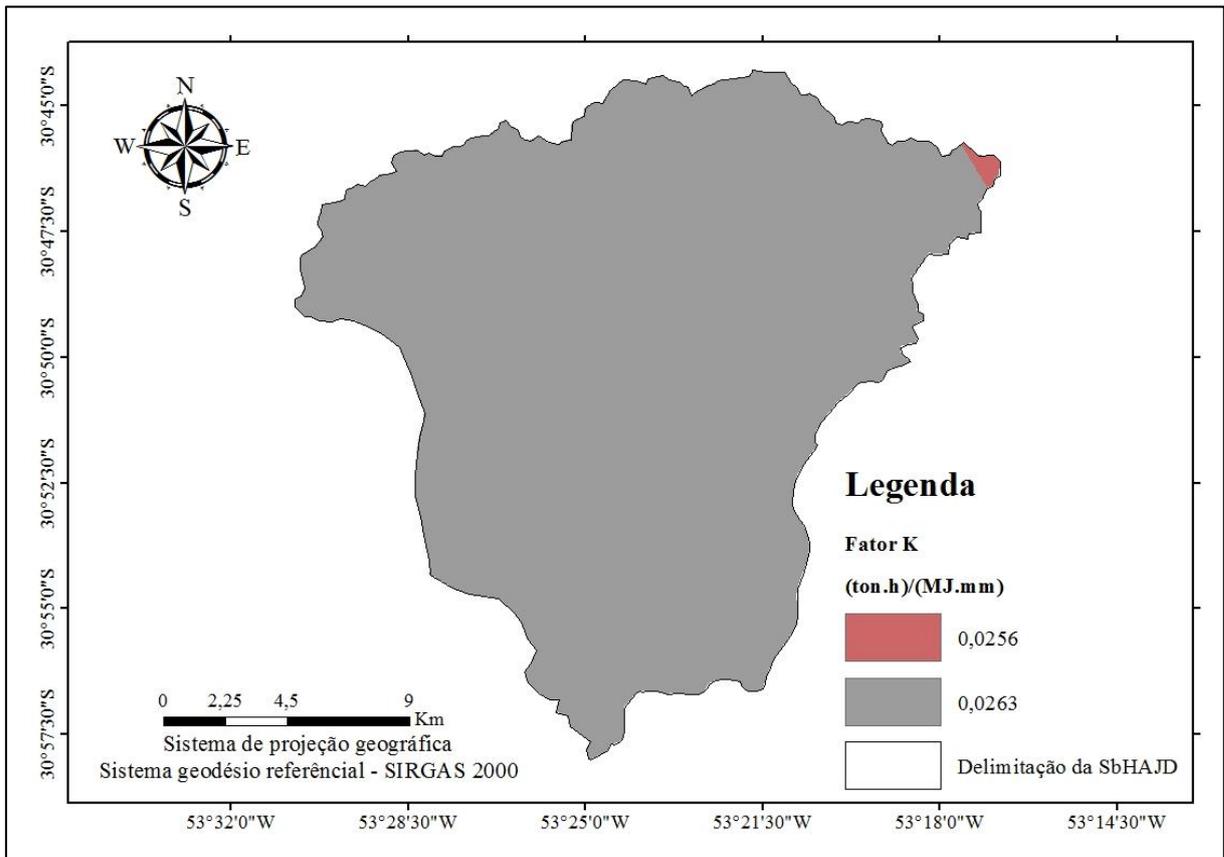
Fonte: Autora, 2020.

Com maior representatividade na Sub-bacia, o Neossolo Litólico é considerado um solo raso sobre a rocha. Ocorre geralmente, em condições de topografia acidentada, onde há muito afloramento de rochas, nas encostas do planalto e dos morros, predominantemente, em relevo forte ondulado com declividades entre 25 e 45 % (MARQUES et al., 2007). Esses são solos minerais, não hidromórficos, que possuem o mais baixo grau de desenvolvimento pedogenético. Por esta razão possui sequenciamento de horizontes muito simplificado, distribuído em pequenas profundidades. A característica peculiar desta classe é a de possuir o horizonte A diretamente sobre rocha, ou ainda sobre horizonte C ou Cr (CURCIO; BONNET; KACHAROUSKI, 2020). A mineralogia das frações areia grossa e fina, dos cascalhos e calhaus, nos Neossolos Litólicos não apresenta quartzo na sua constituição, sendo formada predominantemente por fragmentos de rochas vulcânicas, apresentam ainda minerais facilmente alteráveis, como feldspatos, anfibólios/piroxênios, apatita, além de minerais opacos (magnetita e hematita) e concreções ferruginosas e manganosas (MARQUES et al., 2007).

Na área da pesquisa aparece ainda um tipo de solo que tem uma ocorrência apenas pontual, localizado em uma pequena mancha ao norte da bacia, que é o Argissolo Vermelho.

Os argissolos são solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural, com coloração que varia de vermelha a amarela. São solos em geral profundos e bem drenados (RIBEIRO, 2006). Pela diferença morfológica e constitucional entre os horizontes desses solos, eles costumam ser suscetíveis à erosão, sobretudo linear, por facilitarem a formação de lençol suspenso logo acima do horizonte B (SALOMÃO, 1999).

Figura 15 - Mapa de erodibilidade dos solos – Fator K, para a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias (SbHJD).



Fonte: Autora, 2020.

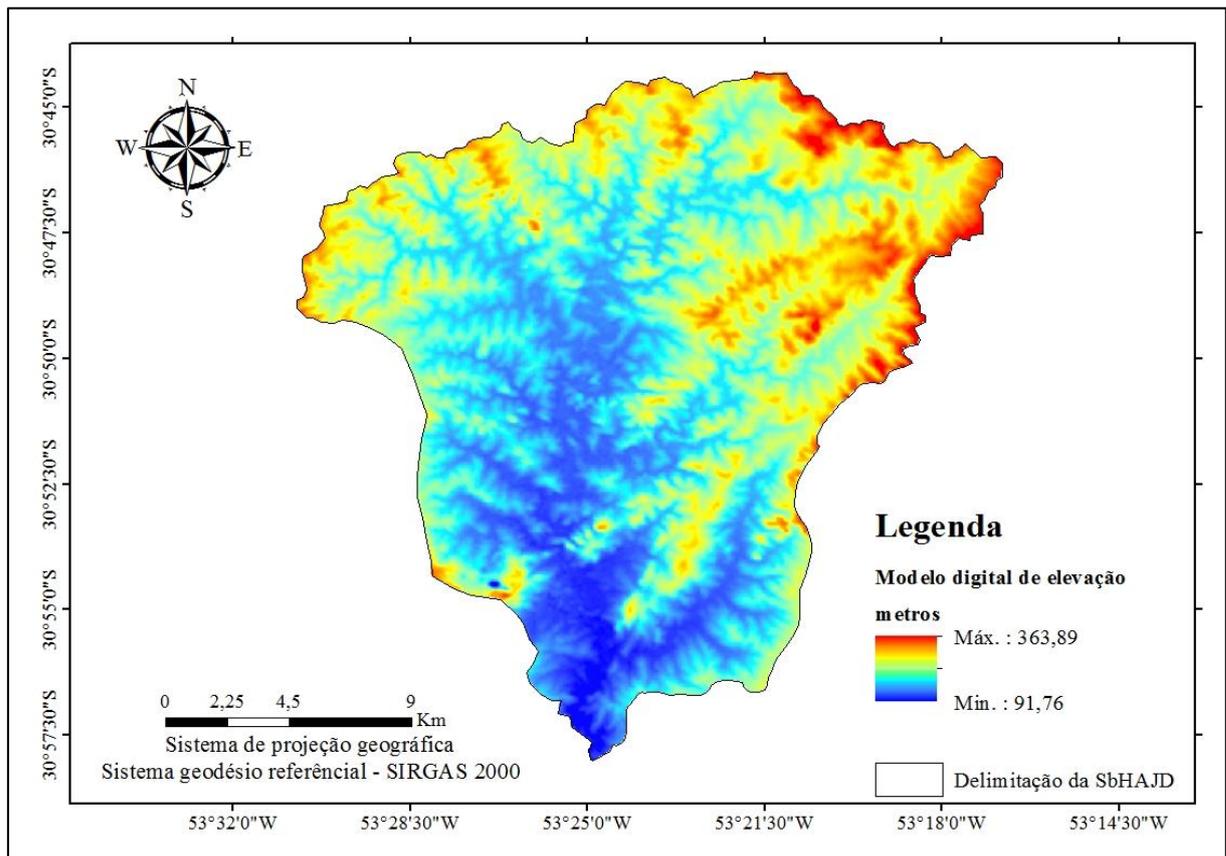
Geralmente os Argissolos e Neossolos Litólicos, possuem pouca estabilidade dos seus agregados devido a sua constituição granulométrica, com predominância de areia, silte e baixo percentual de material cimentante como a matéria orgânica e argila (PEREIRA, 2014). Neste cenário, esses solos são mais propensos à erosão principalmente pela baixa resistência frente ao desprendimento das partículas durante os eventos pluviométricos intensos. A erodibilidade varia para cada tipo de solo, pois mesmo que os fatores declividade, precipitação, cobertura vegetal e práticas conservacionistas fossem iguais em solos argilosos e arenosos, os últimos, devido às suas características físicas e químicas, são mais susceptíveis à erosão (TOMAZONI

et al.,2005). As propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são as que afetam a velocidade de infiltração, a permeabilidade, a capacidade de armazenamento de água e oferecem resistência às formas de dispersão, salpico, abrasão, transporte e escoamento pelas chuvas (LARIOS, 2003). Os solos com maior capacidade de sofrer erosão laminar encontram-se na maior parte da área de estudo e correspondem principalmente as areias quartzosas (Neossolos).

5.1.3. Fator topográfico – Fator LS

O Modelo Digital de Elevação (Figura 16) utilizado para a sub-bacia do Hidrográfica do Arroio João Dias demonstra as feições geomorfológicas que se caracterizam por um relevo que varia de 91 a 364 metros de altitude, formado principalmente pela composição granítica com associações de rochas metamórficas (STRETCH et al., 2008). A partir desse modelo foi possível gerar a declividade, a direção e acumulação do fluxo e consequentemente o fator topográfico para a Sub-bacia.

Figura 16 - Modelo Digital de elevação para a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias.



Fonte: Autora, 2020.

Cabe ainda ressaltar um outro aspecto importante a ser observado, que é a carta de declividade da área (Figura 17), já que o fator declividade é de suma importância na análise dos processos erosivos laminares, uma vez que quanto maior for a declividade, conseqüentemente maior será a suscetibilidade erosiva (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). Com base nisso, tem-se que o relevo da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio João Dias pode ser considerado do tipo ondulado (8-20%) devido a predominância dessa classe no mapa de declividade (Tabela 8), seguido do tipo suave ondulado (3-8%) e do relevo plano (0 - 3%), enquanto as áreas montanhosas (45 - 75%) a escarpadas (>75%) são praticamente inexistentes no local

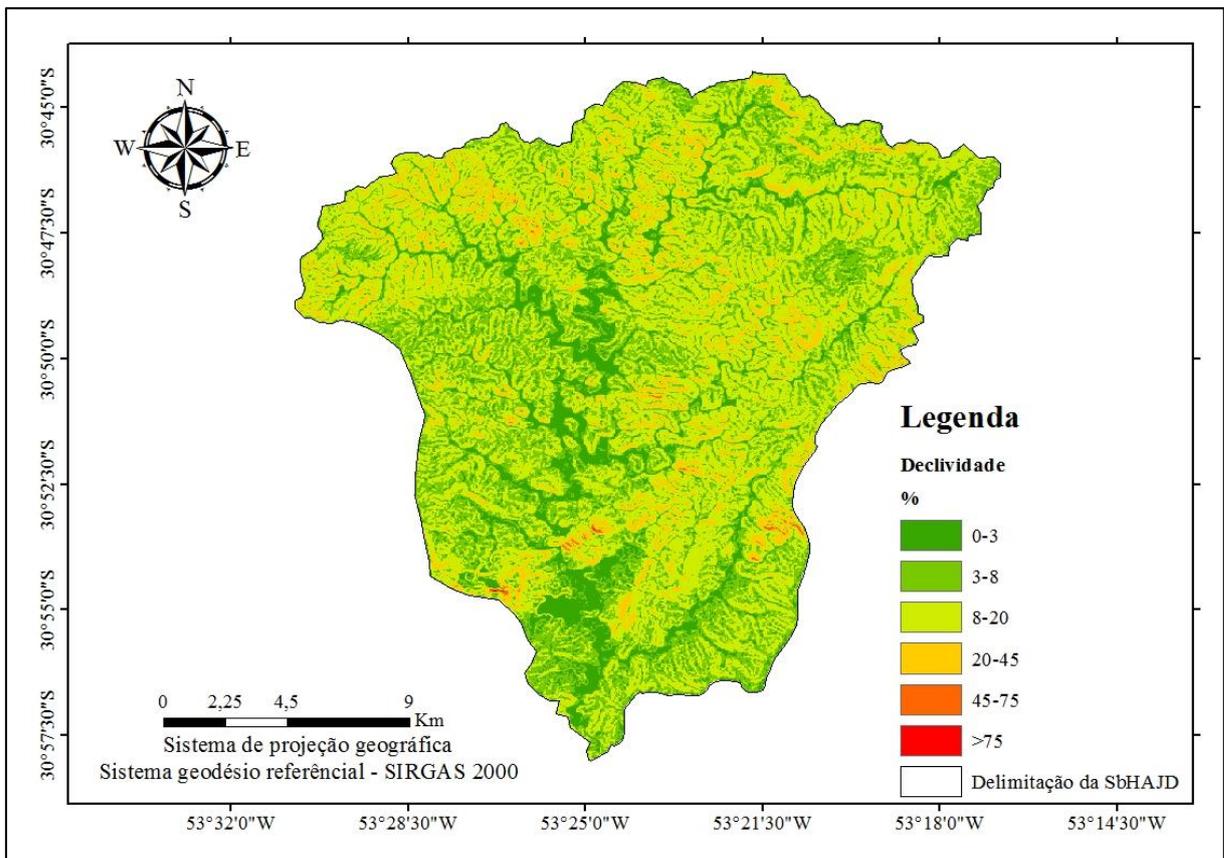
A área de estudo apresenta em geral declividades baixas, com classes, sobretudo, de relevo plano, suave ondulado e ondulado. A classe de 0 a 3% corresponde a áreas planas ou quase planas onde o escoamento superficial costuma ser lento. Na Sub-bacia Hidrográfica do Arroio João Dias as classes de relevo >20% compõem a menor área da região, chegando a 8% do total da Sub-bacia. Essa declividade se encontra junto às bordas de relevos tabulares isolados, do tipo morro-testemunho ou nas transições ligeiramente mais suavizadas do topo para a zona escarpada. Nestas classes o escoamento superficial costuma ser mais rápido e é nas escarpas justamente onde se encontra a maior densidade de drenagem, revelando processo de dissecação intensa, marcada por numerosos sulcos e ravinas, além de movimentos de massa como os deslizamentos e desmoronamentos (OLIVEIRA, 2004).

Tabela 8 - Distribuição das classes de declividade para a SbHAJD.

Declividade %	Relevo (EMBRAPA, 1979)	Área %
0 - 3	Plano	11,8
3 - 8	Suave-Ondulado	30,37
8 - 20	Ondulado	49,85
20 - 45	Forte-Ondulado	7,85
45 - 75	Montanhoso	0,13
>75	Escarpado	0

Fonte: Autora, 2020.

Figura 17 - Mapa de declividade da região da Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias.



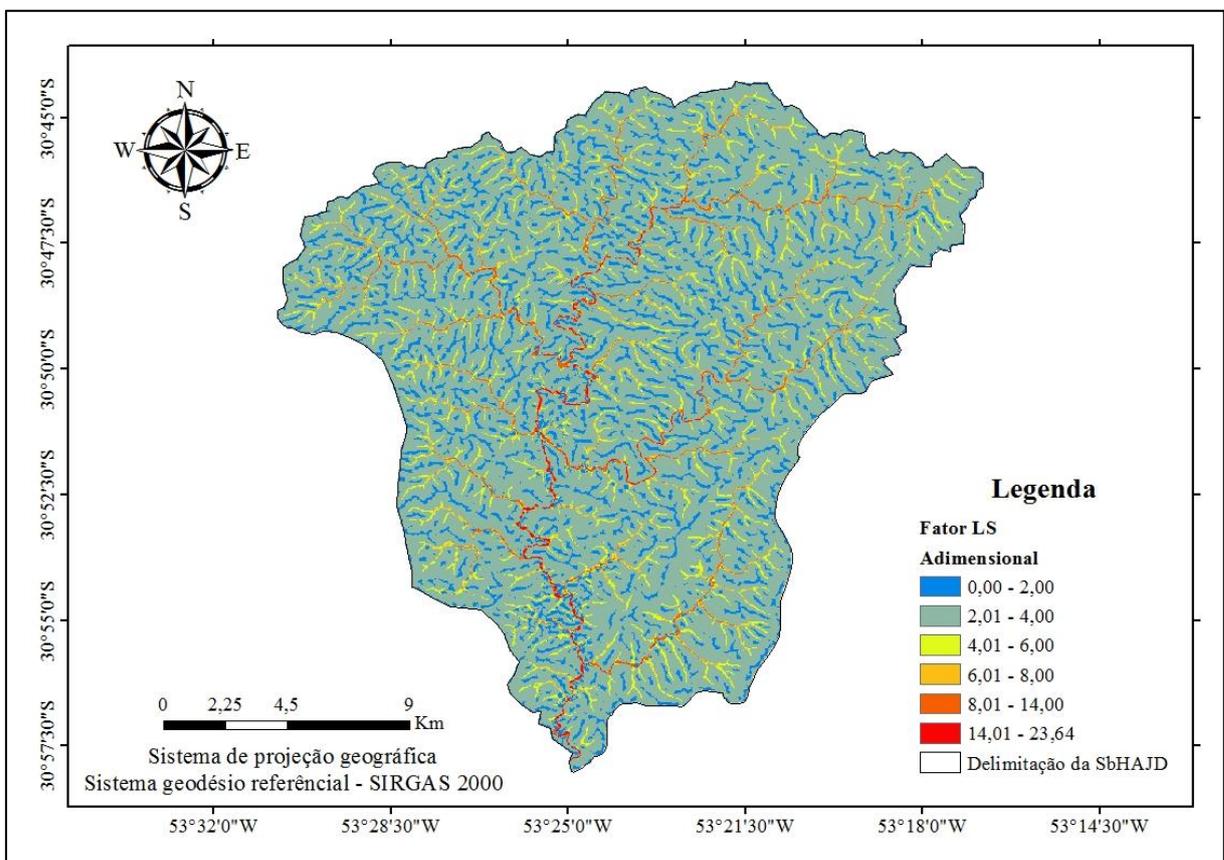
Fonte: Autora, 2020.

De acordo com Wishmeier e Smith (1978), o comprimento da rampa e a declividade (Fator LS) se configuram como um dos elementos mais importantes da EUPS. O fator L desempenha influência significativa no processo erosivo, principalmente pela interferência do comprimento da vertente na velocidade de escoamento superficial, e, por conseguinte na intensidade e quantidade de material transportado (PEREIRA, 2014).

Este mapa contém informações de LS para cada pixel, representados numa grade de células regular, que abrange a área de estudo. Esse representa o potencial topográfico de erosão hídrica laminar e possui valores variando de 0 a 23,64 (Adimensional) com predominância de valores próximos a zero. Sendo essa classe a de maior representatividade na área de influência da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio João Dias. Segundo Pham, Degener e Kappas (2018), quando a maioria dos valores são abaixo de 1,0 significa que a inclinação é muito íngreme e os comprimentos de inclinação são curtos, isso leva a um fluxo muito intenso e torna a erosão do solo mais séria.

A declividade interfere expressivamente na determinação desse fator, as áreas com valores de LS próximos a 23,64 (adimensional), possuem declividades de 0 a 3% correspondendo as áreas planas, ou seja, o fator LS aumenta nas proximidades dos cursos hídricos influenciando de forma significativa no processo de erosão laminar. A partir da análise, observa-se que o valor do fator topográfico aumenta na faixa de 0 a 24 à medida que a acumulação e a inclinação do fluxo aumentam (Figura 18).

Figura 18 - Mapa do fator topográfico – Fator LS, para a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias (SbHAJD).



Fonte: Autora, 2020.

5.1.4. Uso, manejo e práticas conservacionistas – Fator CP

Concluído o mapeamento, foram identificadas 6 classes de uso e cobertura do solo, sendo elas, Corpos d'água; Agricultura; Solo exposto; Afloramento de rocha; Mata nativa e Vegetação campestre (Figura 19). A interpretação visual possibilitou identificar áreas que não foram bem qualificadas através da classificação supervisionada. O uso do solo predominante

na área de influência da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio João Dias é a vegetação arbórea, vegetação campestre e afloramento de rochas.

Possuindo 47,40% da área com mata nativa tem-se que, a vegetação arbórea é floristicamente heterogênea. Na área de estudo sua presença é maior nas proximidades do arroio e da rede de drenagem. Isso indica que a Sub bacia e as Áreas de Preservação Permanente (APPs) estão bem preservadas, porém ao longo do trecho do arroio apresenta um fragmento pontual de mata ciliar em estágio avançado de degradação (área assoreada e barragem de rejeitos), que sofreu algum tipo de ação antrópica, sendo que nessa área em estudo praticamente não existe vegetação.

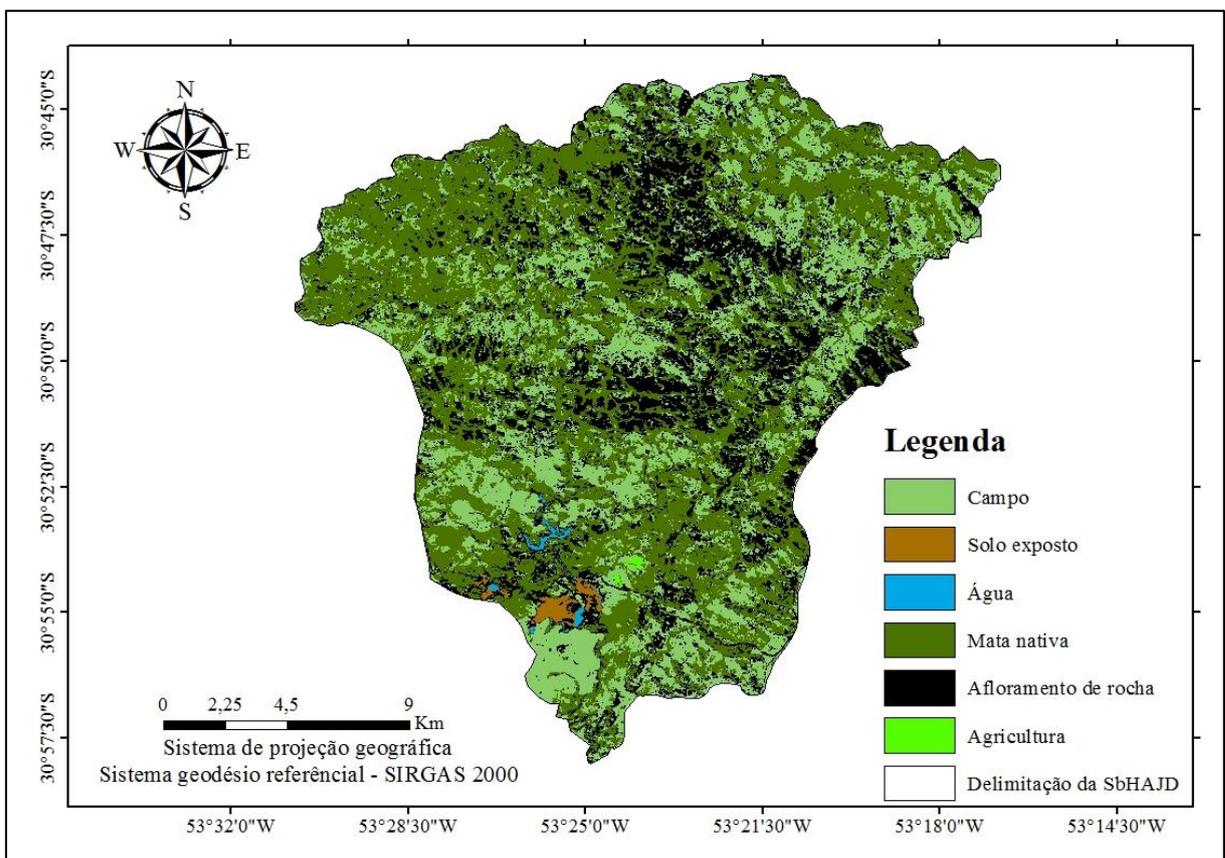
Nesta região tem-se também grande presença de campos, compondo 28,30% da área, sendo essa uma fitofisionomia muito comum no Pampa Gaúcho devido a pecuária. Os campos de pastagens naturais, que servem como principal alimento para o rebanho bovino, são muito presentes na paisagem rural de Caçapava do Sul (PEREIRA, 2016). Esses podem se apresentar em duas categorias, os campos limpos sem componentes lenhosos e os campos sujos, campos com arbustos e subarbustos, esses podem ser facilmente confundidos com vegetação nativa na classificação supervisionada da imagem de satélite de média resolução LandSat 8.

A presença de afloramento de rochoso teve grande relevância no mapa da bacia, ocupando a terceira maior parcela de área 23,40%. Segundo Stretch et al. (2008), a região do Escudo Sul-Riograndense apresenta a litologia mais antiga do Rio Grande do Sul, são rochas que datam do período Cambriano (542 milhões de anos) ao Arqueano (mais de 2500 MA), sendo geologicamente complexas, são formadas principalmente pela composição granítica com associações de rochas metamórficas. Essas são desenvolvidas sobre uma matriz arenítica e dispostas ao longo de mosaicos de campo-floresta em solos rasos e cobertos de afloramentos (PEREIRA, 2016). O solo exposto representa 0,6% da área de estudo, essa porcentagem inclui o assoreamento presente no arroio João dias, a área de mineração de cobre e também a barragem de rejeitos de mineração instalada no local em 1970. Possuindo 0,2% da área, nesta classe são englobados elementos como: represas artificiais, barramento de mineração e rios que possuem largura acima da escala da imagem, 30 metros.

Por fim, a presença de agricultura é de 0,1% da área da Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias. No município de Caçapava do Sul a principal exploração do meio agrário está centrada na pecuária de corte extensiva, em grandes extensões de campos nativo. Se tratando de cultivos, os principais desenvolvidos são as pastagens cultivadas, soja, eucalipto e em pequena proporção, as oliveiras (PEREIRA, 2016). Ainda que, observada relativa proteção pela cobertura vegetal é necessário ponderar que algumas culturas oferecem maior proteção ao solo

frente aos eventos pluviométricos do que outras. As culturas de ciclo longo ou permanentes conferem maior cobertura ao solo e, portanto maior resistência aos processos erosivos. (PEREIRA, 2014). Pruski (2009) afirma que, as ações que permitem a diminuição da energia cinética da chuva, o aumento da infiltração e o armazenamento de água no solo são fundamentais no controle dos processos erosivos e, por conseguinte na minimização da degradação dos solos.

Figura 19 - Mapa de uso e ocupação do solo para a SbHAJD, utilizando imagem LANDSAT 8 do ano de 2019.

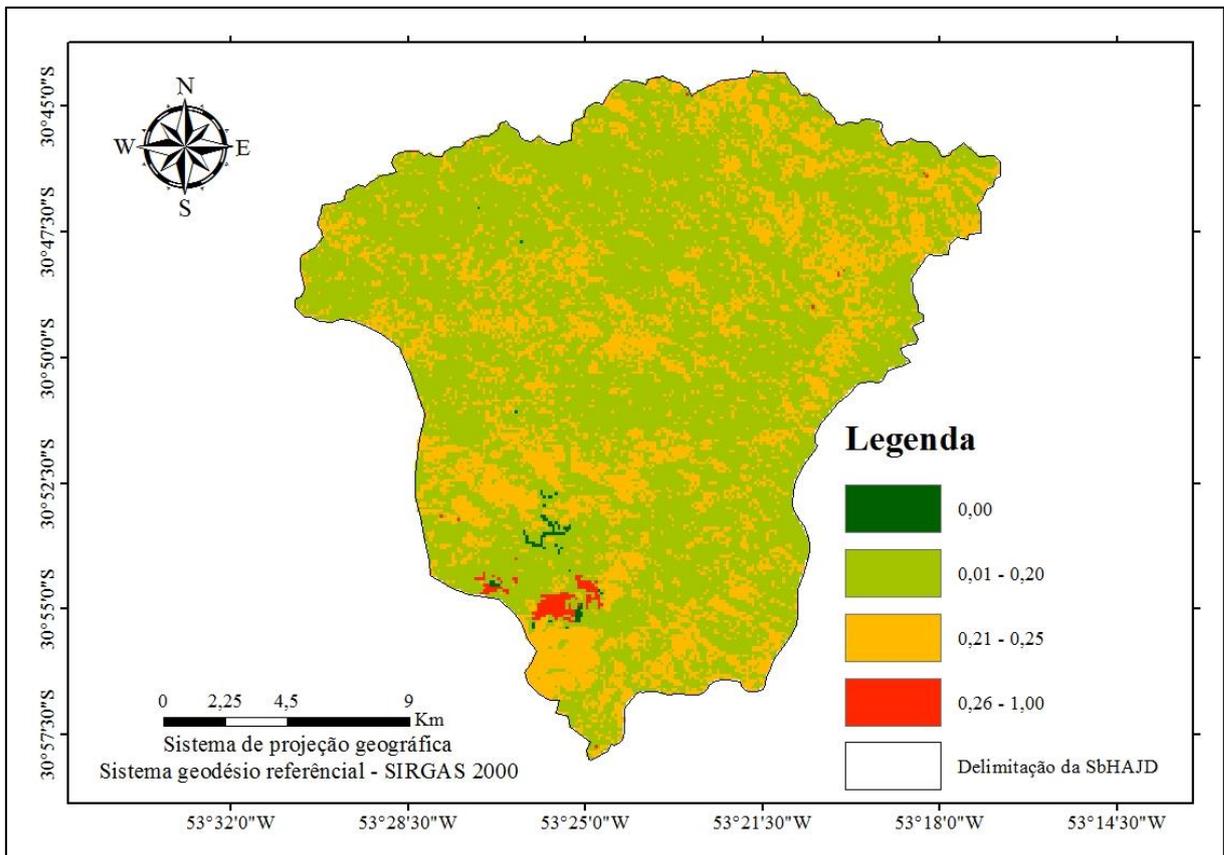


Fonte: Autora, 2020.

No mapa elaborado (Figura 20), tem-se que os valores do Fator CP variam de 0 a 1. Observando-se os valores de CP, desconsiderando o valor zero que representa corpos d'água e áreas úmidas, tem-se que os valores mais baixos estão associados às classes de cobertura vegetal mais densa. Entende-se que, por possuírem mais fitomassa, maior será sua importância na proteção do solo contra a remoção de sedimentos no processo de escoamento superficial (VALENTIN, 2008), evitando também o levantamento das partículas pelo efeito de salpicamento (BARBOSA et al., 2016). Já os maiores valores estão associados às classes que

apresentam pouca ou nenhuma cobertura de solo, como por exemplo a classe solo exposto caracterizada pela ausência de vegetação, portanto pela alta susceptibilidade em ser erodido.

Figura 20 - Mapa do fator de uso e manejo dos solos – Fator CP, para a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias (SbHAJD).



Fonte: Autora, 2020.

Não foi possível realizar uma análise comparativa com outros anos devido a qualidade das imagens e o número de bandas disponíveis. As imagens do LandSat 1-5 possuem apenas quatro bandas e as do LandSat 4-5 possuem sete, enquanto as imagens do LandSat 8 (imagem de 2019) possuem 11 bandas. Nas imagens mais antigas não foi possível identificar o solo exposto e as rochas separadamente, as áreas rochosas eram identificadas como solo exposto causando grande erro no mapa final de Erosão Hídrica Laminar - Fator A. A classificação para os corpos hídricos também apresentou dificuldades em sua análise, pois apresentam coloração escura podendo ser facilmente confundidas com o solo.

5.1.5. Índice de Erosão Laminar – Fator A

A quantificação de perdas de solo da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio João Dias (Figura 21) foi realizada a partir da multiplicação dos fatores de erosividade, erodibilidade, fator topográfico e uso e manejo do solo. Esses fatores foram inseridos e multiplicados no software ArcGis 10.5 e todos os fatores foram organizados com resolução do pixel de 30 metros e com o sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000. De acordo com Sánchez (2008), a intensidade da erosão varia de acordo com os fatores, como clima, tipo de solo, declividade e cobertura vegetal. Em climas tropicais, ocorrem chuvas intensas (ou seja, grande quantidade de água em curto período de tempo), de potencial erosivo. Por sua vez, escarpas íngremes estão mais sujeitas a ação erosiva da chuva do que vertentes suaves. Assim, a erosão natural varia em intensidade e pode ser medida em termos de massa de solos perdida por unidade de área e por intervalo de tempo ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$).

O resultado apresentado (Tabela 9), mostra que em 72,12% da área da Sub-bacia João Dias, as perdas de solo ficaram abaixo de $5 \text{ ton} \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$, sendo estas consideradas de intensidade baixa de acordo com a FAO (1967). Essas áreas são constituída apenas por vegetação nativa e afloramento rochoso. Em teoria, tanto as características morfológicas das plantas, tais como o diâmetro da raiz, e características biomecânicas, a resistência à tração de raiz, têm efeitos significativos sobre a erosão do solo (BURYLO et al., 2012). A diversidade de espécies é um dos principais fatores para o sucesso da vegetação em controlar a erosão, a diversidade das comunidades arbóreas desempenha um papel fundamental na melhoria dos serviços ecossistêmicos, tais como filtração de água e regulação do clima (SCHERER-LORENZEN, 2014). Quando ausente ocorre o aumento do escoamento superficial, erosão do solo, inundações a jusante (BEN-HUR, 2008), e exportação de sedimentos, matéria orgânica, nutrientes e poluentes que podem pôr em perigo os habitats aquáticos (FERREIRA et al., 2008). Se houver a retirada da vegetação arbórea e/ou diminuição das Áreas de Preservação Permanente, possivelmente as perdas de solo irão alcançar maiores proporções.

A segunda maior parcela, com abrangência de 27,02% da área de estudo apresentou uma perda de solo de 50 a $200 \text{ ton} \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$, classificada como alta. Essa classe é composta somente por vegetação campestre. Segundo Boldrini et al. (2010), existem mais de 2.200 espécies campestres no bioma Pampa, centenas destas espécies têm valor forrageiro que permite o desenvolvimento de uma pecuária ecológica, baseada na conservação do campo nativo, ao contrário de outros sistemas baseados na produção com espécies forrageiras exóticas e dependentes de insumos. As características geográficas deste bioma são determinadas por um

clima chuvoso; o relevo é caracterizado como aplainado e suave ondulado, formado por um mosaico de solos basálticos e sedimentares, geralmente rasos e frágeis (MATEI; FILIPPI, 2012). Esse está sujeito à erosão e à desertificação, provocadas por pastoreio intenso e queimadas, comuns na região, onde o maior problema enfrentado é o processo de arenização. Essa é uma forma de erosão que torna o solo frágil e incapaz de manter a cobertura vegetal. Quando a vegetação não se fixa no solo, a água da chuva escoar e carrega a matéria orgânica, deixando a parte arenosa exposta. A principal causa da arenização é a inadequada ocupação humana, intensificada pela expansão das lavouras de soja e da pecuária (CARVALHO; GUIMARÃES, 2011).

Foi possível observar ainda, que as maiores perdas de solo presentes na região, ou seja, aquelas maiores que $200 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, representam 1,86% da área, essas se concentraram nas regiões próximas a áreas com solo exposto onde temos a barragem de rejeitos e a área assoreada em estudo, essas apresentam erosão muito alta ($>200 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$). Observando as imagens de satélites (Figura 24), nota-se que a mata ciliar na região assoreada no ano de 2019 é praticamente inexistente. Segundo Batista (2017), a cobertura vegetal, em especial as matas ciliares, contribuem na atenuação da erosão do solo, e também atua na interceptação das chuvas. No caso específico do Brasil, o Código Florestal (Lei 12.651, de 25 de maio de 2012) estabelece faixas de vegetação que devem ser protegidas ao redor dos corpos d'água e nascentes, a título de preservação permanente (APP). A definição das larguras dessas faixas foi estabelecida com pouco suporte científico e sem levar em consideração características específicas da microbacia, como fisionomia da vegetação, estado de degradação da área, tipo do solo, declividade e comprimento da vertente (FILIPPE, 2006).

Percebe-se ainda, nas figuras 16 e 20, grande influência das características como o uso e ocupação do solo e o tipo de solo presente no local. Segundo Trindade et al. (2015), o estudo da granulometria para o solo presente na barragem de rejeitos das Minas do Camaquã revela a predominância da fração areia em relação aos demais tamanhos de grãos. Posteriormente são significativas as porções de silte nas amostras. As frações de argila e cascalho são muito reduzidas. Expressando de modo total as frações analisadas, também nota-se a predominância da fração arenosa com 75% ($1 - 0,062 \text{ mm}$) em relação às demais: silte em 23,1% ($< 2\text{mm}$). Um solo arenoso, com grandes espaços porosos, pode absorver, durante uma chuva de baixa intensidade, toda a água, não havendo dano; entretanto, devido à baixa produção de argila que atua como uma ligação entre as partículas grandes, pequena quantidade de enxurrada que escorre na superfície pode arrastar grande quantidade de solo (LIMA, 2015). Como a areia não oferece resistência ao batimento da água, eles são extremamente suscetíveis à erosão e ao

desbarrancamento, razão pela qual não devem ser destituídos de sua vegetação natural em hipótese nenhuma (RACHWAL, 2003).

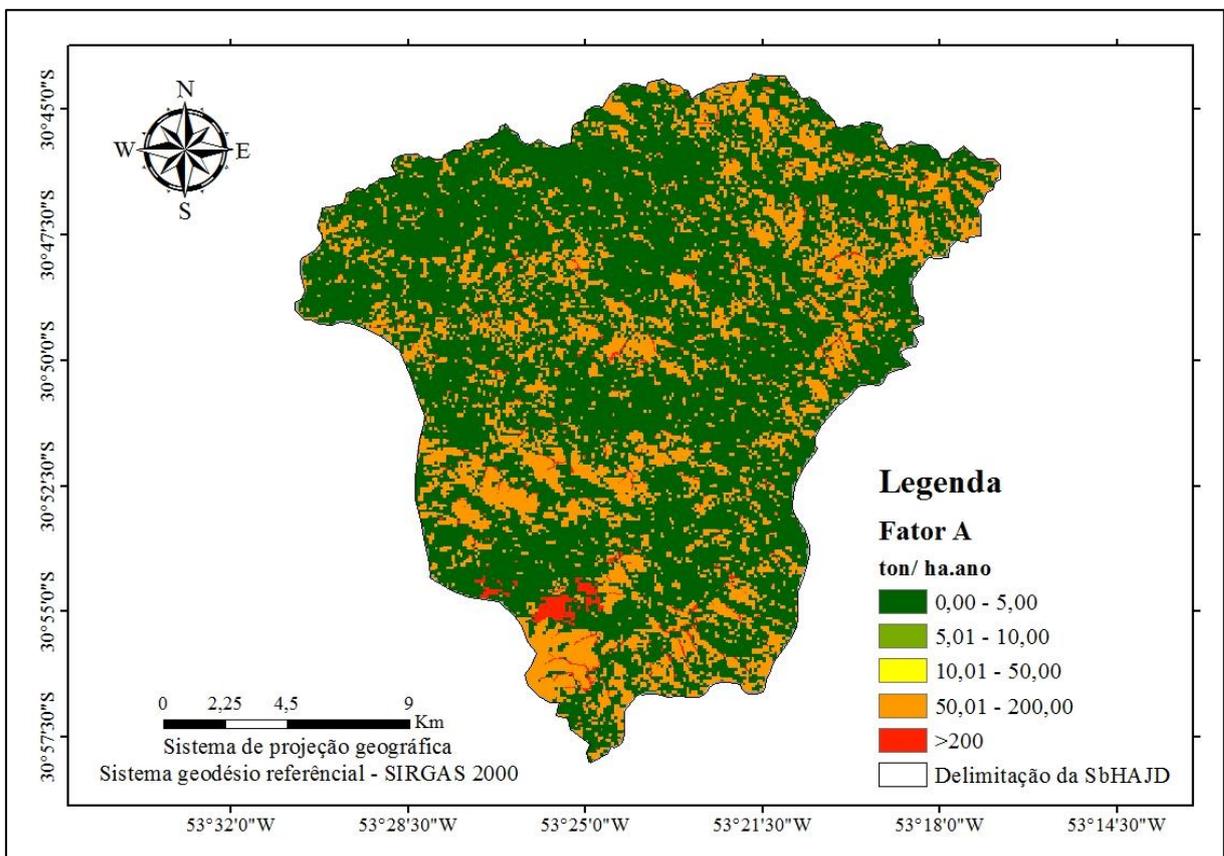
Conforme estudos realizados por Bertol et al. (1987), Lopes, Cogo e Cassol (1987), e Amado, Cogo e Levien (1989), uma cobertura do solo em torno de 20 % proporciona uma redução, de aproximadamente, 60% nas perdas de solo, em relação às perdas totais ocorridas no solo descoberto. Dados de Bertol, Cogo e Levin (1987), mostram que as perdas de solo podem ser reduzidas em até 80% com uma cobertura de solo de 60 %.

Tabela 9 - Distribuição do potencial erosivo na Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias.

Classificação (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Classe de erosão laminar	Área (%)
0 - 10	Baixa	71,12
10 - 50	Moderada	0
50 - 200	Alta	27,02
>200	Muito alta	1,86

Fonte: Adaptado de FAO, 1967.

Figura 21 - Mapa de potencial perda de solo por erosão laminar para Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias.



Fonte: Autora, 2020.

5.2. Evolução do assoreamento

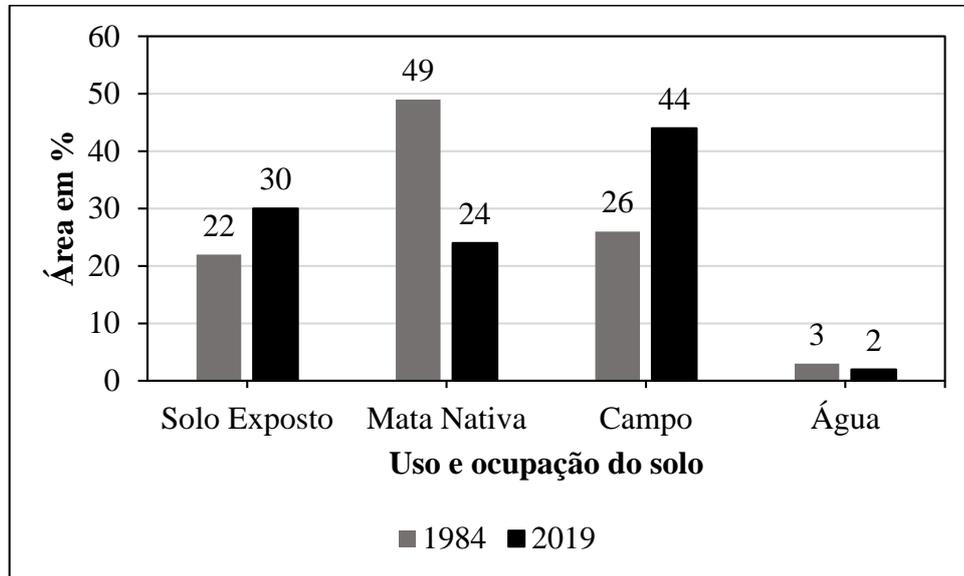
Através da análise temporal realizada na região das minas do Camaquã pode-se notar que o avanço da área assoreada ao longo dos anos se deu de forma heterogênea, em alguns anos a paisagem permaneceu estável com poucas alterações e em outros anos houve o aumento de alguns fatores como a presença de mata nativa, vegetação campestre e solo exposto.

Comparando as imagens de 1984 e 2019, tem-se uma grande redução nas áreas de preservação permanente e um aumento considerável de solo exposto, esse inclui a barragem de rejeitos e a área assoreada no leito do arroio (Figura 24). Com base no gráfico (Figura 22) comparando a mudança na paisagem entre os anos de 1984 a 2019 se observa uma mudança drástica. Percebe-se que a vegetação nativa reduziu em torno de 50% ao longo dos anos, sendo essa, substituída pela presença de campos. É notável também um aumento considerável no que se refere ao solo exposto. Tal característica pode ter se originado principalmente pela ação antrópica com a remoção da vegetação causando um aumento da erosão no leito do arroio e também maior deposição de sedimentos através do escoamento superficial. Os processos erosivos acelerados e os movimentos de massa que ocorrem que provocam o assoreamento, devem-se a fatores geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos e também ao uso do solo (GUERRA; DE ALCÂNTARA SAMPAIO, 1996). Devido aos mapas só captarem pixels acima de 30 metros não foi possível analisar toda a dimensão do curso d'água, apresentando somente as áreas alagadas.

O risco de assoreamento está diretamente associado à suscetibilidade dos solos à erosão e ao tipo de uso que lhes é dado principalmente nas faixas marginais de preservação permanente. As funções ambientais das Áreas de Preservação Permanente (APPs) encontram-se previstas no art. 3º, II, do Código Florestal vigente: preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas (BRASIL, 2012). A ocupação inadequada destas áreas pode acarretar diversos danos, bem como um desequilíbrio ambiental, uma vez que podem ser alteradas a composição dos solos, a fauna e flora, bem como os corpos hídricos que ficam sujeitos ao assoreamento e à contaminação das águas (ZANATA et al., 2012). A mata ciliar possui papel estratégico na conservação da biodiversidade, na preservação da qualidade da água e evita o assoreamento dos mananciais (VIEIRA, 2003). Nesse sentido,

Fonte: Autora, 2020.

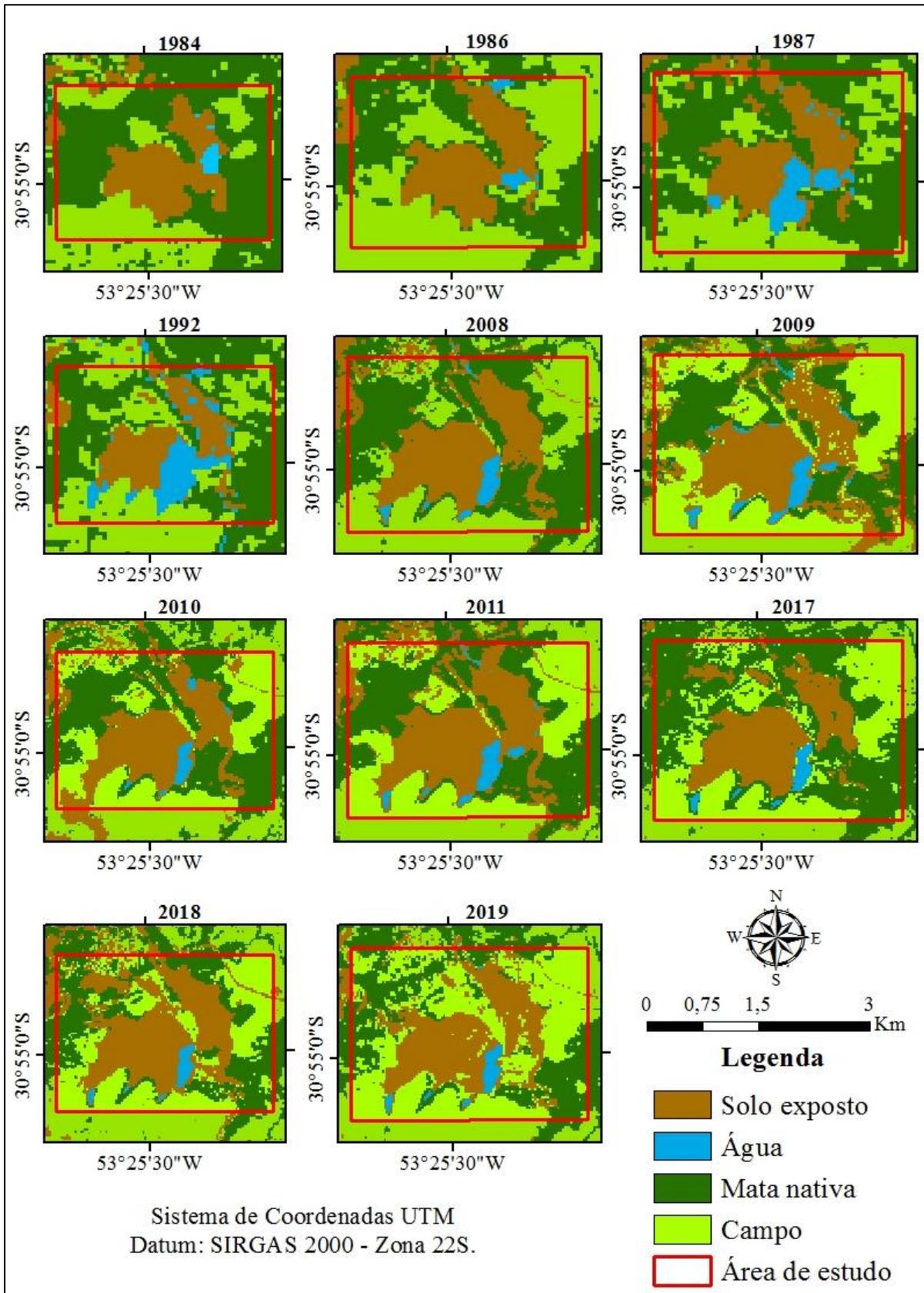
Figura 22 - Quantificação do uso e ocupação do solo em % de área nas minas do Camaquã nos anos de 1984 e 2019.



Fonte: Autora, 2020.

A cada ano nota-se o ambiente se transformando, as mudanças ocorridas no solo, como, o aumento do assoreamento e ausência da vegetação nativa, principalmente da mata ciliar fica evidente ao longo dos anos. A importância dessa análise se dá principalmente no que se refere ao entendimento dos fatores antrópicos que desencadeiam os processos erosivos. Essa abordagem facilita definir com clareza qual ação antrópica causou ou contribuiu para o surgimento e evolução da erosão, além de possibilitar uma melhor visualização da ocupação, perceber se ela é adequada ou inadequada. Admite-se que este conhecimento pode auxiliar no controle preventivo e corretivo das erosões.

Figura 23 - Mapas comparativos para a evolução do uso e ocupação do solo da área de estudo localizada nas Minas do Camaquã (1984 - 2019).



Fonte: Autora, 2020.

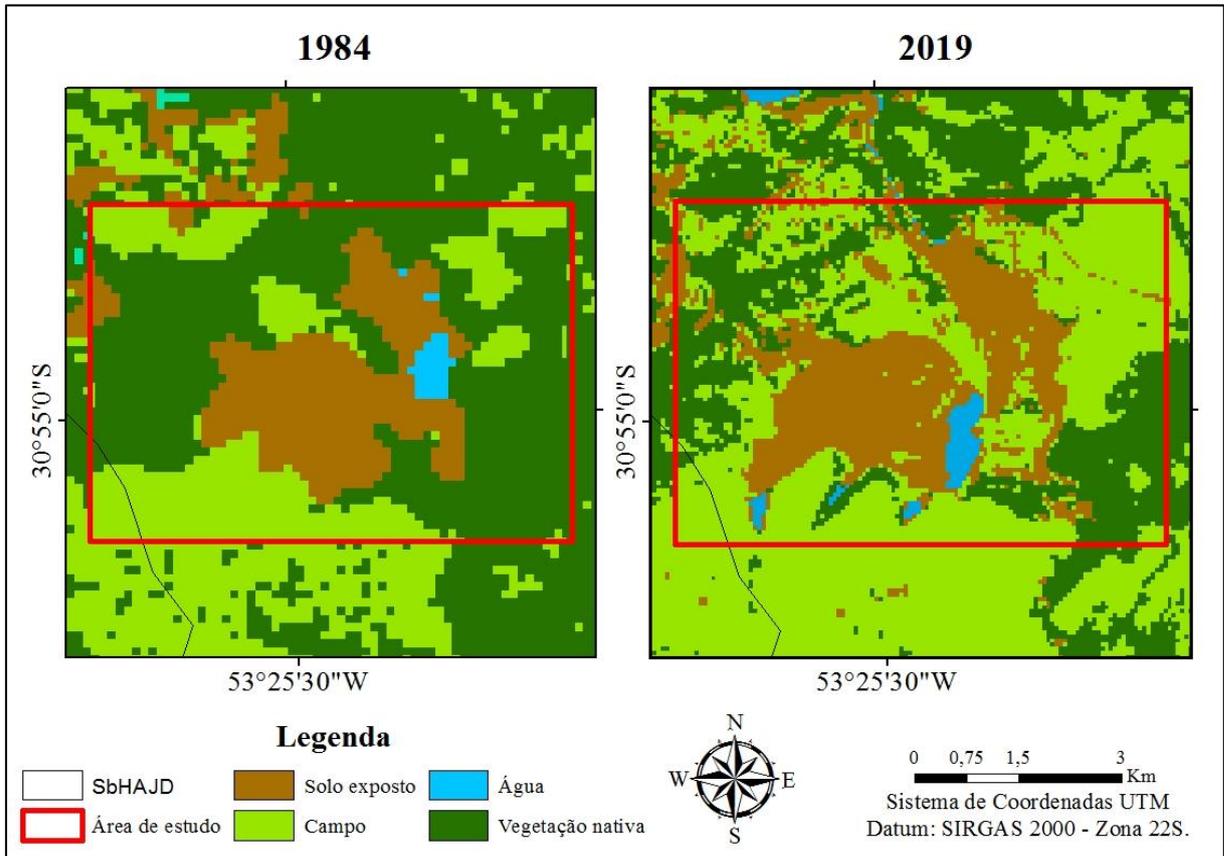
5.3. Causas do assoreamento

De acordo com os mapas da Equação Universal de Perda de Solos e com a análise multianual realizada entre os anos de 1984 a 2019, estimou-se as perdas de solo e as possíveis causas do assoreamento presente no leito fluvial do arroio João Dias, na região das Minas do Camaquã.

A análise multianual (Figura 24), apresentou a remoção da vegetação como fator determinante para o aumento do assoreamento ao longo dos anos, tendo em vista que a área teve uma redução de 50% da mata nativa afetando principalmente as áreas de preservação permanente (APPs) presente no leito do arroio. Essas, quando protegidas, exercem um efeito tampão reduzindo o escoamento superficial e carreamento de substâncias e elementos para os corpos d'água (TUNDISI et al, 2006). Desse modo, são destinadas a proteger a estabilidade geológica e o solo, também previne o assoreamento dos corpos d'água e a ocorrência de enxurradas e deslizamentos de terra (MMA, 2011).

Observa-se também aumento de 35% na classe de solo exposto influenciando diretamente no aumento do escoamento superficial e aumentando o risco a enchentes. Conforme Sánchez (2008), a remoção de vegetação nativa também afeta outros processos, além do processo erosivo. A infiltração de água no solo é mais um dos processos modificados pela retirada de vegetação. Nesse caso, o processo é retardado, ou seja, ao invés de se infiltrar e alimentar os reservatórios subterrâneos, uma proporção maior da água de chuva esco superficialmente, aumentando o volume de água nos rios. Um exemplo típico é o da perda de uma porção de vegetação nativa, comum em empreendimento como barragens, minas e outros (LIMA, 2015).

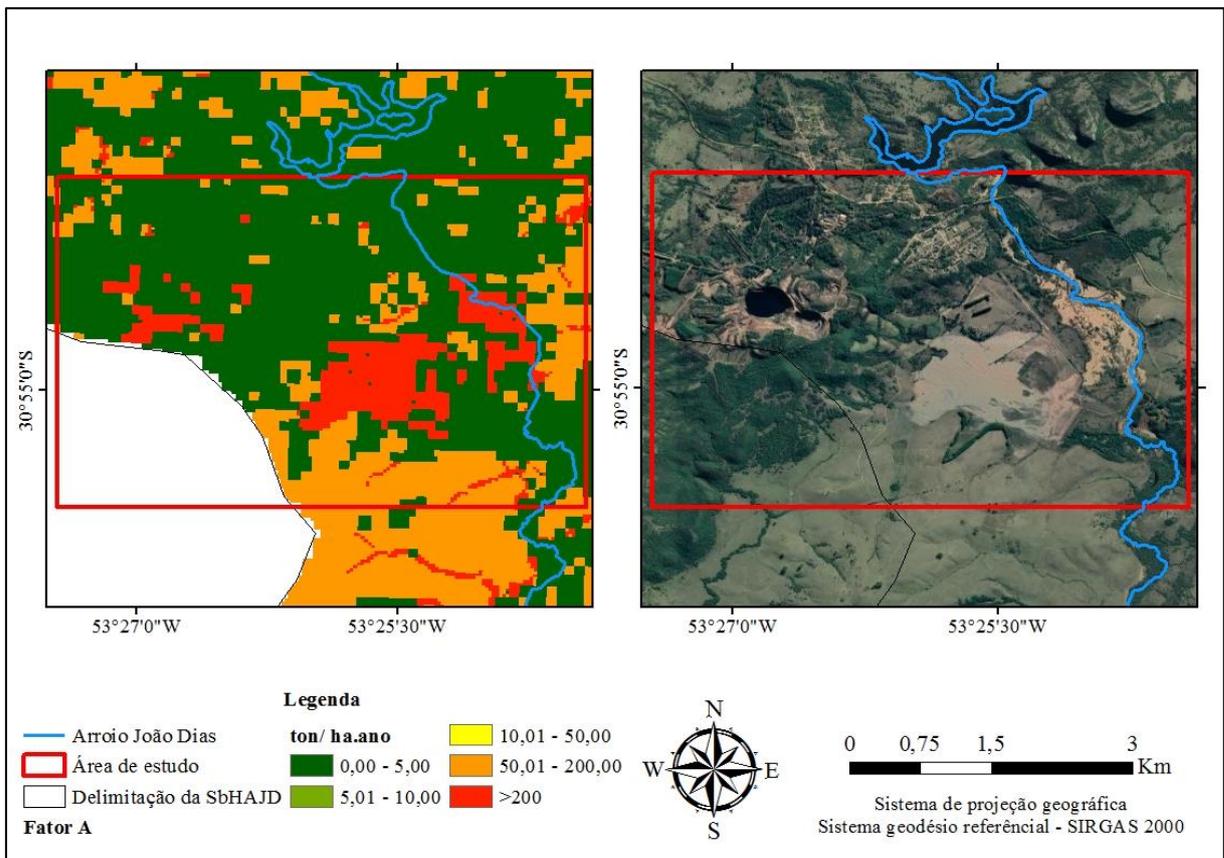
Figura 24 - Comparação entre as imagens de satélite dos anos de 1984 e 2019, na localidade das Minas do Camaquã.



Fonte: Autora, 2020.

Já com a Equação Universal de Perdas de Solo (Figura 25), tem-se que os maiores valores de potencial erosivo foram encontrados nas áreas de menor declividade, sem presença de vegetação. Essa condição indica que, neste caso, o modelo recebeu maior influência das características como, o fator topográfico e do uso e ocupação do solo. As perdas de solo maiores que $200 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, encontram-se no leito do arroio, na área de mineração de cobre e na barragem de rejeitos. Essas perdas elevadas podem ser características da deposição de rejeitos, da construção da barragem para captação de água, remoção da cobertura vegetal, desmatamento de Áreas de Preservação Permanente (APP's), tipo de solo ou índice pluviométrico elevado na região de Caçapava do Sul.

Figura 25 - Região das Minas do Camaquã em Caçapava do Sul e sua respectiva perda de solo em ton/(ha.ano).



Fonte: Autora, 2020.

Não foi possível obter imagens anteriores ao ano de 1984, mas acredita-se que a construção da barragem de rejeitos e da barragem de captação de água para o abastecimento público tem grande influência na situação atual da área de estudo. As construções de barragens em determinados trechos de rios causam desequilíbrio no curso do rio, levando a uma série de notáveis danos ambientais, em alguns casos, irreparáveis. Os rios podem ter suas formas alteradas normalmente, em decorrência da erosão que ocorre em suas margens (ARAÚJO et al., 2016). As barragens e as mudanças que ocorrem provenientes de sua construção aceleram esse efeito. O resultado do aumento da erosão fluvial pode ser mais notado à jusante da barragem em razão das descargas resultantes da operação da mesma (COELHO, 2008). A erosão e o assoreamento são consequências inevitáveis na construção de reservatórios, pois muda de maneira drástica todo o aspecto físico e ambiental prévios, entretanto, algumas atividades antrópicas, podem corroborar para minimizar esse impacto ou acelerá-lo (ARAÚJO et al., 2016).

O risco de assoreamento está diretamente associado à suscetibilidade dos solos à erosão e ao tipo de uso que lhes é dado principalmente nas faixas marginais de preservação permanente. A avaliação do trecho assoreado no arroio João Dias, constatou forte degradação ambiental que o arroio se encontra. Dentre os principais fatores está a erosão fluvial e pluvial, as quais são decorrentes do solo exposto. Assim, durante as chuvas, ocorre o carreamento do regolito para o leito fluvial, formando bancos de areia e conseqüentemente, tornando-o mais largo e raso. Neste caso, a deposição da carga detrítica carregada pelos rios ocorre quando há diminuição da competência ou da capacidade fluvial (CHISTOFOLLETI, 1980). A formação de bancos de areia já é observada na Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias e podem ser o indicativo da existência de erosão hídrica. As possíveis causas identificadas através dos mapas para esse aumento do assoreamento é a remoção das Áreas de Preservação Permanente (APP's), a construção do reservatório para abastecimento público e a presença de solo exposto nas margens do arroio e na barragem de rejeitos localizada próxima ao arroio.

6. CONCLUSÃO

O uso da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), juntamente com uma análise temporal durante um período de 35 anos possibilitou observar a evolução do assoreamento no leito fluvial do arroio João Dias. A utilização de um SIG associado a um modelo de erosão laminar possibilitou a caracterização física (relevo, tipo de solos, uso e ocupação do solo) da Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias e mostrou-se eficiente para a quantificação das perdas de solo. Possibilitou ainda a identificação e a distribuição espacial dos fatores que mais influenciaram na ocorrência destas perdas para que medidas de controle possam ser adotadas.

O mapa de erosividade da chuva (Fator R) para a Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias apresentou valores variando de 6.700 a 6.925 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, esses se encontram na classe de erosividade moderada a forte. O mapa de erodibilidade do solo (Fator K) apresentou dois tipos de solos presentes na Sub-bacia, sendo eles o Neossolo Litólico e o Argissolo Vermelho. Ocupando 99,73% da área tem-se a predominância do tipo Neossolo Litólico, sendo esse o que possui maior valor de erodibilidade com K igual a 0,0263 ton.h.MJ⁻¹.mm⁻¹. Enquanto o Argissolo Vermelho possui K igual a 0,0256 ton.h.MJ⁻¹.mm⁻¹. O mapa do fator topográfico (Fator LS), possui valores variando de 0 a 23,64 (adimensional), nele observa-se que o valor do fator topográfico aumenta na faixa de 0 a 24 à medida que a acumulação e a inclinação do fluxo aumentam. No mapa de uso, manejo e práticas conservacionistas (Fator CP), temos que os valores variam de 0 a 1. Desconsiderando o valor zero que representa corpos d'água e áreas

úmidas, tem-se que os valores mais baixos estão associados às classes de cobertura vegetal mais densa e os valores próximos a 1 estão associados às classes que apresentam pouca ou nenhuma cobertura de solo, como por exemplo a classe solo exposto caracterizada pela ausência de vegetação, portanto pela alta susceptibilidade em ser erodido.

A Sub-bacia Hidrográfica do arroio João Dias apresenta, em 71,12% da área, perdas de solo classificadas como baixa ($<10 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), principalmente em função de características como o uso e ocupação do solo e das condições geomorfológicas presentes na região. Já as perdas de solo consideradas de intensidade alta, ou seja, de 50 a $200 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, ocupam 27,02% da área, sendo essas associadas a vegetação campestre. As classes de erosividade acima de $200 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ representam 1,87% da sub-bacia, são classificadas como erosão muito alta. Essa é representada pela área de estudo localizada nas Minas do Camaquã onde tem-se a superfície assoreada, a barragem de rejeitos e a mina de cobre a céu aberto mostrando um elevado grau de assoreamento no leito do Arroio João Dias.

Com a análise temporal de 34 anos na região das Minas do Camaquã, onde foram comparadas as características de uso e ocupação do solo, notou-se uma redução de 50% da vegetação nativa de 1984 a 2019, um aumento de 35% de solo exposto e um aumento de 68% da vegetação campestre. A ação humana interfere no processo erosivo, em geral tornando-o mais intenso. A substituição de uma floresta por uma cultura, assim como a cobertura de uma estrada ou de uma mina, são ações que expõem o solo desprovido de sua proteção vegetal natural a ação da chuva e do vento, aumentando as taxas de erosão. As possíveis causas identificadas através dos mapas para esse aumento do assoreamento é a remoção das Áreas de Preservação Permanente (APP's), a construção do reservatório para abastecimento público e a presença de solo exposto nas margens do arroio e na barragem de rejeitos localizada próxima ao arroio.

Os prejuízos, sob o ponto de vista da perda de solo, contribuem para a degradação ambiental à medida que podem provocar a redução da qualidade da água pela presença de sedimentos e suas associações com agrotóxicos e nutrientes; o assoreamento de córregos e lagos; enchentes; e inundações causadas por alterações no regime fluvial, as quais afetam a fauna, a flora e as atividades humanas. Como as florestas são geralmente consideradas benéficas para o controle da erosão, o reflorestamento é uma medida comum de proteção do solo.

A determinação e avaliação dos parâmetros que compõe a Equação Universal de perdas de solo (EUPS), gerou informações que poderão ser utilizadas para a identificação das perdas de solo em regiões com características semelhantes à área de estudo. Apesar de suas limitações, como a de não permitir a quantificação da deposição, mostrou ser de grande valia como modelo

de predição de perdas de solos pela sua simplicidade, cálculos rápidos e baixos custos. Somado a isto, Caçapava do Sul carece de informações mais detalhadas que permitam avaliar melhor os processos de perdas de solo. Neste propósito a EUPS é útil para definir quais áreas necessitam, com maior urgência, maiores estudos e cuidados. Em função do exposto, é necessário que se tomem medidas de prevenção nas áreas onde a situação de perda laminar de solo se encontra em maiores quantidades, além da adoção de políticas de manejo e conservação de solos, que disseminem uma cultura conservacionista e planejadora do meio ambiente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA - ANA. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Cadernos de Recursos Hídricos.** Brasília: Ed. ANA, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA - ANA. **Paraíba do Sul.** ANA, 2019. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/sala-de-situacao/paraiba-do-sul/paraiba-do-sul-saiba-mais>>. Acesso em: 24 de setembro de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA - ANA. **Séries históricas de estações – HIDROWEB.** ANA, 2020. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 14 de outubro de 2020.

ALBUQUERQUE, A. W LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. **Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v.6, n.1, 2002.

ALVES, M. **Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do rio São Bartolomeu-DF, usando técnicas de geoprocessamento.** São José dos Campos: INPE, p. 33, 2000.

AMADO, T.J.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. **Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural da soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.13, n. 2, p. 251- 259, maio/ago. 1989.

ARAÚJO, C. B. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2006.

ARAÚJO, G.S. et al. **Geoprocessamento aplicado a análise de assoreamento e erosão fluvial em reservatórios: estudo de caso em reservatório Gramame-Mamuaba-PB.** Geo UERJ, n. 29, 2016.

BACHEGA, C.C.F.; FILHO, A.C.P.; TIVIROLI, V.A.; MIRANDA, C.S.; ANACHE, J.A.A. **Análise multitemporal da cobertura do solo na bacia do Rio Negro, MS.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE, 2009.

BACK, N. **Minas do Camaquã: Um império da mineralização de cobre.** 2017.

BARBOSA, Amanda Fernandes et al. **Aplicação da equação universal de perda do solo (USLE) em softwares livres e gratuitos.** Anuário do Instituto de Geociências, 2016.

BARBOSA, Edwaldo Henrique Bazana; IDE, Carlos Nobuyoshi; GONÇALVES, Fábio Veríssimo. **Análise Estatística de Comparação Entre os Modelos de Erosividade da Chuva (Fator R).** Anuário do Instituto de Geociências, v. 41, n. 2, 2019.

BARBOSA, JMC; PINTO, M. R.; CASTRO, MAH. **Erosão e assoreamento em reservatórios.** SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 12. 2014.

BARRELLA, W., PETRERE JR, M., SMITH, W. S., & Montag, L. D. A. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.

BARROSO, D. G.; SILVA, M. L. N. **Poluição e conservação dos recursos naturais: solo e água**. Informe agropecuário, v.176, n.16,1992.

BATISTA, Karmem Julya Miron. **Impacto da alteração do uso do solo no escoamento superficial a partir de técnicas de sensoriamento remoto: aplicação na bacia do riacho Piauí, Arapiraca–AL**. 2017. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2017.

BELTRAME, A. DA V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.

BEN-HUR, M. **Seal formation effects on soil infiltration and runoff in arid and semiarid regions under rainfall and sprinkler irrigation conditions**. In: Zereini, F., Hötzl, H. (Eds.), Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa. Environmental Science and Engineering, p. 429– 452, 2008.

BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. **Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta superficial**. R. Bras. Ci. Solo, 13:373-379, 1989.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. **Relações de erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultura do trigo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 11, n. 2, p. 187-192, maio/ago. 1987.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3.ed. São Paulo: Ícone, 1990.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação dos Solos**. Piracicaba: Livro Ceres, 392 p. 1985.

BETTENCOURT, J. S. 1992. **A mina de cobre do Camaquã, RS**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

BOLDRINI, E. B.; et al. Contaminantes, Assoreamento, Dragagem e Biota Aquática da Baía de Antonina. Relatório Técnico. Antonina: **Terminais Portuários da Ponta do Félix**. 2005.

BOLDRINI, I. I.; FERREIRA, P. M. A.; ANDRADE, B. O.; SCHNEIDER, A. A.; SETUBAL, R. B.; TREVISAN, R; FREITAS, E.M. **Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre, editora Pallotti, 2010. 64 p.

BORGES, K.M.R. **Avaliação de susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda dos Solos**. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado. 2009.

BOTELHO, R. G.; SILVA, A. S. da. **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BRASIL. **Biodiversidade Brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros.** Brasília: MMA/SBF, 2002.

BRASIL. **Caderno da Região Hidrográfica Amazônica.** Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006.

BRASIL. Fondo Mundial para el ambiente et al. **Programa de Ações Estratégicas para o Gerenciamento Integrado da Bacia do Rio São Francisco e da sua Zona Costeira: relatório final.** TDA Desenho & Arte, 2004.

BRASIL. Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.** Brasília, DF, 2012.

BRUCH, A. F.; GRUBER, NLS; HANSEN, MAF. **Construção e representação de modelos numéricos do terreno no SIG Spring para o relevo da sub-bacia hidrográfica do Arroio João Dias, Minas do Camaquã-RS.** Encuentro de geógrafos da América Latina, v. 12, 2009.

BRUCH, Alexandre Felipe. **A mineração e a paisagem geoquímica na sub-bacia hidrográfica do Arroio João Dias, Minas do Camaquã, Caçapava do Sul, RS.** 2014.

BURYLO, M.; REY, F.; BOCHET, E.; DUTOIT, T. **Plant functional traits and species ability for sediment retention during concentrated flow erosion.** Plant and Soil, v. 353, p. 135–144, 2012.

CAMPOS, S., ARAÚJO Júnior, A. A., BARROS, Z. X. D., CARDOSO, L. G., & PIROLI, E. L. (2004). **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao uso da terra em microbacias hidrográficas, Botucatu-SP.** Engenharia Agrícola.

CAPRA, Marcelo. **Análise espacial da mudança do leito do rio Taquari entre os municípios de Muçum e Arroio do Meio/RS.** 2014.

CARDOZO, Fernando Alves Cantini; PIMENTA, Matheus Montes; ZINGANO, André Cezar. **Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração—uma revisão.** HOLOS, v. 8, 2016.

CARTER, R.W.G. **Coastal Environments – An Introduction to Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines Academic Press.** London, 1995.

CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Apostila de hidrologia.** Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006.

CARVALHO, J. C. de; LIMA, M. C.; MORTARI, D. **Considerações Sobre Prevenção e Controle de Voçorocas.** VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia- GO, 2001.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia Prática.** CPRM, Rio de Janeiro, 1994.

CARVALHO, N. de O; JUNIOR, N. P. F.; SANTOS, P. M. C. Dos. S.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentológicas: Agência nacional de energia elétrica.** Brasília, 2000.

- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- CARVALHO, Washington e GUIMARÃES, Márcio. **Ciências para nosso tempo**. 1ª edição. São Paulo: Editora Positivo, 2011.
- CASADO, A. P. B. P., HOLANDA, F. S. R., & ARAUJO FILHO, F. D. A. G. (2002). **Evolução do processo erosivo na margem direita do Rio São Francisco (perímetro irrigado Cotinguiba/Pindoba-SE)**.
- CEIVAP – Comitê para integração da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul - Análise dos Impactos e das Medidas Mitigadoras que envolvem a Construção e Operação de Usinas Hidrelétricas**. Resende, RJ: COPPETEC. 2007.
- CHEMALE JR., F. **Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense**. In: HOLZ, M.; DE ROSS, L. F. (eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO UFRGS, 2000.
- CHIEN, N., WANG, K., YAN, L., Fu, R., 1980. **The source of coarse sediment in the middle reaches of Yellow River and its effect on the siltation of the lower Yellow River**. In: *Proceeding of the Intern. Symposium on River Sedimentation*, vol. 1, 1980.
- COELHO, F.M., ANTUNES, J.C.O. **Balanço hídrico da bacia hidrográfica do Rio Guandu com as novas demandas por água e com a expansão prevista**. 2012.
- COGO, Neroli Pedro; LEVIEN, Renato; SCHWARZ, Ricardo Altair. **Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo**. *Revista brasileira de ciência do solo*. Campinas. Vol. 27, n. 4 (jul./ago. 2003), 2003.
- COMPANHIA BRASILEIRA DO COBRE (CBC). **Companhia Brasileira do Cobre (1942–1992)**. Caçapava do Sul: Minas do Camaquã, 1992.
- CONAMA. 20, de 18 de junho de 1986. **Publicado no DOU de**, v. 30, 1986.
- COSTA, T. C. C.; UZEDA, M. C.; FIDALGO, E. C. C.; LUMBRERAS, J. F.; ZARONI, M. J.; NAIME, U. J. et al. **Vulnerabilidade ambiental em sub-bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda de solo (USLE), variáveis morfométricas e uso/cobertura da terra**. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis*. Anais. São José dos Campos: INPE, 2007.
- CUNHA, S. B. **Bacias hidrográficas**. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1998.
- CURCIO, G. R.; BONNET, A.; KACHAROUSKI, M. **Neossolos litólicos do subplanalto de Cascavel – Características e potencial de uso**. 2020. Disponível em: <<http://www.pronasolos.pr.gov.br/pagina-21.html>>. Acesso em: 19 de junho de 2020.

D'AGOSTINO, Luiz Fernando. **Praias de barragens de rejeitos de mineração: características e análise da sedimentação**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DE JESUS, LÍLIA MARTINS. **Análise fisiográfica fluvial e do uso e ocupação da terra na bacia do rio Angelim – ES**. 2012.

DE MELLO, G.; BUENO, C.R.P.; PEREIRA, G. T. **Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2006.

DE PAULA, Makele Rosa; CABRAL, João Batista Pereira. **Uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento na caracterização do uso da terra da bacia hidrográfica da UHE Caçu–GO**. Revista Geonorte, v. 3, n. 6, 2012.

DELATORRE, C. C. M.; MODESTO, M. F.; PIROLI, E. L. **Análise do uso do solo na microbacia e nas áreas de Preservação Permanente da Água da Limeira por meio de classificação supervisionada e fusão de imagens ALOS**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2011, Curitiba. Anais... Curitiba, INPE, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Informe Mineral**. Brasília: DNPM, 2014.

DESMET, P.J.J.; GOVERS, G. **A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units**. Journal of Soil and Water Conservation. 1996.

DILL, P. R. J., PAIVA, E. M. D., PAIVA, J. B. D., & ROCHA, J. S. M. Assoreamento do reservatório do Vacacaí-Mirim e sua relação com a deterioração da bacia hidrográfica contribuinte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, p. 56-64, 2004.

DOS SANTOS, Gerson Rodrigues et al. **Krigagem simples versus krigagem universal: qual o preditor mais preciso?** Energia na Agricultura, v. 26, n. 2, 2011.

DOS SANTOS, H. G., CARVALHO JUNIOR, W. D., DART, R. D. O., ÁGLIO, M. L. D., de Sousa, J. S., Pares, J. G., ... & de OLIVEIRA, A. P. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. **Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E)**, 2011.

DOS SANTOS, H.G., JACOMINE, P. K. T., Dos Anjos, L. H. C., De Oliveira, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ... & CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análises do solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979.

ESPÓSITO, T.J. 2000. **Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília. Brasília, DF.

EVANGELISTA, A.W.P.; CARVALHO, L.G.; DANTAS, A.A.A.; BERNARDINO, D. T. **Potencial erosivo das chuvas em Lavras, MG: Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno**. Irriga, Botucatu, v. 11, n. 1, 2006.

FAO, Roma. Itália. **Soil map of the world 1: 5.000.000 legend**. 1974.

FAO, Rome. IUSS Working Group WRB. **World reference base for soil resources 2006**. World Soil Resources Reports No. 2006.

FERREIRA, A.D.J.; COELHO, C.O.A.; RITSEMA, C.J.; BOULET, A.K.; KEIZER, J.J. **Soil and water degradation processes in burnt areas: lessons learned from a nested approach**. Catena, v. 74, p. 273– 285, 2008.

FIGUEIREDO, B. R. **Minérios e ambiente**. Campinas/SP, Ed. Da Unicamp. 2000.

FILHO, M. Z. J., **O assoreamento dos lagos igapó I e II na cidade de Londrina – PR**. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

FILIPPE, J. **Avaliação da largura ideal de florestas ribeirinhas considerando modelagem matemática, estimativa de erosão por 137Cs e aspectos ecológicos**. São Paulo, Universidade de São Paulo, 2006.144p. (Dissertação de Mestrado).

FILIZOLA, N. **Transfert sédimentaire actuel par les fluves amazoniens**. Toulouse: 2003. (Thèse, UPS, Toulouse III).

FONSECA, J. A. D. **Erosão Hídrica**. 2014.

FOSTER, G.R., L.D. Meyer, And C.A. Onstad. **A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates**. Trans. ASAE 20:683-687, 1977.

GALDINO, Sérgio; WEILL, Mara de Andrade Marinho; PANTANAL–CPAP, Embrapa. **Estimativa do fator topográfico (LS) da RUSLE para a bacia do alto Taquari–MS/MT, utilizando algoritmo do ângulo de inclinação limite para erosão/deposição**. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Curitiba, Brasil. INPE, p. 4813, 2011.

GAMA – Engenharia e recursos hídricos. **Serviços de Consultoria Relativos ao Processo de Planejamento da Bacia Hidrográfica do Camaquã Fases A, B e C**. Relatório final síntese (RS), 2016.

GOPROSPEC. **Projeto Caçapava do Sul – Estudo de Impacto Ambiental (EIA)**. v.2, 2016).

GIRÃO, Osvaldo; CORREA, AC de B. **A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas**. Revista de Geografia, Recife, v. 21, n. 2, 2004.

GONZATTO, M. **Um lugar que vê o futuro no passado**. 2014.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M.; **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1999.

GUERRA, A. J.T. **Processos Erosivos nas encostas.** In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. da. (Org.). Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. 8ª ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, p. 149-209,2008.

GUERRA, A. T. **Recursos naturais do Brasil.** In: GUERRA Ignez A. L. T.; GUERRA, A. J. T. 3 ed. Ver. Rio de Janeiro, IBGE. 1980.

GUERRA, A. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 3a edição. Bertand Brasil, Rio de Janeiro, 1998.

GUERRA, Antonio José Teixeira; DE ALCÂNTARA SAMPAIO, Joana Jakeline. **Processos erosivos acelerados, movimentos de massa e assoreamento na cidade do Crato-CE.** Anuário do Instituto de Geociências, v. 19, 1996.

GUIMARÃES, I. J. **Impacto do rompimento de uma barragem de rejeito de minério de ferro sobre a qualidade das águas superficiais. Estudo de caso: Bacia do rio Doce.** 2018. Belo Horizonte. Escola de Engenharia da UFMG.

GUIMARÃES, Joyce Amorim. **Avaliação da influência do transporte de sedimentos na vida útil das usinas hidrelétricas.** 2009. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2009.

HANSEN, Marco Antonio Fontoura; FENSTERSEIFER, Henrique Carlos. **Caracterização Edafopedológica da Sub-Bacia do Arroio João Dias Como Ferramenta de Planejamento Ambiental, Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, RS, Brasil.** In: Luiz Henrique Ronchi; Anderson Orestes Cavalcante Lobato. (Org.). Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar. São Leopoldo: Editora UNISINOS, 2000, v. 1, p. 211-240.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Caçapava do Sul.** 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cacapava-do-sul/panorama>>. Acesso em: 28 de outubro de 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Introdução ao processamento digital de imagens.** Rio de Janeiro. 2001.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Manual técnico de geomorfologia.** 2009.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. Manual técnico da vegetação brasileira. **Manuais técnicos em geociências,** v. 1, 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Perfil dos municípios Brasileiros: Meio Ambiente.** Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

ICOLD, International Commission on Large Dams (1989). **Sedimentation control of reservoirs/Maîtrise de l'alluvionnement des retenues**. Committee on Sedimentation of Reservoirs. Paris.

ILHA, Róbson. **Diagnóstico hidrossedimentológico da Bacia do Arroio Cadena-Santa Maria/RS**. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, UFSM, Santa Maria, 2014.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. **Rio Paraíba do Sul**. Rio de Janeiro, 2013.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. 2008. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 05 de abril de 2020.

IPT. **Curso de Geologia de Engenharia aplicada a problemas ambientais**. São Paulo. 1992.

KINNELL, P.I.A. **Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review**. Journal of Hydrology, v.385, n.1, 2010.

KNAPEN, A., POESEN, J., GOVERS, G., GYSSELS, G., NACHTERGAELE, J. **Resistance of soils to concentrated flow erosion: A review**. Earth-Science Reviews, 80 (1-2):75-109. 2007.

KOPEZINSKI, I. **Mineração X meio ambiente: Considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores**. Porto Alegre. Ed. Universidade/ UFRGS, 2000.

LABADESSA, Aparecido Silvério. **“Terras caídas”, as causas e implicações socioeconômicas: uma análise preliminar na comunidade de Calama–baixo rio Madeira/RO**. Boletim Paranaense de Geociências, v. 71, 2014.

LANZA, D. S. **Diagnóstico da Erosão Laminar na Alta e Média Bacia do Rio Paraopeba**. Belo Horizonte, 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Análise Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

LARIOS, M. B. **Resumo Histórico de Modelagem da Erosão**. 2003.

LAYBAUER, L.; BIDONE, E. D. **Participação de metais pesados em águas superficiais impactadas por mineração – Minas do Camaquã, RS**. Geochimica Brasiliensis, 1997.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; SILVA, Euzébio Medrado da; CARVALHO, Newton de Oliveira. **Comparação de Modelos Matemáticos para o Traçado de Curvas Granulométricas de Sedimentos do Leito de Rios**. Rbrh – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 01, n. 11, 2006. Trimestral.

LIMA, Luanna de Sousa. Os impactos ambientais no entorno da nascente do Rio Piranhas em Bonito de Santa Fé-PB. **Monografia (Graduação) - UFCG/CFP**, 2015.

LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, ARL de. **Características pedológicas para seleção de práticas conservacionistas em fruteiras tropicais**. Embrapa Agroindústria Tropical, 2000.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil.** West Lafayette, Purdue University, 1977. (Tese de Mestrado).

LOPES, M.C.O. 2000. **Deposição hidráulica de rejeitos granulares e a influência nos seus parâmetros de resistência.** Dissertação de Mestrado. Departamento de engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF.

LOPES, P.R.C.; COGO, N.P.; CASSOL, E.A. **Influência da cobertura vegetal morta na redução da velocidade de enxurrada e na distribuição de tamanho dos sedimentos transportados.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.11, n. 2, p. 193-197, maio/ago. 1987.

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. **Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas.** Bahia: Editus, 2002.

MACEDO, Ana Macedo de. **Baby Pignatari: o centauro de bronze.** Porto Alegre, ed. Metrópole, 2006.

MACHADO, C. J. S. **Recursos Hídricos e Cidadania no Brasil: Limites, Alternativas e Desafio.** Ambient Soc, v. 6, n. 2, 2003.

MAGALHÃES, Ricardo Aguiar. **Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle.** VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia- GO, 2001.

MAIA, Rúbson Pinheiro; CAVALCANTE, Andréa Almeida. **Erosão e assoreamento do rio Jaguaribe em Limoeiro do norte – CE: Marcas de uma evolução acelerada.** 2004. V Simpósio Nacional de Geomorfologia - I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia UFSM - RS, 2004.

MANNIGEL, A. R., de PASSOS, M., MORETI, D., & da ROSA MEDEIROS, L. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, n. 5, Maringá. p. 1335-1340, 2002.

MARCONDES, C.R. (2011). **Estudo de Descarga Sólida em Suspensão nos Cursos D'água da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí.** Itajubá, 2011. 78p. Dissertação – UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá-MG.

MARQUES, F. A., RIBEIRO, M. R., BITTAR, S. M. B., TAVARES FILHO, A. N., & LIMA, J. F. W. F. Caracterização e classificação de Neossolos da ilha de Fernando de Noronha (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1553-1562, 2007.

MARTIN, T. E., & McRoberts, E. C. (1999). **Some considerations in the stability analysis of upstream tailings dams.** In Proceedings of the Sixth International Conference on Tailings and Mine Waste, Vol. 99.

MATEI, Ana Paula; FILIPPI, Eduardo Ernesto. **O bioma pampa e o desenvolvimento regional no Rio Grande do Sul.** 6º Encontro de Economia Gaúcha. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

McCool, D. K.; Foster, G. R.; Mutchler, C. K; Meyer, L. D. **Revised slope length factor for the universal soil loss equation.** *Trans. ASAE*, 32(5):1571-1576, 1989.

MEADE R. H.; DUNNET; RICHEY, J. E.; SANTOS, U. M.; SALATI, E. **Storage and Remobilization of suspended Sediment in the lower Amazon River of Brazil.** *Science* 228, 1985.

MEADE, R.H. **River-sediment inputs to major deltas.** In: Milliman, J.D., Haq, B.U. (Eds.), *Sea-Level Rise and Coastal Subsidence: Causes, Consequences, and Strategies.* Kluwer, Dordrecht. 1996.

MELO, Edileuza Carlos de. Fatores de controle dos fluxos fluviais de material em suspensão em diferentes cenários climáticos na bacia do rio Solimões. **Tese (doutorado) --- INPA,** Manaus, 2012.

MENDES, Angelise Vieira. **Avaliação ambiental de nascentes com o uso de ferramentas de geoprocessamento.** 2008.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p. Elis Dener Lima Alves

MENDONÇA, Patrícia Ramaldes. **Características hidrogeomorfológicas das bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana/ES.** 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

MILANEZ, Bruno. **Mineração, ambiente e sociedade: impactos complexos e simplificação da legislação.** 2017.

Millward and Mersey, 1999 A.A. Millward, J.E. Mersey **Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed.** *Journal of Catena*, 38 (2) (1999).

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação & Áreas de Risco. O que uma coisa tem a ver com a outra? Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro.** / Wigold Bertoldo Schäffer... [et al.]. – Brasília: MMA, 2011. 96 p. : il. color. ; 29 cm. + mapas. (Série Biodiversidade, 41).

NEARING, M.A. **A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss.** *Soil Science Society of America Journal*. 1997.

NOGUEIRA, Jader Escobar et al. **Mineiros e engenheiros: memória, identidade e trabalho nas Minas do Camaquã entre 1970 e 1996.** 2012.

OLIVEIRA, J.S. **Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solos em ambiente SIG.** Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Dissertação de Mestrado, 2012.

OLIVEIRA, Victoria Christina Vilela. **Suscetibilidade e risco a erosão laminar no setor sul do alto curso da bacia do rio Araguaia (GO/MT): Discussão metodológica e proposta de avaliação espacial.** 2004.

PAIM, P. S. G. **Minas do Camaquã, RS. Marco da história da mineração de cobre no Brasil.** Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)/Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002.

PAIVA, J. B de & PAIVA, E. M. C. D. de. (orgs). Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. (Ed. Rev.) **Porto Alegre: ABRH**, 2003.

PARVEEN AND KUMAR, 2012. R. Parveen, U. Kumar. Integrated approach of universal soil loss equation (USLE) and geographical information system (GIS) for soil loss risk assessment in upper south Koel Basin, Jharkhand. **Journal of Geographic Information System**, 4 (6) (2012).

PASSOS, N. C. S. T. **Barragem de Rejeito: Avaliação dos Parâmetros Geotécnicos de Rejeito de Minério de Ferro utilizando Ensaio de Campos—Um Estudo de Caso.** Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. 2009.

PAULA, E. V.; CUNICO, C.; BOLDRINI, E. B. **Aspectos Naturais e Antrópicos Relevantes Para a Compreensão do Assoreamento da Baía de Antonina: Abordagem Introdutória.** Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2006.

PEREIRA, Carla Silveira. A pecuária em Caçapava do Sul/RS: de atividade tradicional a alternativa frente a expansão da soja e do eucalipto. **Dissertação de Mestrado - UFSM**, 2016.

PEREIRA, Juliana Sousa et al. **Avaliação das perdas de solos por erosão laminar na área de influência da UHE Amador Aguiar I.** 2014.

PHAM, Tung Gia; DEGENER, Jan; KAPPAS, Martin. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 6, n. 2, 2018.

PINTO-COELHO, Ricardo Mota; HAVENS, Karl. **Crise nas águas. Educação, ciência e governança, juntas, evitando conflitos gerados por escassez e perda de qualidade das águas.** Recóleo Editora, Belo Horizonte, (MG), 2015.

PIRES, José Salatiel Rodrigues; SANTOS, José Eduardo dos; DEL PRETTE, Marcos Estevan. **A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.** Ilhéus: Editus, 2002.

POLIDORIO, Carla Matiuzzi; AUGUSTO, Emerson. **O Processo de erosão pluvial na região do Bairro Buritis, BH/MG.** 2014.

PRADO, J. P. B. do; NÓBREGA, M. T. de. **Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS).** Acta Sci. Technol. Maringá, v.27, n.1, 2005.

PRUSKI, F. F. **Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas se solo.** In: PRUSKI, F. F. Conservação do solo e da água. Viçosa: Ed. UFV, 2009.

QIAN, Y. Q. Ye, W. Zhou (Eds.), **Variation of Flow and Sediment in the Lower Yellow River and River Evolutions**, China Building Material Press, Beijing (1993) (in Chinese).

RACHWAL, Marcos Fernando Gluck. **O SOLO. Embrapa Florestas-Documentos (INFOTECA-E)**, 2003.

RESENDE, M; CURI, N.; RESENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa, NEPUT, 304 p. 1995.

RIBEIRO, A. **Assoreamento**. UFG, 2003. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/geologia/assoreamento/>>. Acesso em: 25 de setembro de 2019.

RIBEIRO, L. S. **Análise qualitativa e quantitativa de erosão laminar no município de Campo dos Goyatazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento**. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campo dos Goyatazes.

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. da G. **Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos de Goyatazes/ RJ através de técnicas de Geoprocessamento**. In: XIII Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto. 2007, Florianópolis. Anais Florianópolis, 2007.

RIGHS, A. A.; DA SILVA, R. F. **Água e Educação – princípios e estratégias de uso e conservação**. Santa Maria, RS: Centro Universitário Franciscano, 2009.

RONCHI, Luiz Henrique; LOBATO, Anderson Orestes Cavalcante. **Minas do Camaquã: um estudo multidisciplinar**. São Leopoldo, ed. Unisinos, 2000.

RONCHI, Luiz Henrique; BAECKER, Carlos Augusto; MARTINS, Josiane. Avaliação do estado da qualidade das águas e da contaminação dos sedimentos recentes do arroio João Dias após encerramento das atividades das minas do Camaquã, RS. **LH Ronchi & AOC Lobato. Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar. UNISINOS**, p. 241-259, 2000.

ROSS, J. L. S. (2009) **Geomorfologia ambiental**. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). Geomorfologia do Brasil. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

ROSS, J. S. **Geografia do Brasil**. Editora da Universidade de São Paulo, Didática, São Paulo, 2011.

SALOMÃO, F. X. de T. **Controle e prevenção dos processos erosivos**. In: GUERRA, A. J. T. et al. (Orgs.) Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

SALOMÃO, F.X.T e IWASA, O.Y. **Erosão e a ocupação rural e urbana**. In: Bitar, O.Y.(Coord). Curso de Geologia Aplicada ao meio ambiente. São Paulo: ABGE/IPT. 1995.

SÀNCHEZ, Luiz Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. – São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SANTOS, A. R.; Louzada, F. L. R. O.; Eugênio, F. C. **ARCGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais**. Alegre, ES: CAUFES, 2010.

SANTOS, T. E. M. dos; MONTENEGRO A. A. A.; PEDROSA, E. M. R. **Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 3, 2009.

SCHERER-LORENZEN, M. **The functional role of biodiversity in the context of global change**, in: Forests and global change, edited by: Coomes, D. A., Burslem, D. F. R. P., and Simonson, W. D., Ecological reviews, p.195–238, 2014.

SCHMITT, Aldrei; MOREIRA, Carlos Roberto. **Manejo e gestão de bacia hidrográfica utilizando o software gratuito Quantum-GIS**. Revista Cultivando o saber, n. Edição especial, 2015.

SCHOELLHAMER, David H.; MUMLEY, Thomas E.; LEATHERBARROW, Jon E. **Suspended sediment and sediment-associated contaminants in San Francisco Bay**. Environmental Research, v. 105, n.1, 2007.

SCHROEDER, M. **Cobertura Florestal do Rio Grande do Sul**. In: I SEMINÁRIO SOBRE A SITUAÇÃO FLORESTAL DO RIO GRANDE DO SUL. Anais...Porto Alegre: Secretaria da agricultura e Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul, 1996.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA – SEMA. **Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã**. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/1030-bacia-hidrografica-do-rio-camaqua>>. Acesso em: 02 de novembro de 2019.

SHABANI, Farzin; KUMAR, Lalit; ESMAEILI, Atefeh. Improvement to the prediction of the USLE K factor. **Journal of Geomorphology**, 201 (1) (2014).

SILVA, R. C. da. **Análise das áreas suscetíveis à erosão na bacia do arroio pelotas (RS), com auxílio do geoprocessamento**. 2009. Dissertação de Mestrado.

SILVA, T. P. N. et al. **Índice de erosividade (EI30) das chuvas para a bacia experimental do riacho Mimoso, no semi-árido Pernambucano**. 2009.

SOARES, L. **Barragem de Rejeitos**. In: Tratamento de minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

SOTÉRIO, P. W., PEDROLLO, M. C., ANDRIOTTI, J. L. **Mapa de Isoietas do Rio Grande do Sul**. 2005.

SOUSA, M. E., DA SILVA SANTOS FILHO, N. E., PEREIRA, L. A., & DE BARROS LYRA, L. H. (2013). **Monitoramento e caracterização do assoreamento no rio São Francisco nas orlas urbanas de Petrolina-PE e Juazeiro-BA**. Revista da Casa da Geografia de Sobral.

SOUZA Jr. D.I. **A Degradação da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Engevista, Niterói, v. 6, n. 3, 2004.

STEIN, D.P.; Donzelli, P.; Gimenez, A.F.; Ponçano, W.L. & Lombardi Neto, F. 1987. **Potencial de erosão laminar natural e antrópica na bacia do Peixe-Paranapanema**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4, Marília, 1987. Anais, Marília.

STRETCH, P. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambiente fluvial**. 2 ed. Florianópolis: ed. UFSC, 1990.

TEIXEIRA, E. 1992. **Lavras do Sul e Caçapava do sul na bateia do tempo**. Lavras do Sul, 1992.

TAVARES, S. D. L., MELO, A. D. S., de ANDRADE, A. G., Rossi, C. Q., CAPECHE, C. L., BALIEIRO, F. D. C., ... & PRADO, R. B. (2008). Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação. **Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E)**.

TEODORO, V. L. I., TEIXEIRA, D., COSTA, D. J. L., & FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, 2007.

THOMÉ, Romeu; PASSINI, Matheus Leonardo. **Barragens de rejeitos de mineração: Características dos métodos de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais**. Ciências Sociais Aplicadas em Revista, v. 18, n. 34, 2018.

TOMAZONI, J. C., MANTOVANI, L. E., BITTENCOURT, A. V. L., & ROSA FILHO, E. F. D. (2005). **A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Anta Gorda (PR)**. *Revista Eletrônica de Geografia*.

TONIETTO, A.; SILVA, J. J. M. C. **Valoração de danos nos casos de mineração de ferro no Brasil**. Revista brasileira de criminalística. v.1, n.1, 2011.

TORRES, F.T.P.; NETO, R.M.; MENEZES, S.O. (2012) **Introdução à Geomorfologia**. São Paulo: Cengage Learning.

TRINDADE, O. A., SOARES, L. O., NETO, R. O., de SOUZA, L. E., ABICHEQUER, L. A., GONÇALVES, Í. G., & CARON, F. Caracterização dos rejeitos das minas do Camaquã para reaproveitamento sustentável. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, p. 116-132, 2015.

TUCCI, C. E. M; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças de cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, ABRH: 1997.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; SIDAGISGALLI, C. Eutrofização na América do Sul: causas, tecnologias de gerenciamento e controle. **Ile, Iiega, IaP, Ianas, aBC**, 2006.

USGS – United States Geological Survey. **Earth Explorer**, 2020. USA: USGS, 2020. Disponível em: < <https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 14 de outubro de 2020.

VALENTE, A. M. **Plano mestre Porto de Vila do Conde**. Florianópolis: LabTrans, 2013.

VALENTIN, E.F.D. 2008. **Modelagem dinâmica de perdas de solo: o caso do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto-DF/GO**. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, 149p.

VESTENA, L.R. **Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem**. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

VIEIRA, D. B. A importância da mata ciliar. **In: Revista Sudeste**, 2003.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

WANG, H., WU, X., BI, N., LI, S., YUAN, P., WANG, A., ... e NITTROUER, J. Impacts of the dam-orientated water-sediment regulation scheme on the lower reaches and delta of the Yellow River (Huanghe): **A review. Global and Planetary Change**, v. 157, 2017.

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

WISCHMEIER, W.H. **A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation**. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23: 246-249, 1959.

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

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. U.S. Department of Agriculture, Handbook. 1978.

WREGE, M. S., STEINMETZ, S., Reisser Júnior, C., & de ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 2012.

ZANATA, J. M., PIROLI, E. L., DELATORRE, C. C. M., & GIMENES, G. R. Análise do uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente da microbacia Ribeirão Bonito, apoiada em técnicas de geoprocessamento. **Revista Geonorte: Edição Especial**, São Paulo, v. 2, n. 4, 2012.

ZEIDEMANN, Vivian Karina. O rio das águas negras. **Florestas do Rio Negro. Companhia das Letras, São Paulo**. 2001.

ZERLOTTI, Patrícia. **Hidrelétricas na Bacia do Alto Paraguai**. Campo Grande, MS: ECOA, 2011.

ZHOU, Jianjun; ZHANG, Man. **Coarse sediment and lower Yellow River siltation**. Journal of hydro-environment research, 2012.

ZONTA, M.; TROCATE, C. (Eds.). **Antes fosse mais leve a carga: reflexões sobre o desastre da Samarco/Vale/BHP**. Marabá: Editorial Iguana, 2016, v. 2.

ZULLHUBER, A.; SIQUEIRA, R. **Rio São Francisco em descaminho: degradação e revitalização**. Revista Crítica de Humanidades, 2007.