

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

HENRIQUE KELLING MICHEL

**PERDA DE SOLO GERADA PELAS CHUVAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO PARDO: UMA ANÁLISE POR GEOPROCESSAMENTO**

**Caçapava do Sul
2023**

HENRIQUE KELLING MICHEL

**PERDA DE SOLO GERADA PELAS CHUVAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO PARDO: UMA ANÁLISE POR GEOPROCESSAMENTO**

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.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin
Coorientador: Eng. Raphaella dos Santos Lima

**Caçapava do Sul
2023**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

M623p Michel, Henrique Kelling

Perda de solo gerada pelas chuvas na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo: Uma análise por geoprocessamento / Henrique Kelling Michel.
76 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA AMBIENTAL E
SANITÁRIA, 2023.

"Orientação: Rafael Matias Feltrin".

1. Suscetibilidade a erosão. 2. QGis. 3. Geoprocessamento . 4. EUPS. 5. Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. I. Título.

HENRIQUE KELLING MICHEL

PERDA DE SOLO GERADA PELAS CHUVAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO: UMA ANÁLISE POR GEOPROCESSAMENTO

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.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 01 de fevereiro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin
Orientador
(UNIPAMPA)

Prof. Dra. Mariana Ribeiro Santiago
(UNIPAMPA)

Prof. Dr. Vicente Guilherme Lopes
(UNIPAMPA)



Assinado eletronicamente por **MARIANA RIBEIRO SANTIAGO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/02/2023, às 11:55, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **RAFAEL MATIAS FELTRIN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/02/2023, às 16:44, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **VICENTE GUILHERME LOPES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/02/2023, às 17:00, 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 **1052844** e o código CRC **686DF4E0**.

AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a Deus, por estar ao meu lado em todos os momentos e me guiar, permitindo concluir mais uma etapa na minha vida.

Agradeço imensamente a minha família, minha mãe Ingrid Kelling Michel, meu pai Ivo Arvino Michel, meu Irmão William Kelling Michel, minha noiva Caroline Hermes e a minha avó Ema Michel, que contribuíram e apoiaram durante esses anos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin, que além da enorme contribuição no presente trabalho, me permitiu oportunidades de atuar em projetos e monitorias junto ao Laboratório de Solos e Meio Ambiente.

A minha Coorientadora Raphaella dos Santos Lima, que foi um exemplo a ser seguido, um norte em busca do aprimoramento no tema estudado.

A todos meus Professores que contribuíram para meu crescimento tanto na área acadêmica como pessoal, em especial aos Professores Dr. Jéssica Weiler, Dr. Miguel David Fuentes Guevara e Dr. Carolina Ferreira de Matos Jauris que durante a pandemia atuaram de maneira excepcional, criando vínculos com os alunos e me fizeram ter um laço afetivo ainda maior com o curso.

Agradeço também aos meus colegas, que me deram suporte e apoio durante todas as dificuldades encontradas.

A Universidade Federal do Pampa a qual conseguiu suprir com maestria através de excelentes mestres e de uma organização eficaz um período tão difícil enfrentado por todos durante a pandemia, deixo o meu reconhecimento.

Δ_J1+MU

RESUMO

Há uma necessidade de melhorias contínuas na ocupação de áreas para a agricultura ou na expansão de cidades. Tais desenvolvimentos devem ser efetuados de maneira otimizada, levando em conta o melhor custo-benefício para as pessoas e o meio ambiente, evitando assim futuros problemas que muitas vezes podem não ser visíveis de imediato. Com esses objetivos, o estudo das características da região se torna de suma importância, permitindo o melhor aproveitamento e sinalizando pontos que exigem maior atenção, seja para remediação ou prevenção de problemas ambientais na região. Assim sendo, a utilização do geoprocessamento torna viável o estudo de grandes áreas com alto grau de precisão, permitindo a aquisição de inúmeras informações. Com isso a caracterização da bacia hidrográfica demonstrou, chuvas classificadas com erosividades de moderadas a fortes, a presença de três tipos de solos sendo eles: Argilossolos Vermelho, Neossolos Litólico e Planossolos Háplico, declividades mais planas na região do exutório e escarpadas na parte intermediária e cabeceira da bacia, uma ocupação predominantemente de florestas e campos. a aplicação da Equação Universal de Perda de Solos na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo obteve valores de Perdas de Solos de classificação baixa em grande parte da região. pontos de perdas muito altas foram encontradas principalmente na região de maior declividade e em áreas de solos expostos, sendo o maior ponto de perda localizado entre as cidades de Candelária, Passa Sete e Vale do Sol, região a qual é aconselhável um estudo mais aprofundado.

Palavras-chave: QGIS, Geoprocessamento, Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, EUPS, suscetibilidade a erosão.

ABSTRACT

There is a need for continuous improvements in the occupation of areas for agriculture or the expansion of cities. Such developments must be carried out in an optimized manner, taking into account the best cost-benefit for people and the environment, thus avoiding future problems that often may not be immediately visible. With these objectives in mind, the study of the characteristics of the region becomes extremely important, allowing better use and signaling points that require greater attention, whether for remediation or prevention of environmental problems in the region. Therefore, the use of geoprocessing makes it possible to study large areas with a high degree of precision, allowing the acquisition of innumerable information. Thus, the characterization of the hydrographic basin demonstrated, rains classified with moderate to strong erosivity, the presence of three types of soils: Red Argiloss, Litholic Neosols and Haplic Planosols, flatter slopes in the outlet region and steep in the intermediate and head of the basin, a predominantly forest and grassland occupation. the application of the Universal Soil Loss Equation in the Rio Pardo Basin obtained values of Soil Loss of low classification in a large part of the region. very high loss points were found mainly in the region of greater slope and in areas of exposed soils, with the greatest loss point located between the cities of Candelária, Passa Sete and Vale do Sol, a region which is advisable for a more in-depth study.

Keywords: QGIS, Geoprocessing, Rio Pardo Watershed, EUPS, erosion susceptibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação do grau de ramificação pelos critérios de Strahler.	20
Figura 2 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).	29
Figura 3 - Divisão interna da Bacia do Rio Pardo.	32
Figura 4 – Imagens referentes à caracterização da região da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, em ordem: área de mata nativa e afloramento de roxas (A); área de mata nativa e rochas expostas (B); área de cultivo de fumo (C); área de pastagem (D); área em preparo de solo para plantio (E) e área do Rio Pardo junto a presença de eucaliptos (F).	33
Figura 5 - Temperatura média mensal dos municípios inseridos dentro da bacia hidrográfica do Rio Pardo.	34
Figura 6 - Precipitação média mensal dos municípios inseridos dentro da bacia hidrográfica do Rio Pardo.	34
Figura 7 - Fluxograma da metodologia.	37
Figura 8 – Mapa de localização das Estações pluviométricas.	40
Figura 9 - Etapa de Rasterização do Fator R.	41
Figura 10 – MDE da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).	43
Figura 11 – Processo de aquisição Raster Fator LS.	43
Figura 12 – Imagem de satélite em cores naturais da região nas bandas 4,3,2.	44
Figura 13 – Imagem de satélite em cores naturais simuladas da região nas bandas 7,5,3.	45
Figura 14 - Índice de erosividade média mensal ($MJ*mm/ha/h$) para 30 minutos de chuva.	48
Figura 15 - Precipitação média mensal multianual.	49
Figura 16 – Mapa do Fator R na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).	50
Figura 17 – Mapa do Fator K na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).	52
Figura 18 – Mapa de elevação da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).	53
Figura 19 – Mapa do Fator LS na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).	54
Figura 20 – Mapa de declividade na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).	55
Figura 21 – Mapa Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).	56
Figura 22 – Área de agricultura com solo exposto.	58

Figura 23 - Caracterização da Região Intermediária com a presença de mata atlântica, plantações de eucaliptos e agricultura.	59
Figura 24 - Área agrícola, com cultura de soja, na região de Santa Cruz do Sul.	60
Figura 25 - Região da nascente do Rio Pardo.	61
Figura 26 – Mapa perda de solos (ton/ha.ano) na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).	62
Figura 27 – Local de maior perda de solos dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).	63
Figura 28 – Imagens in loco da região de interesse na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP), em ordem: presença de mata nativa junto ao Rio Pardo e grande quantidades de pequenas rochas junto ao corpo hídrico (G); cobertura vegetal rasteira ao longo do Rio Pardo e presença de grandes áreas de mata nativa nas montanhas (H) e presença de grande rocha ao lado de plantação de fumo (I).	64
Figura 29 - Mapa temático de fragilidade potencial e fragilidade emergente.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Unidades de estudos definidos pelo Comitê na Bacia do Rio Pardo.....	31
Tabela 2 - Panorama geral dos municípios dentro da bacia do Rio Pardo.....	35
Tabela 3 - Estações pluviométricas utilizadas para determinação da Erosividade da chuva.....	38
Tabela 4 - Estações com dados coletados.....	39
Tabela 5 - Classe de Erosividade.....	41
Tabela 6 - Classificação da erodibilidade dos solos.....	42
Tabela 7 - Valores do fator CP utilizados.....	46
Tabela 8 - Classificação do Fator R.....	47
Tabela 9 - Atributos físicos dos solos da bacia obtidos da FAO, respectivos valores de K calculados e sua classificação segundo Williams (1975).....	51
Tabela 10 - Classificação de declividade segundo EMBRAPA (1979) e porcentagem da área da bacia correspondente a cada declividade.....	55
Tabela 11 - Porcentagem de ocupação das Classes dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.....	57
Tabela 12 - Classificação de perdas de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS

BH - Bacia hidrográfica

BHRP - Bacia hidrográfica do Rio Pardo

Tc - Tempo de concentração

Kc - Coeficiente de compacidade

Kf - Fator de forma

EUPS - Equação Universal de Perda de Solos

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SRC - Sistema de Referências de Coordenadas

MDE - Modelo Digital de Elevação

APP - Áreas de Preservação Permanentes

LISTA DE SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Água e Saneamento Básico

SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente

DRH - Departamento de Recursos Hídricos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GEOINFO - Infraestrutura de Dados Espaciais da EMBRAPA

FAO - Food And Agriculture Organization of the United Nations

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

SPGG - Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Justificativa.....	14
2. OBJETIVO	16
2.1. Objetivo geral.....	16
2.2. Objetivo específico.....	16
3. CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1. Bacia hidrográfica	17
3.1.1. Forma da bacia.....	17
3.1.2. Declividade da bacia.....	19
3.1.3. Sistema de drenagem.....	19
3.1.3.1. <i>Ordem dos cursos de água</i>	20
3.1.3.2. <i>Densidade de drenagem (Dd)</i>	20
3.2. Geomorfologia	21
3.3. Cobertura vegetal	21
3.4. Erosão hídrica	22
3.5. Equação Universal de Perda de Solos - EUPS	23
3.6. Erosividade da chuva – Fator R	23
3.7. Erodibilidade do solo – Fator K	24
3.8. Fator topográfico – Fator LS	25
3.9. Uso, manejo e práticas conservacionistas – Fator CP	27
3.10. Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos	28

4. METODOLOGIA	29
4.1. Área de estudo.....	29
4.1.1. Características Climáticas	33
4.1.2. Municípios Inseridos na Bacia	35
4.1.3. Biomas	36
4.2. Processamento de dados para a aplicação da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS)	36
4.3. Erosividade da chuva - Fator R	37
4.4. Erodibilidade do solo - Fator K	41
4.5. Fator topográfico - Fator LS	42
4.6. Uso, manejo e práticas conservacionistas - Fator CP	44
4.7. Integração dos Fatores da EUPS em SIG	46
5. RESULTADOS	47
5.1. Fator R.....	47
5.2. Fator K.....	50
5.3. Fator LS	52
5.4. Fator CP.....	56
5.5. Fator A	61
6. CONCLUSÃO	66
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
REFERÊNCIAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

A sociedade e os pesquisadores possuem constante preocupação quanto às mudanças climáticas, fator esse que traz consigo alterações na temperatura atmosférica e oceanos, causando mudanças diretas no regime de chuvas, gerando períodos de estiagens mais frequentes e precipitações mais intensas (SCHLESNER, 2017). Tais efeitos possuem um grande impacto em bacias hidrográficas em que as características da precipitação determinam a entrada de matéria na bacia hidrográfica, por meio da desagregação de partículas do solo e seu transporte (RAMON, 2017).

Como resposta a essa preocupação climática, o desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas às informações espaciais se mantém em constante avanço, o que permite a aquisição, processamento, interpretação e análise de dados, de forma mais rápida e com um melhor resultado bem como com uma menor dificuldade de aquisição, possuindo assim uma grande aplicabilidade em áreas como manejo de bacias hidrográficas, monitoramento e adequações ambientais, planos de manejo de unidades de conservação, dentre outras (SANTOS et al. 2012).

A erosão hídrica somada ao manejo inadequado do solo é tida como o maior fator na degradação nos solos brasileiros, tornando a importância do manejo de recursos naturais ainda maior (MERTEN; MINELLA, 2013). Assim, o presente trabalho busca analisar a região da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, de modo que possa determinar regiões mais propensas a erosividade do solo, demonstrado em mapas temáticos fatores que atuam no impacto, permitindo que sejam adotadas técnicas de manejo do solo em determinadas áreas mais necessitadas.

1.1. Justificativa

A presente pesquisa justifica-se por levar a análise de uma bacia hidrográfica que possui importância, tanto sob o aspecto ambiental, quanto sob a ótica da economia local, para a região, visto que vários setores da sociedade, como empresas e famílias vivem da agricultura, utilizando assim a água oriunda da bacia hidrográfica do Rio Pardo. A agricultura familiar no Vale do Rio Pardo juntamente com sua ligação às redes agroindustriais é decisiva para o desenvolvimento da região, porém a parcela da agricultura familiar ainda é passada entre gerações onde muitas dessas pessoas não possuem o devido conhecimento sobre o impacto de suas ações ao solo.

Considerando o grande impacto da erosão hídrica na degradação dos solos, se torna de suma importância a caracterização de locais mais suscetíveis a esse efeito, permitindo assim medidas preventivas de controle e remediação de modo que ações possam ser tomadas mais rapidamente e com maior precisão, fator que está ligado diretamente com o interesse da região e qualidade de vida futura.

O trabalho também irá contribuir para outros estudos de modo que poderá ser utilizado como comparativo para outras áreas com características semelhantes, assim contribuindo para o banco de dados mundial.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

Identificar o potencial de perda de solo causado pelas chuvas na bacia do Rio Pardo por meio de técnicas de geoprocessamento.

2.2. Objetivo específico

Com o intuito de alcançar o objetivo geral, foram trabalhados os objetivos específicos:

- Conhecer as características físicas da bacia hidrográficas por meio da elaboração de mapas temáticos sobre a erosividade das chuvas, solos predominantes e utilização do solo;
- Classificar atributos da bacia quanto à erodibilidade do solo e erosividade da chuva;
- Identificar os pontos críticos de perda de solo na bacia hidrográfica, para futura adoção de técnicas adequadas para o manejo e planejamento do solo;
- Gerar dados que sirvam de base para o comitê da bacia e órgãos ambientais promovem o planejamento sustentável das atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica do Rio Pardo.

3. CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Bacia hidrográfica

O estudo do ciclo hidrológico possui seu maior foco e interesse na fase terrestre, esta que se baseia na análise de uma bacia hidrográfica, que consiste em uma área de captação natural de água proveniente da precipitação em que os escoamentos são conduzidos para um único ponto de saída, seu exutório, assim, se compõe de conjuntos de superfícies vertentes e cursos d'água, o que gera redes de drenagem que têm como fim um leito único no exutório (TUCCI, 1993).

Que por meio da direção do escoamento é possível identificar os divisores de águas, sendo eles linhas imaginárias sobre o relevo que dividem o escoamento das águas das chuvas, sendo montado de pontos mais altos para os mais baixos (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013), de maneira que se deve considerar perdas intermediárias de volumes evaporados e transpirados assim como perdas de infiltração profundas, transformando assim um volume de entrada concentrada no tempo (precipitação) em uma saída de água (escoamento) de maneira mais distribuída no tempo (TUCCI, 1993).

É necessário frisar que grande parte dos problemas práticos de hidrologia tem como base a bacia hidrográfica de determinada seção e curso de água, assim a importância de suas características topográficas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas, térmicas e tipo de vegetação que cobre a bacia se tornam um grande fator para a contribuição na determinação de métodos a serem empregados (ALVAREZ; GARCEZ, 1988).

Conforme a Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos:

A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997, Art 1, Inciso V).

3.1.1. Forma da bacia

A forma da bacia hidrográfica possui diretamente um efeito no comportamento hidrológico. O tempo de concentração (T_c), esse que é tido como o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que haja a contribuição de toda a bacia para a

vazão na seção de controle (CARVALHO; SILVA, 2006). Existem inúmeros índices utilizados para a determinação da forma das bacias hidrográficas, o que faz com que seja necessário tentar relacioná-las a formas geométricas, podendo de maneira geral utilizar os índices de coeficiente de compacidade (K_c) e o fator de forma (K_f) (CARVALHO; SILVA, 2006).

Segundo ALVAREZ; GARCEZ (1988) o coeficiente de compacidade (K_c) se tem pela relação do perímetro da bacia hidrográfica e a circunferência de círculo de uma área igual à da bacia, assim resultando que para uma bacia circular ideal, o índice de compacidade (K_c) fica = 1. Já em uma bacia com uma circunferência não ideal podemos chamar de P o seu perímetro e C a circunferência de círculo de área A igual a bacia, conforme equação 1:

$$K_c = \frac{P}{C} \quad (1)$$

e, definindo D como o diâmetro do círculo de área A (equação 2):

$$D = \frac{C}{\pi} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (2)$$

Concluimos que (equação 3):

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi}*\sqrt{A}} \sim 0,28 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right) \quad (3)$$

Conseqüentemente, bacias circulares possuem tendências para maiores enchentes, devido a probabilidade de chuvas intensas ocorrerem por toda sua área serem maiores (VILLELA; MATTOS, 1975).

Já a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia se tem como o fator de forma (K_f), no qual se mede o comprimento de uma bacia (L) em relação ao seu curso de água mais longo e a largura média (L_{linha}) se obtém ao dividir a área pelo comprimento da bacia, deste modo (equação 4):

$$K_f = \frac{L_{linha}}{L} \quad (4)$$

Porém, $L_{\text{linha}}=A/L$, assim (equação 5):

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (5)$$

Isso permite verificar tendências para enchentes de uma bacia, na qual um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes do que uma bacia do mesmo tamanho, porém com um fator de forma mais alto. Devido que uma bacia mais estreita e longa possui uma ocorrência de chuva intensa abrangendo toda sua área é menor, outro fator se deve a contribuição dos tributários atingirem o curso principal se dividem entre vários pontos (VILLELA; MATTOS, 1975).

3.1.2. Declividade da bacia

Consistem em variável que controla grande parte da velocidade do escoamento superficial, atuando diretamente no tempo em que a água da chuva tem para concentrar-se nos leitos fluviais (VILLELA; MATTOS, 1975), assim quanto maior a declividade de um terreno, maior será a velocidade de escoamento consequentemente menor será o tempo de concentração, gerando maiores picos de enchentes (CARVALHO; SILVA, 2006).

Sua estimativa pode efetuada de diversas formas, uma das maneiras mais simples é identificar a altitude (Z_{100}) do início da rede de drenagem principal e sua altitude (Z_0) no exutório, o cálculo de sua diferença (ΔZ) dividido pelo comprimento da drenagem principal (L), demonstra a estimativa de drenagem principal de uma bacia hidrográfica (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013) demonstrado na equação 6.

$$S = \frac{Z_{100} - Z_0}{L} \quad (6)$$

3.1.3. Sistema de drenagem

Definido pelo rio principal e seus tributários, tem-se como base o estudo de suas ramificações e de seu desenvolvimento, permitindo a criação de indicadores para uma maior ou menor velocidade que a água deixara a bacia hidrográfica

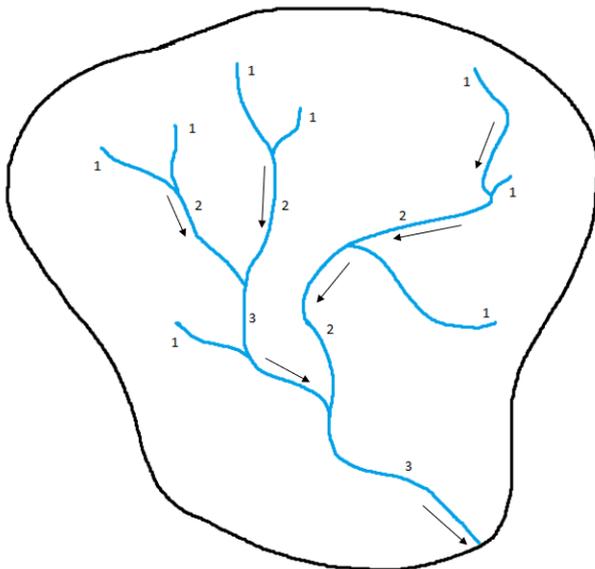
(CARVALHO; SILVA, 2006).

3.1.3.1. *Ordem dos cursos de água*

Classificação que demonstra o grau de ramificação ou de bifurcação dentro de uma bacia hidrográfica (CARVALHO; SILVA, 2006), surgiu no início do século XX, pela proposta de Robert Horton, para hierarquizar cursos de água, que posteriormente foi alterado por Strahler em 1957, assim sendo conhecido como ordem do curso de água (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Os critérios de Strahler, consistem em que o curso da água a partir da nascente é de ordem 1, no encontro de dois cursos de ordem 1 se encontram formam um curso de ordem 2, com a ligação de dois cursos de ordem 2 obtemos um curso de ordem 3, assim sucessivamente. O encontro de um curso de ordem inferior não altera sua ordem (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013), visível na Figura 1.

Figura 1 - Classificação do grau de ramificação pelos critérios de Strahler.



Fonte: Autor, 2023.

3.1.3.2. *Densidade de drenagem (Dd)*

A densidade de drenagem é definida pela soma do comprimento de todos os cursos de água, dividido pela área da bacia (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013), conforme a equação 7:

$$Dd = \sum \frac{L}{AD} \quad (7)$$

Em que:

L - comprimento de cada trecho da rede (km);

AD - área de drenagem da bacia (km²);

Dd - densidade de drenagem (km²).

Dessa maneira, demonstra o grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem, expressando a relação entre o comprimento total dos cursos da água (CARVALHO; SILVA, 2006)

3.2. Geomorfologia

Segundo Werlang (2019), a geomorfologia compreende o estudo da diversidade dos relevos na superfície da crosta terrestre, buscando identificar, descrever e analisar essas formas de relevo. A influência geomorfológica e geológica possui impacto direto no escoamento superficial em uma bacia hidrográfica, o que acaba impactando na quantidade total das águas proveniente das precipitações que alcançam os cursos de água (SUGUIO; BIRELLA, 1990).

Para Cunha (1998) a geomorfologia fluvial compreende o estudo dos cursos de águas e das bacias hidrográficas, tendo o estudo dos cursos de águas como os processos fluviais e de modo resultante do escoamento das águas, já o estudo de bacias hidrográficas considerando as principais características da bacia hidrográfica que atuam no regime hidrológico. Assim a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica se torna um procedimento prioritário e de corriqueira aplicação referentes a análises hidrológicas ou ambientais, possuindo o objetivo de elucidar inúmeras questões relacionadas com a compreensão da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO, 2007).

3.3. Cobertura vegetal

Atuando juntamente com características geológicas, possuem impactos diretos na rapidez do escoamento superficial, especialmente em áreas de floresta e de campos cultivados (ALVAREZ; GARCEZ, 1988). Em campos cultivados é importante

salientar que se efetuado de maneira inadequada pode agilizar a degradação do solo, que no Brasil chega de 600 a 800 milhões de toneladas de sedimentos por ano (MERTEN; MINELLA, 2013).

Áreas cobertas por florestas tendem a regularizar as vazões dos cursos de água, não aumentando o valor médio das vazões, porém em climas secos podem atuar na diminuição do valor de vazões médias devido ao aumento da evaporação. Possuem impacto no combate à erosão do solo e conseguem diminuir o impacto de pequenas enchentes (ALVAREZ; GARCEZ, 1988).

Assim se torna importante salientar a importância de zonas de matas ciliar que normalmente apresentando uma alta variação em termos de estrutura, composição e distribuição espacial, recorrente ao longo do curso d'água, que impactam nas características de deposição de sedimentos, ações de erosões fluviais e em condições de saturação do solo, atuando também na manutenção da integridade da bacia hidrográfica, seu ecossistema aquático, qualidade e quantidade de água (Lima, 2008).

A Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), dispõe sobre a proteção da vegetação nativa possuindo como alguns dos seus objetivos a proteção e preservação dos recursos hídricos, estabilidade geológica e proteção do solo, definidas como Áreas de Preservação Permanente (APP).

3.4. Erosão hídrica

O processo de deslocamento de partículas sólidas vindas da superfície do solo, paredes dos leitos dos córregos e rios, que acabam por se movimentar do seu ponto de origem por meio do efeito de escoamento, entende-se como um processo de erosão. Este que pode ocorrer por reações químicas, flutuações de temperatura, ações mecânicas, ou fatores naturais que não estão ligados diretamente com o ciclo hidrológico (TUCCI, 1993).

Essa desagregação das partículas possui como o maior gerador de impacto o homem, porém o segundo maior gerador de impacto são as gotas de chuva (TUCCI, 1993). Devido a isso, áreas de cultivo agrícola se tornam propícias para a perda de solos, juntamente com a falta de preocupação conservacionista, essas áreas conseguem atingir valores de até 800 milhões de toneladas de sedimentos por ano somente no Brasil. Causando ainda mais impactos em termos da produção agrícola,

além de um impacto direto na bacia hidrográfica que impacta diretamente nas enchentes e estiagens (MERTEN; MINELLA, 2013).

3.5. Equação Universal de Perda de Solos - EUPS

Conforme a equação proposta por Wischmeier & Smith (1978) (Equação 8), é possível estimar a perda média anual de solo por erosão laminar em uma área específica, considerando fatores naturais e antrópicos, no qual é integrado em relação às funções: energia da chuva, suscetibilidade do solo à erosão, comprimento e grau do declive, uso e manejo do solo e práticas conservacionistas.

$$A = R * K * (LS) * (CP) \quad (8)$$

Em que:

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;

P = práticas conservacionistas.

Sendo esse um modelo prático e com fácil obtenção de dados, permitindo assim ser amplamente utilizado em estimativas para perda de solos, permitindo suas estimativas para o planejamento de ocupação e uso do solo (MENDONÇA et al., 2006).

3.6. Erosividade da chuva – Fator R

A erosividade da chuva demonstra a capacidade de causar erosão por desagregação e transporte das partículas do solo, gerado por meio do impacto das gotas de chuva, escoamento superficial e das partículas desagregadas (LAL, 1994).

Deste modo o fator de erosividade (R) é o índice de erosão pelas chuvas (WISCHMEIER, 1959).

Para a determinação do fator R Lombardi Neto (1977) definiu a equação 9:

$$EI_{30} = 89,823 * \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0,759} \quad (9)$$

Em que:

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).

Assim soma-se os valores mensais do índice de erosividade de cada estação pluviométrica (equação 10):

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI_{30j} \quad (10)$$

Em que:

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

Conforme Wischmeier e Smith (1978), as séries históricas devem possuir no mínimo 20 anos, devido aos padrões dos parâmetros climáticos, assim gerando uma maior confiabilidade e precisão aos resultados.

3.7. Erodibilidade do solo – Fator K

A erodibilidade do solo em termos práticos, significa a perda que o solo possui ocasionado por uma determinada erosividade das chuvas (WISCHMEIER; SMITH, 1965). Dentre os possíveis fatores que alteram os valores de erodibilidade do solo se encontra: sua textura, resistência ao cisalhamento, teor de matéria orgânica, estabilidade de agregados e sua capacidade de infiltração (BERTONI, LOMBARDI NETO, 2012; GUERRA, 2008; MORGAN, 2005).

Conforme constatado por Williams (1975), a erodibilidade de solos para as bacias hidrográficas pode ser calculada baseando-se nas seguintes equações (equações 11, 12, 13, 14 e 15):

$$K = 0,1317 * Areia * FArgila - Silte * CarbOrg * AreiaFina \quad (11)$$

$$Areia = 0,2 + 0,3 * e^{(-0,0256ms*(1-\frac{msilt}{100}))} \quad (12)$$

$$Argila - silte = \left(\frac{msilt}{mc+msilt}\right)^{0,3} \quad (13)$$

$$CarbOrg = \left(1 - \frac{0,25*orgC}{orgC+e^{(3,72-2,95orgC)}}\right) \quad (14)$$

$$AreiaFina = \left(1 - \frac{0,7*\left(\frac{ms}{100}\right)}{1-\left(\frac{ms}{100}\right)+e^{(-5,51+22,9*(1+\frac{ms}{100}))}}\right) \quad (15)$$

Em que:

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 (%).

3.8. Fator topográfico – Fator LS

Conforme Wischmeier & Smith (1978), é possível considerar o fator L (comprimento de inclinação) e S (declividade) como somente um fator topográfico, de maneira que se torna mais conveniente seu estudo. Este que demonstra a relação entre as perdas de solo que ocorrem em uma parcela unitária padrão, com 22,1 m de comprimento e 9% de declividade em uma determinada área com declividade e comprimento de encosta qualquer. De maneira que o comprimento e a inclinação de um terreno afetem a taxa de erosão do solo pela água.

Assim, expressões baseadas de McCool et al. (1989) permitem o cálculo do fator “LS” de modo que (equação 16):

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad (16)$$

Onde:

L = Comprimento de declividade;

λ = Comprimento da encosta (metros);

m = Constante dependente da declividade da encosta.

Para a aquisição da constante “m” foi empregada a metodologia de Foster et al. (1977) (equação 17):

$$m = \frac{\beta}{1+\beta} \quad (17)$$

Onde:

β = Pendente a nível de pixel (radianos).

Através de dados adquiridos por McCool et al. (1989) o valor de “ β ” pode ser adquirido através de (equação 18):

$$\beta = \left(\frac{\frac{\text{Sen}\theta}{0,0896}}{3*(\text{sen}\theta)^{(0,8+0,58)}} \right) \quad (18)$$

Em que:

θ = Declividade da encosta, em graus.

Desmet & Gover (1996) e Nearing (1997) desenvolveram uma equação para o cálculo em uma bacia hidrográfica sendo ela (equação 19):

$$L(i, j) = \frac{(A(i, j) + D^2)^{m+1} - A(i, j)^{m+1}}{x^m * D^{m+2} * 22,13^m} \quad (19)$$

Em que:

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

$A_{i,j}$ = Área de contribuição da célula em coordenadas (i,j)(m²);

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)

- m=0,5 se declividade for >5%;
- m=0,4 se declividade for entre o intervalo de 3 a 5%;
- m=0,3 se declividade for entre o intervalo de 1 a 3%;
- m=0,2 se declividade for <1%.

Assim quando (equação 20 e 21):

$$\tan\beta(i, j) < 0,09S(i, j) = 10,8\text{sen}\beta(i, j) + 0,03 \quad (20)$$

$$\tan\beta(i, j) \geq 0,09S(i, j) = 16,8\text{sen}\beta(i, j) - 0,5 \quad (21)$$

Em que:

S = Grau de declividade.

Devido a ser um fator de difícil obtenção seja pela escassez de dados e pela grande quantidade de tempo exigida para sua aquisição, normalmente é obtido através de softwares, principalmente para bacias hidrográficas (SILVA et al., 2007).

3.9. Uso, manejo e práticas conservacionistas – Fator CP

O fator C é descrito por Wischmeier & Smith (1978) como a razão de perda do solo em terras com coberturas sob condições específicas para a perda correspondente de solo em terras sem cobertura, medindo assim o efeito de todas as variáveis de cobertura e gestão inter-relacionadas, sendo um exemplo citado o de desenvolvimento da cobertura vegetal em determinado momento.

Já o fator P se dá como a razão de perda de solo correspondente a práticas de apoio, sendo devido a rotação de culturas, utilização de tratamentos para fertilidade

do solo e a permanência de matéria no local, assim o fator P está incluído diretamente no fator C (WISCHMEIER; SMITH 1978).

A permanência de vegetação permite que caules e folhas atuem como uma camada de proteção para o solo, em que acabam por absorver a energia cinética das gotas de chuva, esse fator está ligado à densidade da cobertura vegetal e a altura em que se encontra, além de serem capazes de aumentar a rugosidade do solo, reduzindo assim a velocidade de escoamento superficial (GUERRA, 2008; MORGAN, 2005).

3.10. Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos

O desenvolvimento humano se encontra em constante avanço, dentre esses avanços é notável o beneficiamento que as geotecnologias trazem, graças a aquisição, processamento e análise de dados, de maneira que possam ser adquiridas por meio de Cartografia, Geoestatística, Geodésia, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informações Geográficas etc. (SANTOS et al., 2012).

Permitindo aquisição de maneira mais rápida e com alto grau de precisão, suas utilizações abrangem uma grande gama de aplicação como: manejo de bacias hidrográficas, riscos de inundação, zoneamentos ambientais, monitoramentos e adequações ambientais, planos para manejo e conservação de áreas, entre inúmeras outras aplicações (SANTOS et al., 2012).

Sistemas de informações geográficas possuem o surgimento a mais de três décadas, porém é interessante notar que seu crescimento mais acentuado se deu entre o final da década passada e o início da atual, em grande parte graças à alta capacidade de desempenho e à disseminação dos microcomputadores pessoais (MORAIS; SANTOS, 2007).

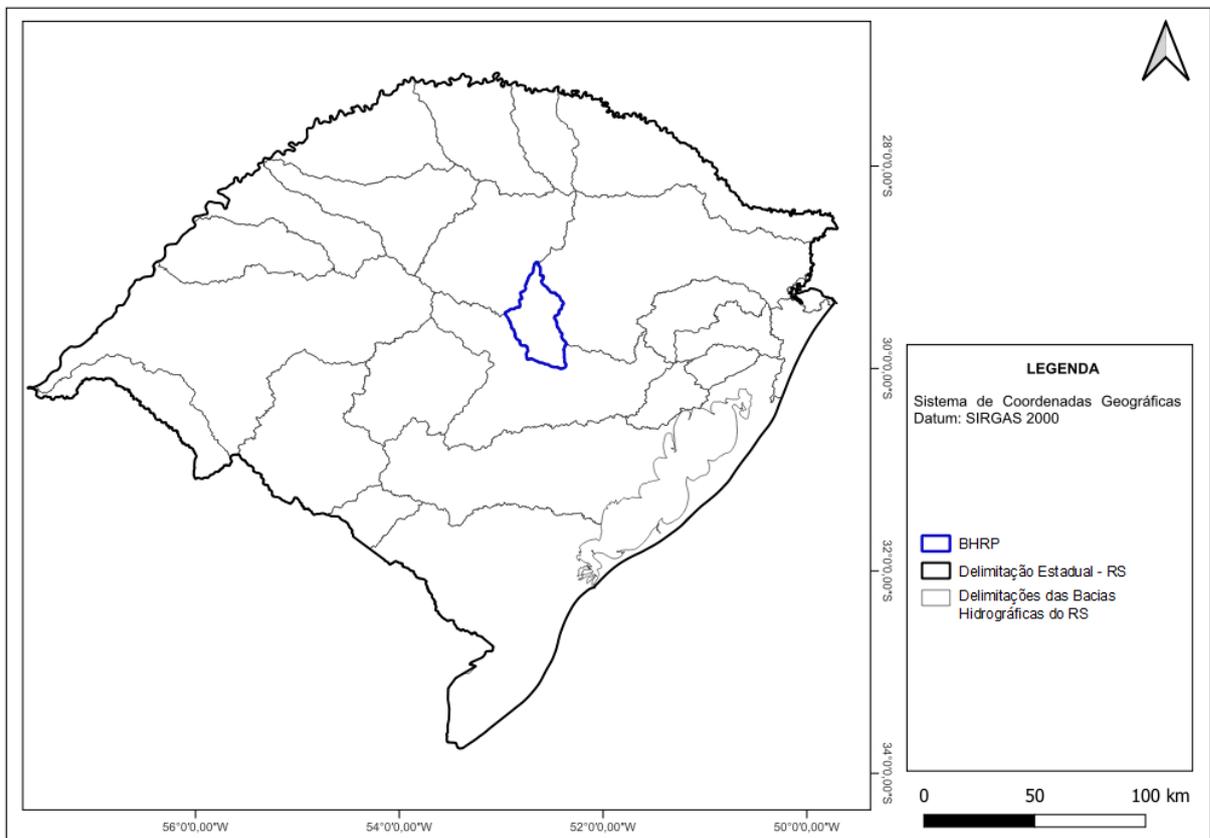
4. METODOLOGIA

A fim de atingir os objetivos propostos, a metodologia aplicada é apresentada nos próximos tópicos, de modo que contenha os métodos e materiais aplicados.

4.1. Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP), se encontra localizada na região central do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 2), sendo uma das bacias que integra a Região Hidrográfica do Guaíba, corresponde a Bacia G090 pela divisão oficial do Estado (SEMA, 2005), possui uma extensão de 115 Km e 35 Km de largura e uma área de drenagem de 3.636,79 Km² e representa 1,3% da área do Estado e 4,3% da Região Hidrográfica do Guaíba (COMITÊ PARDO). Aflui para o Rio Jacuí, na cidade de Rio Pardo - RS, seguindo para a Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí que correspondente a Bacia G070 pela divisão oficial do Estado (SEMA, 2005).

Figura 2 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).



Fonte: Autor, 2023.

Os municípios integrantes da Bacia do Rio Pardo são: Barros Cassal, Boqueirão do Leão, Candelária, Gramado Xavier, Herveiras, Lagoão, Passa Sete, Rio Pardo, Santa Cruz do Sul, Sinimbu, Vale do Sol, Venâncio Aires e Vera Cruz, podendo ter sua integração dentro da Bacia de maneira parcial ou total. Sua distribuição populacional concentra-se em uma maior parcela em áreas urbanas, sendo 163.674 habitantes em áreas urbanas e 68.769 habitantes em áreas rurais (SEMA, 2005).

Conforme Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA, 2005) a Bacia Hidrográfica do Rio Pardo está dividida em três grandes partes, determinadas principalmente devido a sua topografia:

- Alta: área de aproximadamente 20% do território da Bacia, possui grandes áreas de campo, em que o setor primário se baseia na pecuária, havendo lavouras de pequeno porte para subsistência e áreas de florestamento de essências exóticas. Com área associada ao Planalto Meridional, sua geologia é essencialmente constituída por rochas basálticas da formação Serra Geral, conseguindo atingir altitudes superiores a 500 m, no qual se tem um relevo predominantemente ondulado.
- Intermediária: área de aproximadamente 40% do território da Bacia, onde se concentram importantes áreas cobertas por remanescentes florestais em visíveis estágios de regeneração e áreas muito bem reservadas. Sua área se encontra em relevos abruptos das encostas do Planalto, em que a altitude pode variar de 200 a 500 m. Outro ponto importante é a significativa população da fauna, que abrange até mesmo espécies ameaçadas de extinção.
- Baixa: área de aproximadamente 40% do território da Bacia, com grandes áreas planas e de relevos ondulados a relevos suaves ondulado, trazendo assim meandros encontrados nos principais cursos de água da Bacia, a utilização da área se deve principalmente ao cultivo de arroz irrigado em regiões pertos dos cursos de água e em regiões mais elevadas ao cultivo de fumo, soja, milho, entre outros, assim como a pecuária extensiva. Áreas associadas à região fisiográfica da Depressão Central, apresenta uma geologia de grande ocorrência de basalto da formação Serra Geral, arenito da formação Rosário do Sul e Botucatu, juntamente aos corpos de águas principais são encontrados depósitos do Quaternário.

Com o objetivo de definir melhor o acompanhamento de determinada área dentro da bacia hidrográfica, ocorreu a divisão interna da bacia, permitindo assim uma

definição adequada de estudo e futuras ações necessárias para cada região dentro da bacia, essa decisão foi tomada pelo Comitê Pardo, como resultado desse processo de divisão, foram definidas 13 unidades de estudo para a Bacia do Rio Pardo demonstrados na Tabela 1 (COMITÊ PARDO):

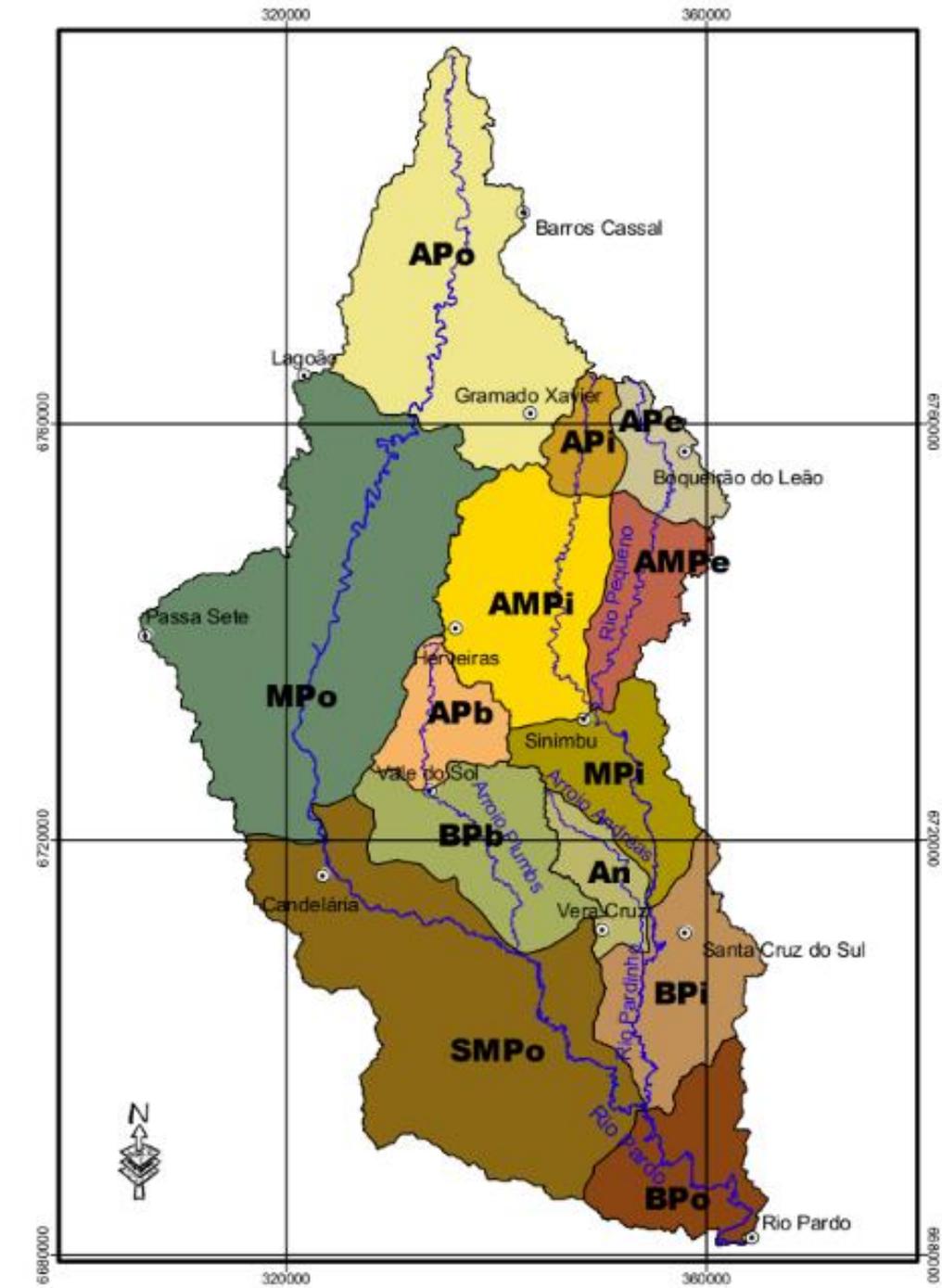
Tabela 1 - Unidades de estudos definidos pelo Comitê na Bacia do Rio Pardo.

Unidade	Sigla	Sub-Bacia	Área (km²)
Alto Pardo	Apo	Pardo	512,05
Médio Pardo	MPo	Pardo	773,54
Sub-Médio Pardo	SMPo	Pardo	728,04
Baixo Parod	BPo	Pardo	190,02
Alto Plumbs	APb	Pardo	110,03
Baixo Plumbs	BPb	Pardo	236,92
Sub-Total Pardo			2550,6
Alto Pardinho	APi	Pardinho	64,6
Alto-Médio Pardinho	AMPi	Pardinho	306,7
Alto Pequeno	APe	Pardinho	92,9
Alto-Médio Pequeno	AMPe	Pardinho	134,71
Médio Pardinho	MPi	Pardinho	187,63
Andréas	An	Pardinho	80,19
Baixo Pardinho	BPi	Pardinho	219,46
Sub-Total Pardinho			1.086,19
TOTAL			3.636,79

Fonte: ECOPLAN, 2004.

Tendo as localizações conforme siglas informadas na tabela acima demonstradas na Figura 3, permitindo uma melhor visualização das divisões internas da bacia.

Figura 3 - Divisão interna da Bacia do Rio Pardo.



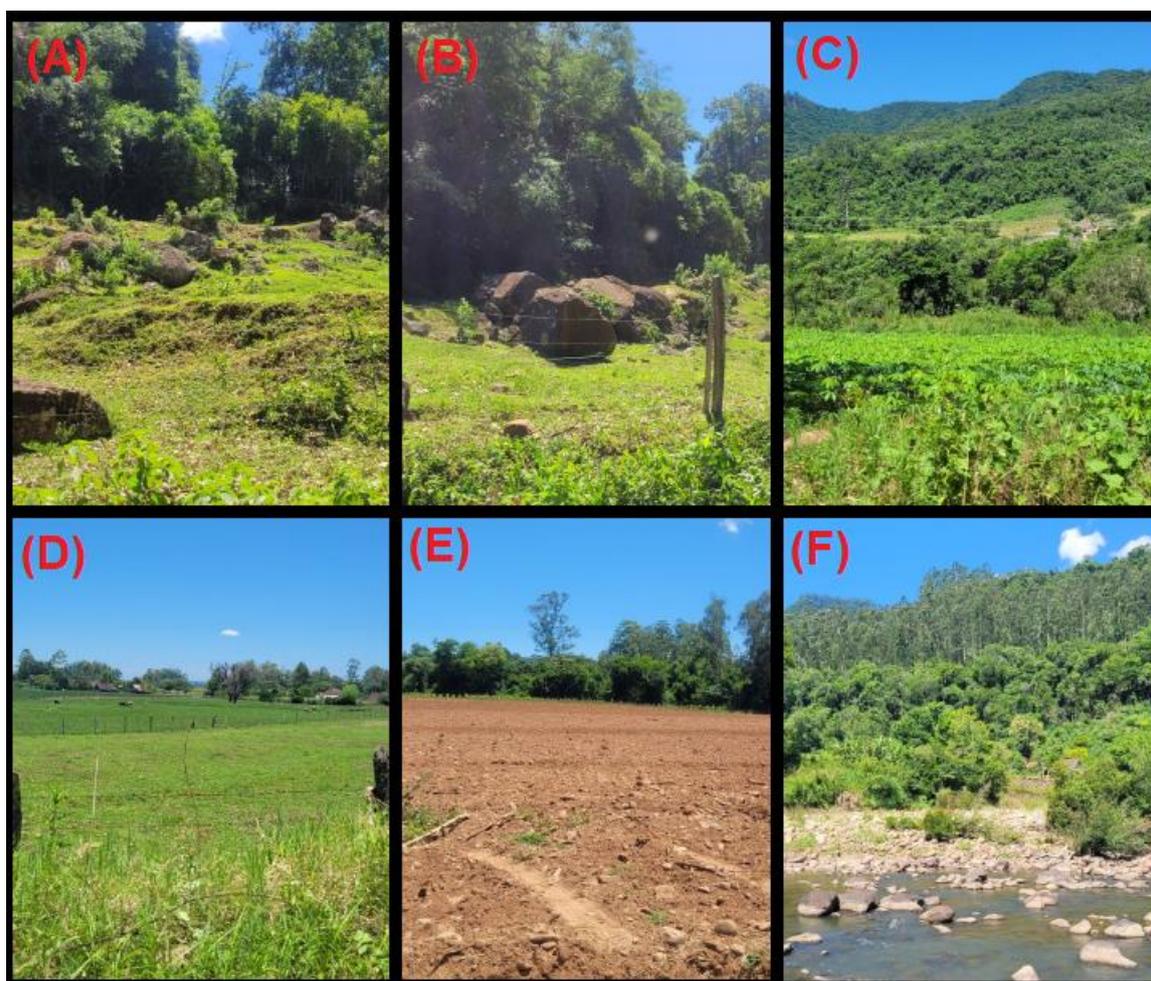
LEGENDA

- Cidades
- Rios Principais

Fonte: Modificado de ECOPLAN, 2005.

A fim de caracterizar visualmente as características físicas e biológicas, permitindo um panorama do relevo e do bioma, foram efetuadas fotos de localidades dentro da Bacia Hidrográfica demonstradas na Figura 4.

Figura 4 – Imagens referentes à caracterização da região da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, em ordem: área de mata nativa e afloramento de roxas (A); área de mata nativa e rochas expostas (B); área de cultivo de fumo (C); área de pastagem (D); área em preparo de solo para plantio (E) e área do Rio Pardo junto a presença de eucaliptos (F).



Fonte: Autor, 2023.

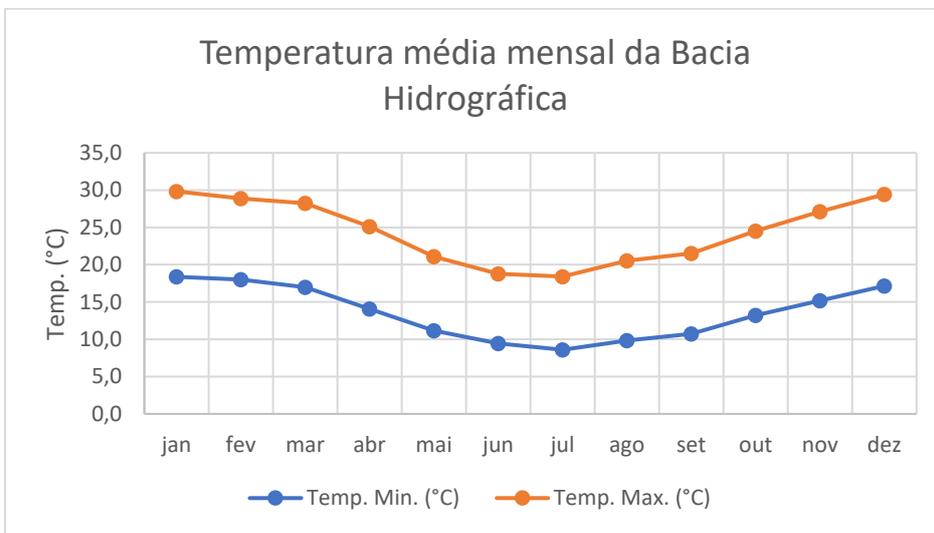
4.1.1. Características Climáticas

A classificação climática se refere aos tipos de clima de determinada região, existindo várias propostas de classificação, dentre elas a com maior aceitação internacional é a de Köppen, que classifica a região Sul como do tipo subtropical úmido (Cfa), de temperaturas médias no mês mais frio inferior a 18 °C e do mês mais quentes superiores a 22 °C (WREGGE et al., 2012).

Conforme dados disponibilizados pelo IBGE que se baseou em dados de 1981 a 2010 utilizando estações oficiais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET),

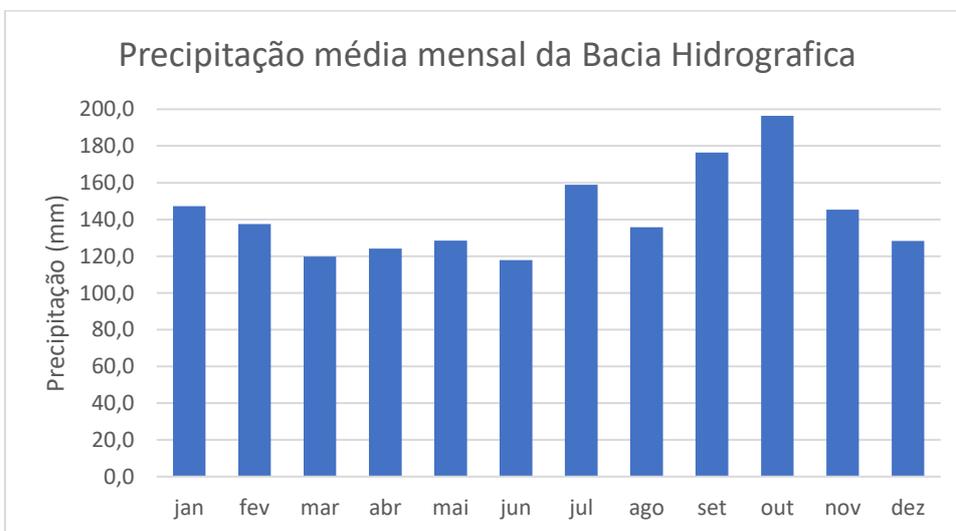
interpolando as localidades que não tem estação de medição, foi possível a aquisição de dados climáticos dos municípios dentro da bacia hidrográfica, possibilitando visualizar as temperaturas médias mensais (Figura 5) e a precipitação média mensal (Figura 6) na bacia hidrográfica. Vale salientar que o Estado também possui uma distribuição de chuvas equilibrada durante todo o período do ano devido às massas de ar oceânicas que o adentram (SPGG,2021).

Figura 5 - Temperatura média mensal dos municípios inseridos dentro da bacia hidrográfica do Rio Pardo.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 6 - Precipitação média mensal dos municípios inseridos dentro da bacia hidrográfica do Rio Pardo.



Fonte: Autor, 2023.

4.1.2. Municípios Inseridos na Bacia

Por meio dos dados disponibilizados pelo IBGE e SEMA, é possível obter um panorama geral dos municípios como seu bioma predominante, ocupação da área dos municípios dentro da bacia hidrográfica, população, PIB per capita e área territorial total dos municípios (Tabela 2).

Tabela 2 - Panorama geral dos municípios dentro da bacia do Rio Pardo.

Município	Ocupação da área do município dentro da bacia hidrográfica (%)	População (IBGE-2010)	PIB per capita (R\$) (IBGE-2019)	Área de unidade territorial (km²) (IBGE-2021)	Bioma (IBGE-2019)
Barros Cassal	48	11.133	18.121,70	647,994	Mata Atlântica
Boqueirão do Leão	44	7.673	17.725,53	265,952	Mata Atlântica
Candelária	53	30.171	27.089,73	944,058	Mata Atlântica; Pampa
Gramado Xavier	100	3.970	20.238,23	217,515	Mata Atlântica
Herveiras	100	2.954	18.393,05	118,252	Mata Atlântica
Lagoão	47	6.185	17.625,23	387,455	Mata Atlântica
Passa Sete	77	5.154	19.440,10	304,833	Mata Atlântica
Rio Pardo	23	37.591	25.543,47	2.051,233	Mata Atlântica; Pampa
Santa Cruz do Sul	46	118.374	75.387,36	733,898	Mata Atlântica; Pampa
Sinimbu	96	10.068	20.665,35	510,233	Mata Atlântica
Vale do Sol	100	11.077	20.325,27	647,994	Mata Atlântica
Venâncio Aires	2	65.946	48.418,68	772,558	Mata Atlântica; Pampa
Vera Cruz	100	23.983	26.080,29	309,621	Mata Atlântica

Fonte: Autor, 2023.

4.1.3. Biomas

Os biomas localizados na região da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo segundo IBGE (2019) são o Pampa e a Mata Atlântica.

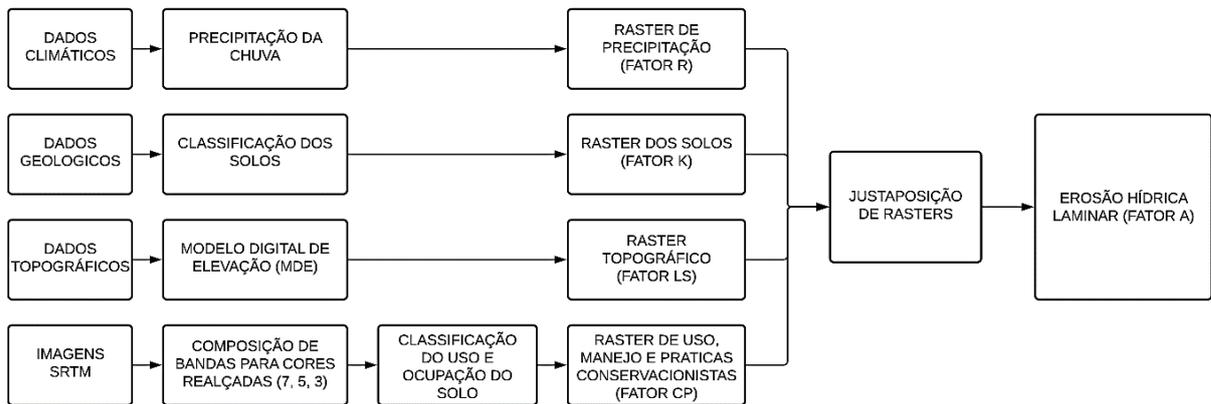
O Bioma Pampa ocupa 68,8% do território estadual e 2,1% do território brasileiro, sendo restrito somente ao Estado do Rio Grande do Sul, é caracterizado predominantemente por campos nativos, possuindo uma estrutura de vegetação menos abundante quando comparada as savanas e florestas brasileiras, atua na regulamentação do controle de erosão do solo e captação do carbono, sendo em 2018 a predominância da vegetação campestre (37,4%), seguida pela utilização agrícola (36,3%) e 19,3% de área natural incluindo dunas e areais, valores estes que receberam alterações no período de 2000 a 2018, no qual 58,0% da vegetação campestre foi convertida em áreas agrícolas e 18,8% em áreas de silvicultura, seguindo a tendência nacional de investimentos (IBGE, 2020).

A Mata Atlântica é considerado um dos mais biodiversos e ameaçados do planeta, entre os biomas terrestres brasileiros é tida como a única em que a classe predominantes do uso de terra não é de cobertura natural, tratando-se do bioma mais alterado do País, sendo a única protegida por legislação ambiental no País, atribuindo políticas públicas voltadas ao desenvolvimento econômico sustentável em atividades pecuárias e agrícola, no qual apenas 12,6% de seu território ainda representam vegetação florestal em que sua fitofisionomia original, valor que diminuiu em relação ao ano de 2000 no qual representava 13,3%, sua atuação vai desde níveis locais, regionais a níveis globais atuando na proteção contra desastres naturais, controle de erosão, captura de carbono, manutenção da biodiversidade entre outros (IBGE, 2020).

4.2. Processamento de dados para a aplicação da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS)

O processamento de dados foi realizado em cinco etapas distintas (Figura 7): Aquisição do mapa de erosividade da chuva (Fator R); Aquisição do mapa de erodibilidade do solo (Fator K); Aquisição do mapa do fator topográfico (Fator LS); Aquisição do mapa de uso, manejo e práticas conservacionistas (Fator CP) e pôr fim a Integração dos Fatores da EUPS em SIG.

Figura 7 - Fluxograma da metodologia.



Fonte: Autor, 2023.

O software utilizado para o processamento dos dados e criação dos mapas foi o QGIS versão 3.26, este que possui sua aquisição gratuita. Para o Sistema de Referências de Coordenadas (SRC), foi utilizado o SIRGAS 2000 - EPSG:4674. A projeção do mapa de declividade foi obtida por meio das imagens disponibilizadas no site do Instituto Nacional de pesquisas Espaciais (INPE), em que Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) oferece um Modelo Digital de Elevação (MDE) em cobertura nacional, obtido através dos dados Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) disponibilizados pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) na rede mundial de computadores (INPE, 2008). Devido ao tamanho da bacia, foram selecionados três dados, sendo eles: 28_54_; 29_54_; 29_525.

O contorno gerado para a delimitação da bacia hidrográfica juntamente com os dados referente a delimitação dos corpos hídricos foram adquiridos através do catálogo de metadados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) sendo o arquivo shapefile “Nível 2 de Sub-bacias do Plano Nacional de Recursos Hídricos”.

4.3. Erosividade da chuva - Fator R

O mapa de Erosividade da chuva foi obtido pelas análises das séries históricas de precipitação de estações encontradas dentro do território da bacia hidrográfica e cidades próximas (Tabela 3). Os dados das estações pluviométricas foram obtidos por meio do site da ANA, HIDROWEB 3.2.6.

Tabela 3 - Estações pluviométricas utilizadas para determinação da Erosividade da chuva.

Código da estação	Cidade	Nome da estação
2952060	Barros Cassal	Clube Barros Cassal
2952036	Boqueirão do Leão	Boqueirão do Leão
2952024	Boqueirão do Leão	Quatro Léguas
2952003	Candelária	Botucarai
2952034	Candelária	Candelária
2952004	Candelária	Candelária
2952064	Candelária	Prop. Candelária CPRM
2952640	Candelária	Prop. Candelária CPRM
2952049	Gramado Xavier	Gramado Xavier
2952035	Herveiras	Herveiras
2952005	Herveiras	Herveiras
2952061	Herveiras	Igreja Herveiras
2952010	Rio Pardo	Rio Pardo
2592059	Rio Pardo	Rio Pardo
2952011	Rio Pardo	Rio Pardo
2952043	Rio Pardo	Rio Pardo
2952044	Rio Pardo	Rio Pardo - SEDE
2952012	Santa Cruz do Sul	Santa Cruz do Sul
2952013	Sinimbu	Sinimbu
2952065	Sinimbu	Faz. São José Linha Carvalho
2952066	Sinimbu	Linha Almeida
2952062	Vera Cruz	Barragem Pardinho
2952037	Venâncio Aires	Deodoro
2952014	Venâncio Aires	Venâncio Aires
2952058	Venâncio Aires	CORSAN Venâncio Aires
2952041	Venâncio Aires	Riacho Castelhanos
2952042	Venâncio Aires	Ponte de Zinco
2952047	Santa Cruz do Sul	Monte Alverne
2952001	Barros Cassal	Barros Cassal
2952002	Barros Cassal	Barros Cassal
2952023	Barros Cassal	Boa Vista
2852009	Espumoso	Depósito
2953007	Arroio do Tigre	Coloninha
2953037	Cachoeira do Sul	Passo São Lourenço
3052017	Cachoeira do Sul	Barragem Capané
2951017	Farroupilha	Jansen

Fonte: Autor, 2023.

Porém algumas dessas estações não apresentaram dados com quantidades significativas, considerando o período estabelecido por Wischmeier e Smith (1978) de 20 anos.

Devido à falta de dados foram selecionadas as estações que mais se enquadravam no requisito de continuidade, de modo que algumas estações possuem quebra na continuidade dos dados e períodos inferiores a 20 anos.

Assim obteve-se a tabela a seguir (Tabela 4), juntamente com informações dos períodos de coleta inicial e final, além de suas coordenadas geográficas, operadora e responsável juntamente com a porcentagem da falta dos dados em suas respectivas estações.

Tabela 4 - Estações com dados coletados.

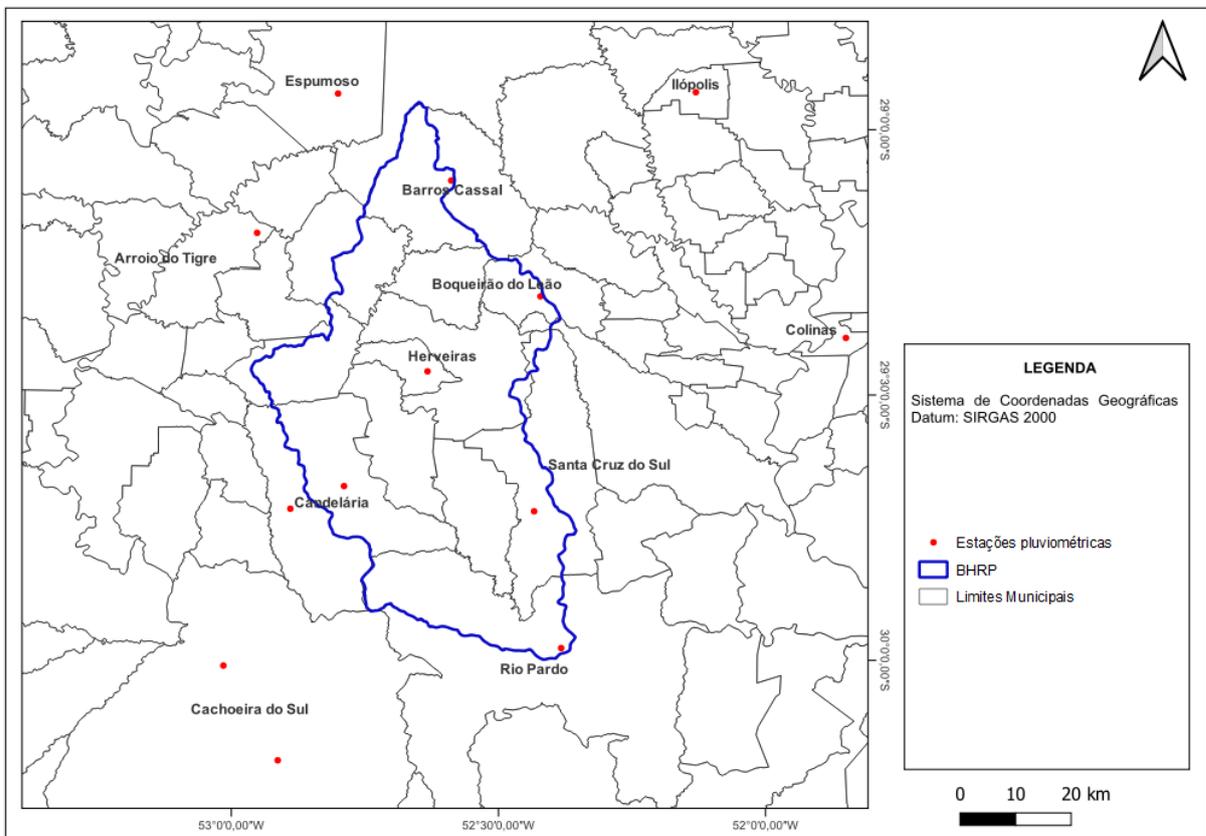
Código da estação	Cidade	Responsável	Operadora	Latitude	Longitude	Período dos dados	Falta de dados (%)
2952036	Boqueirão do Leão	ANA	CPRM	-29,31273	-52,42111	01/01/2005 01/12/2021	5.73
2952003	Candelária	ANA	CPRM	-29,71312	-52,8895	01/01/1966 01/12/2006	0
2952034	Candelária	ANA	CPRM	-29,67043	-52,78893	01/01/19/86 01/12/2005	0
2952035	Herveiras	ANA	CPRM	-29,4541	-52,63254	01/01/2005 01/12/2021	4.69
2952010	Rio Pardo	ANA	CPRM	-29,97594	-52,38221	01/01/1956 01/12/1976	0
2952012	Santa Cruz do Sul	X	X	-29,71803	-52,43297	01/01/1946 01/12/1968	1.52
2952001	Barros Cassal	ANA	CPRM	-29,09657	-52,58826	01/01/2000 01/12/2021	3.97
2852009	Espumoso	ANA	CPRM	-28,9325	-52,8001	01/01/1990 01/12/2012	0
2953007	Arrio do Tigre	CEEE	CEEE	-29,1952	-52,9517	01/01/1970 01/12/2012	0
2953037	Cachoeira do Sul	ANA	CPRM	-30,009	-53,0149	01/01/1987 01/12/2021	3.19
3052017	Cachoeira do Sul	ANA	CPRM	-30,1876	-52,9131	01/01/2003 01/12/2021	5.56
2951017	Farroupilha	ANA	CPRM	-29,3911	-51,8489	01/01/1963 01/12/2012	0
2852014	Ilópolis	ANA	CPRM	-28,9301	-52,1298	01/01/1951 01/12/2012	0

Fonte: Autor, 2023.

Os dados das precipitações foram inseridos no Excel, permitindo o cálculo dos valores de precipitações médias de todos os meses e anos, podendo assim aplicar as equações 9 e 10, gerando o Fator R.

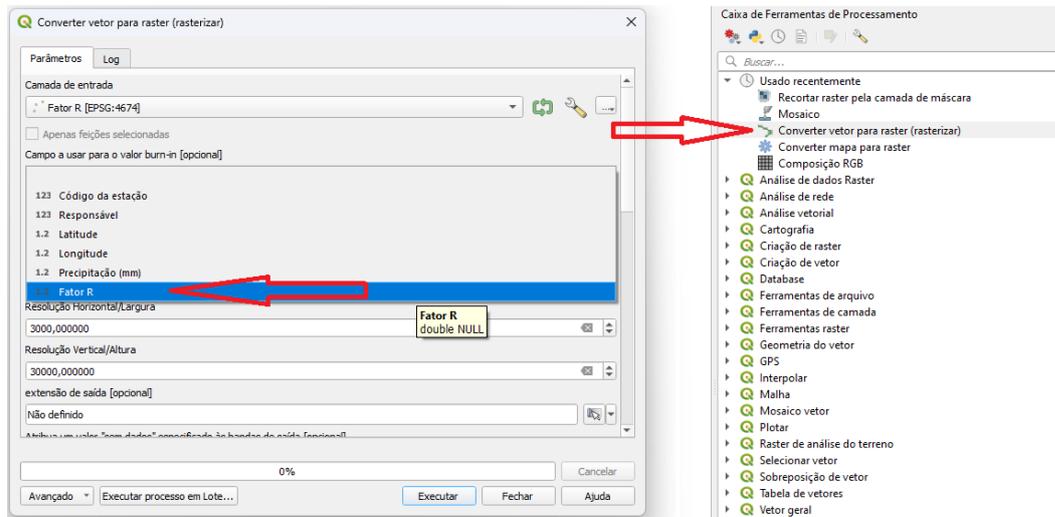
Atribuindo os valores obtidos ao QGis foi selecionado o posicionamento dos valores do Fator R seguindo a latitude e longitude de cada estação dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP) (Figura 8) e por meio da ferramenta “Converter vetor para raster (rasterizar)” (Figura 9), os dados obtidos geram uma camada raster.

Figura 8 – Mapa de localização das Estações pluviométricas.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 9 - Etapa de Rasterização do Fator R.



Fonte: Autor, 2023.

A classificação da erosividade foi obtida por meio da metodologia de Carvalho (2008) em que as classes de erosividade são classificadas pelo seu Fator R ($\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{ano}$) como demonstrado na tabela (Tabela 5).

Tabela 5 - Classe de Erosividade.

Fator R ($\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{há} \cdot \text{h} \cdot \text{ano}$)	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.

4.4. Erodibilidade do solo - Fator K

O mapa de solos foi obtido por meio de uma camada shapefile, disponibilizada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) que apresenta o solo

disposto na superfície de todo o BRASIL e sua nomenclatura no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBICs) (SANTOS et al., 2018).

Informações sobre a porcentagem de areia, argila, silte e carbono orgânico disponível foram obtidas pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) que possui os valores tabelados conforme tipo do solo. Assim selecionando a região da bacia hidrográfica, foi possível identificar os tipos de solos juntamente com as informações necessárias sobre a porcentagem de areia, argila, silte e carbono orgânico disponível permitindo os cálculos das equações (4), (5), (6), (7) e (8), propostas por Williams (1975).

Os cálculos foram efetuados em uma planilha do Excel e adicionados em uma nova coluna dos atributos da camada original. Utilizando o mesmo procedimento do raster anterior, foi selecionado a ferramenta “Converter vetor para raster (rasterizar)” e selecionado o atributo obtido pelas equações, criando uma camada raster para o Fator K.

Suas classificações se baseiam na interpretação de Manningel et al., (2002) a qual é demonstrada na tabela a seguir (Tabela 6):

Tabela 6 - Classificação da erodibilidade dos solos.

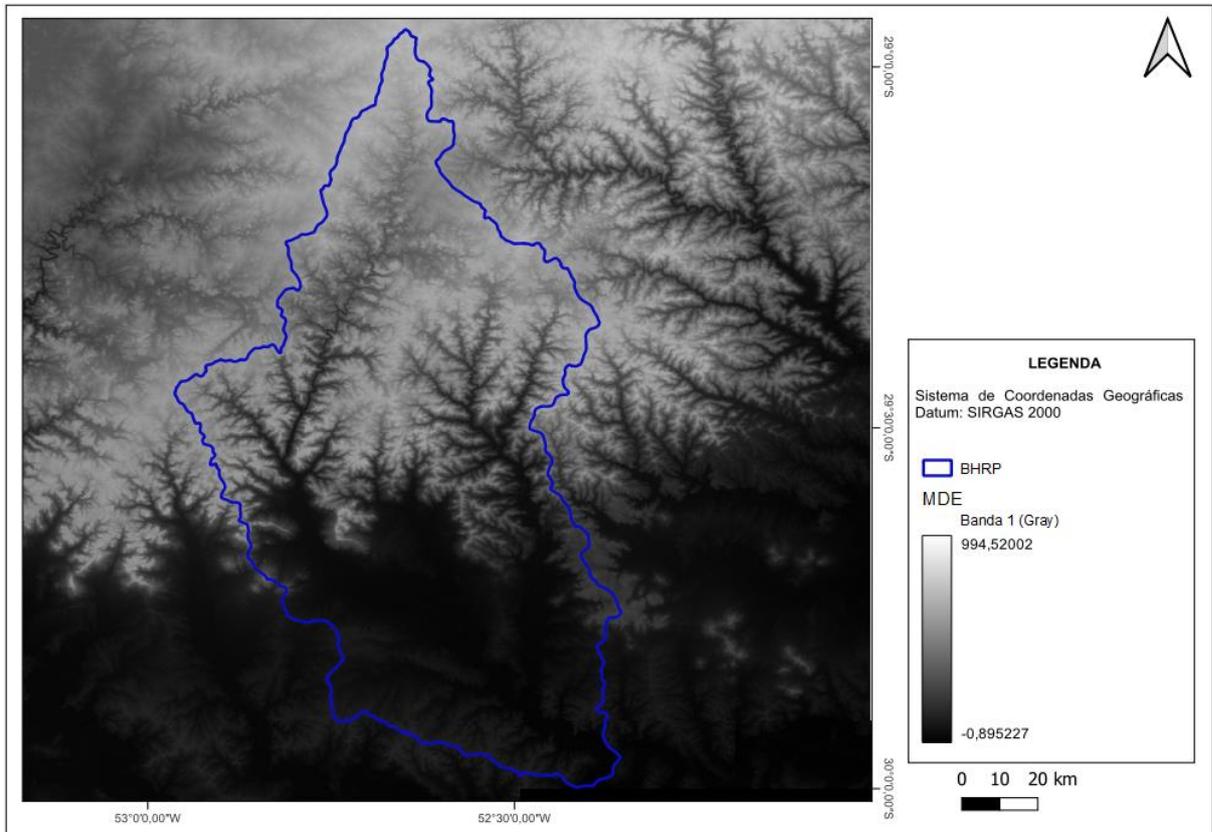
Classificação	Fator K (ton.h/MJ.mm)
Extremamente alta	>0,0600
Muito alta	0,0459-0,0600
Alta	0,0300-0,0450
Média	0,0150-0,0300
Baixa	0,0090-0,0150
Muito baixa	<0,0090

Fonte: MANNINGEL et al., 2002.

4.5. Fator topográfico - Fator LS

A elaboração do mapa de Fator Topográfico tem como base o modelo digital de elevação (MDE). Devido ao tamanho da bacia hidrográfica foram necessárias três imagens, estas foram obtidas no site do INPE (2008), sendo elas: 28_54_; 29_54_ e 29_525 (Figura 10).

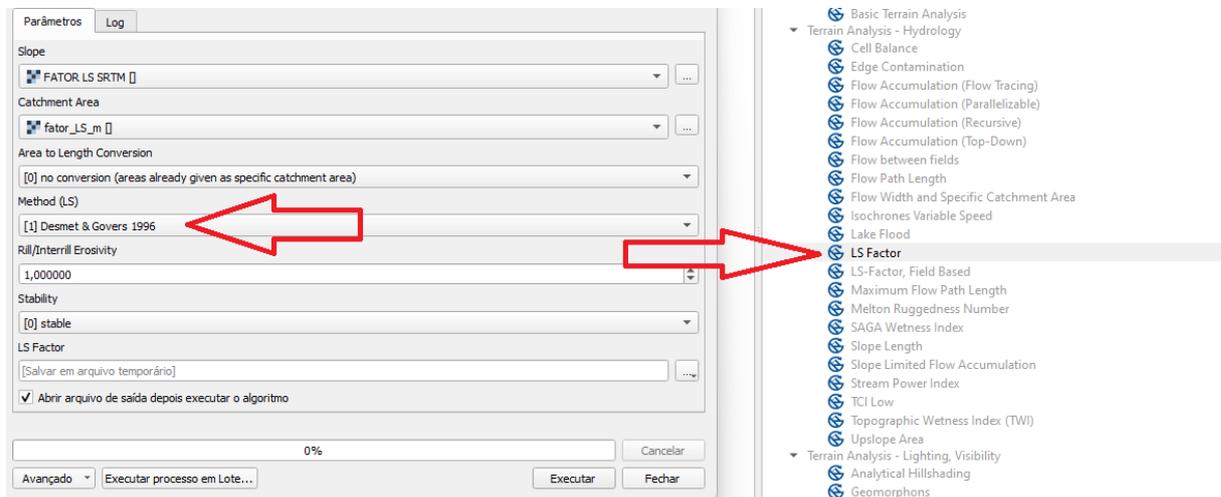
Figura 10 – MDE da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).



Fonte: Autor, 2023.

Através da ferramenta *mosaico* as imagens foram convertidas em uma camada *raster* e processadas pela ferramenta “*SAGA LS FACTOR*” no QGis (Figura 11) gerando o raster final do Fator LS (DESMET; GOVERS,1996).

Figura 11 – Processo de aquisição Raster Fator LS.



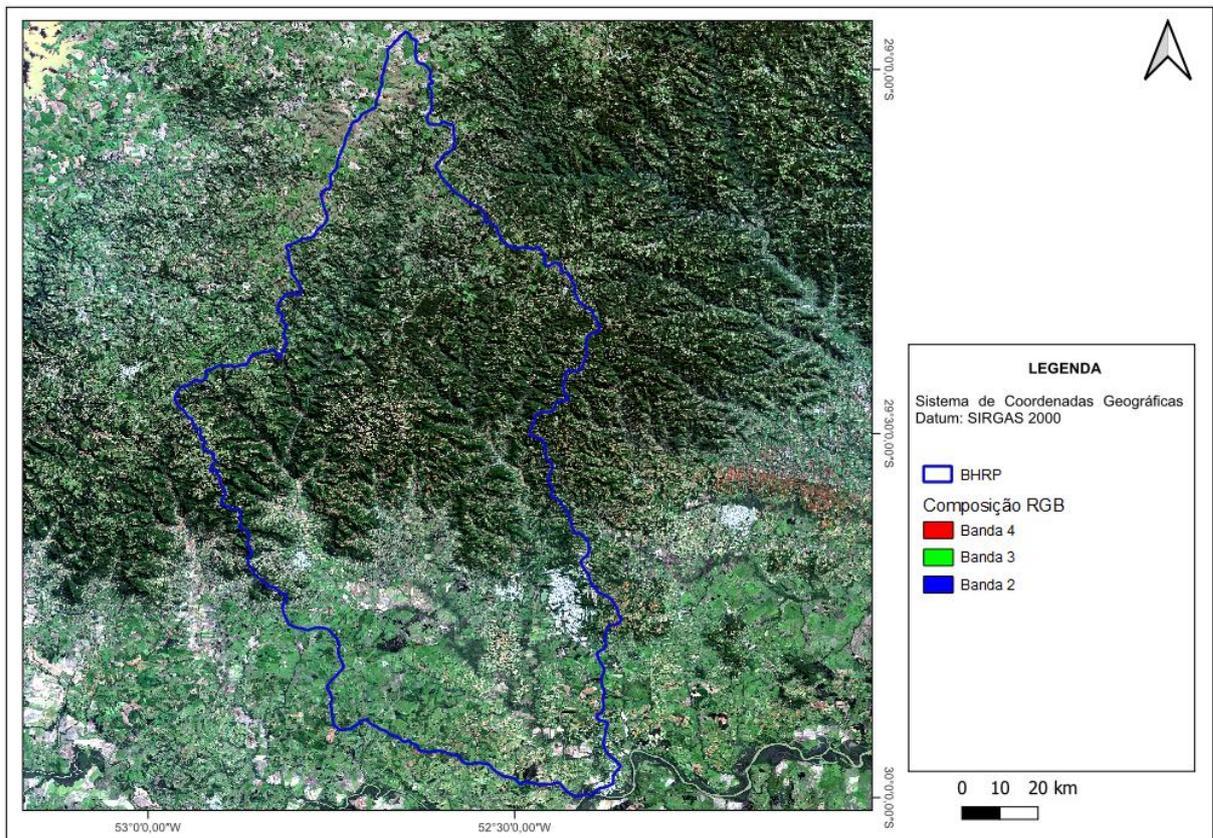
Fonte: Autor, 2023.

4.6. Uso, manejo e práticas conservacionistas - Fator CP

Para a aquisição do mapa de uso, manejo e práticas conservacionistas foram selecionadas imagens do satélite Landsat8, obtidas do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de maneira a abranger toda a área da bacia hidrográfica, com a visibilidade mais nítida possível, possuindo a menor interferência de nuvens ou afins. Devido ao tamanho da bacia hidrográfica, foi necessária a seleção de duas imagens e convertidas em uma por meio da ferramenta “mosaico” no menu raster do Qgis. A interferência de nuvens, não permitiu a seleção de imagens com a mesma data, assim foram utilizados uma imagem com a data de 24/08/2022 e outra 11/08/2021.

A visualização da imagem do Landsat 8 é possível em cores naturais utilizando as Banda 4 em vermelho, Banda 3 em verde e Banda 2 em azul, gerando assim a Figura 12.

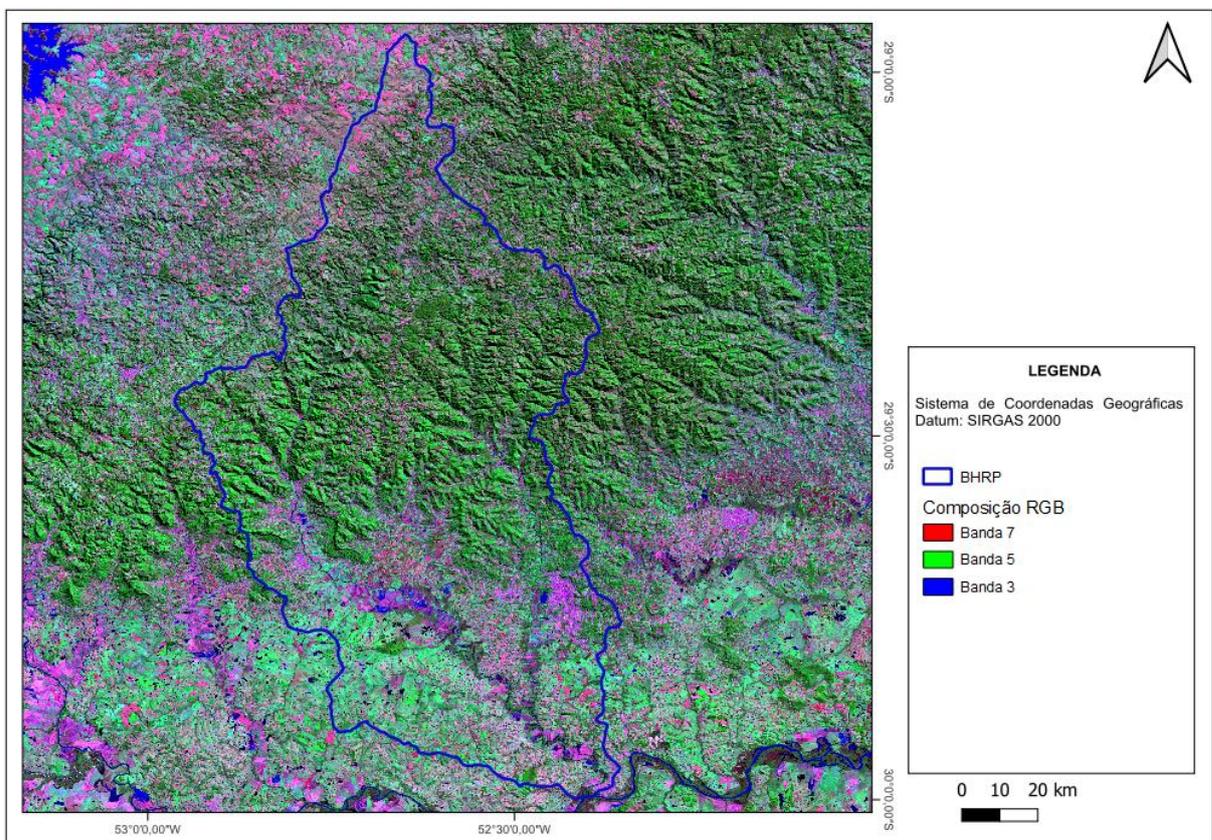
Figura 12 – Imagem de satélite em cores naturais da região nas bandas 4,3,2.



Fonte: Autor, 2023.

O processamento das imagens foi efetuado pelo programa ArcGIS, através da ferramenta “composit bands” que classifica automaticamente o uso do solo por meio da faixa de cor dos pixels, no qual a composição de banda utilizada foi 7 em vermelho, 5 em verde e 3 em azul, gerando uma camada de área (Figura 13), o arquivo foi convertido em raster no Qgis por meio da ferramenta de processamento “converter vetor para raster (rasterizar)”.

Figura 13 – Imagem de satélite em cores naturais simuladas da região nas bandas 7,5,3.



Fonte: Autor, 2023.

Os valores de CP adotados no trabalho segue a sugestão feita por Stein et al. (1987); Oliveira (2012) e Ribeiro e Alves (2007) demonstrado na tabela 7:

Tabela 7 - Valores do fator CP utilizados.

Classes	Fator CP
Água	0
Solo exposto	1
Campo	0,01
Floresta	0,0004
Zona Urbana	0,688

Fonte: Modificado de STEIN et al.(1987); OLIVEIRA (2012); RIBEIRO E ALVEZ, (2007).

4.7. Integração dos Fatores da EUPS em SIG

Com a aquisição de todos os dados das componentes da EUPS aplicou-se a equação (Equação 8), por meio da calculadora raster, resultando assim na estimativa de perda de solos por erosão hídrica laminar e a criação de seu mapa temático.

5. RESULTADOS

5.1. Fator R

Devido à falta de dados não foi possível estabelecer os parâmetros contatados por Wischmeier e Smith (1978) em todas as estações, algumas por não possuírem 20 anos de dados, outras por falta de continuidade. Para as estações com disponibilidade de dados, os resultados do Fator R obtidos demonstraram uma classificação de moderada a forte e forte, segundo a classificação de Carvalho (2008) (tabela 8).

Tabela 8 – Classificação do Fator R.

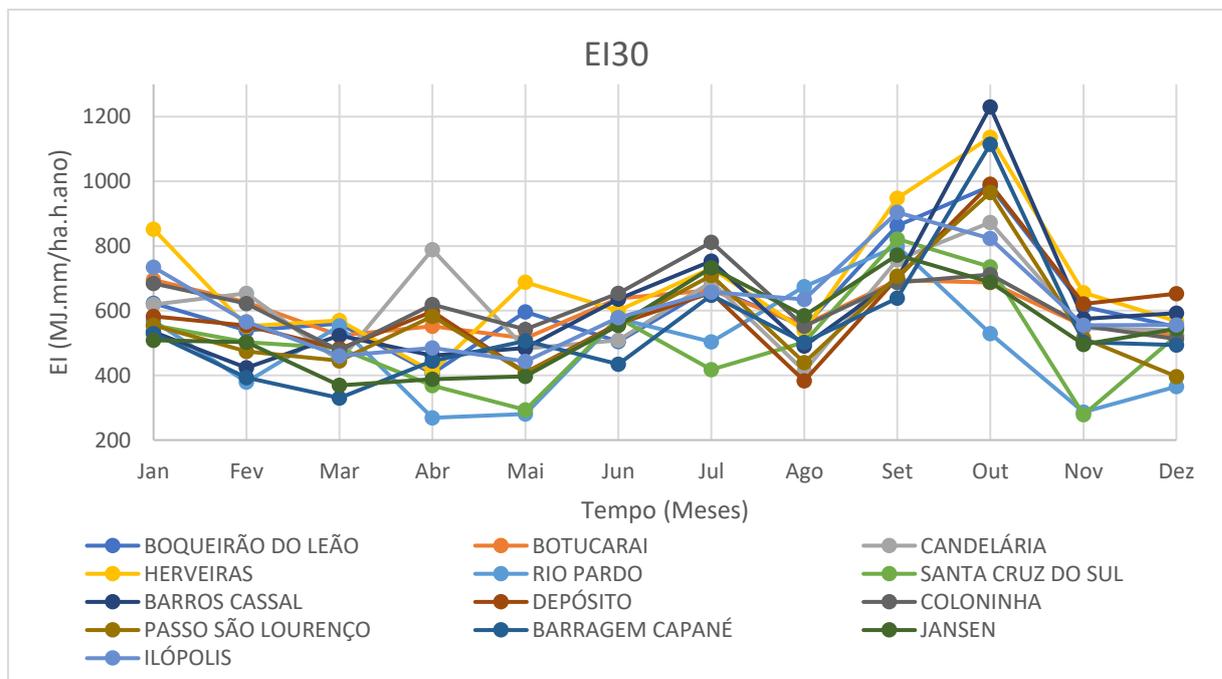
Município	Estação	Méd. da precip. Multianual (mm)	Fator R (MJ.mm)/(ha.h.ano)	Classificação (CARVALHO, 2008)
Arroio do tigre	2953007	1821,95	7425,97	Erosividade forte
Barros Cassal	2952001	1786,97	7405,58	Erosividade forte
Boqueirão do Leão	2952036	1820,35	7462,13	Erosividade forte
Cachoeira do Sul	2953037	1590,21	6752,84	Erosividade moderada a forte
Cachoeira do Sul	3052017	1512,80	6537,44	Erosividade moderada a forte
Candelária	2952003	1761,58	7227,35	Erosividade moderada a forte
Candelária	2952034	1774,58	7315,78	Erosividade moderada a forte
Espumoso	2852009	1731,44	7189,98	Erosividade moderada a forte
Farroupilha	2951017	1529,53	6537,72	Erosividade moderada a forte
Herveiras	2952035	2069,17	8252,74	Erosividade forte
Ilópolis	2852014	1802,85	7398,47	Erosividade forte
Rio Pardo	2952010	1284,85	5786,81	Erosividade moderada a forte
Santa Cruz do Sul	2952012	1371,71	6059,66	Erosividade moderada a forte

Fonte: Autor, 2023.

Os dados de precipitação média multianual e índice de erosividade média mensal ($\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{ha} / \text{h}$) para 30 minutos de chuva são apresentados nas Figuras 14 e 15. Estes resultados demonstram resultados de interesse na região das cidades de Rio Pardo e Santa Cruz do Sul, por apresentarem valores relativamente mais baixos que as demais dentro da bacia hidrográfica e a região da cidade de Herveiras que apresenta os maiores valores.

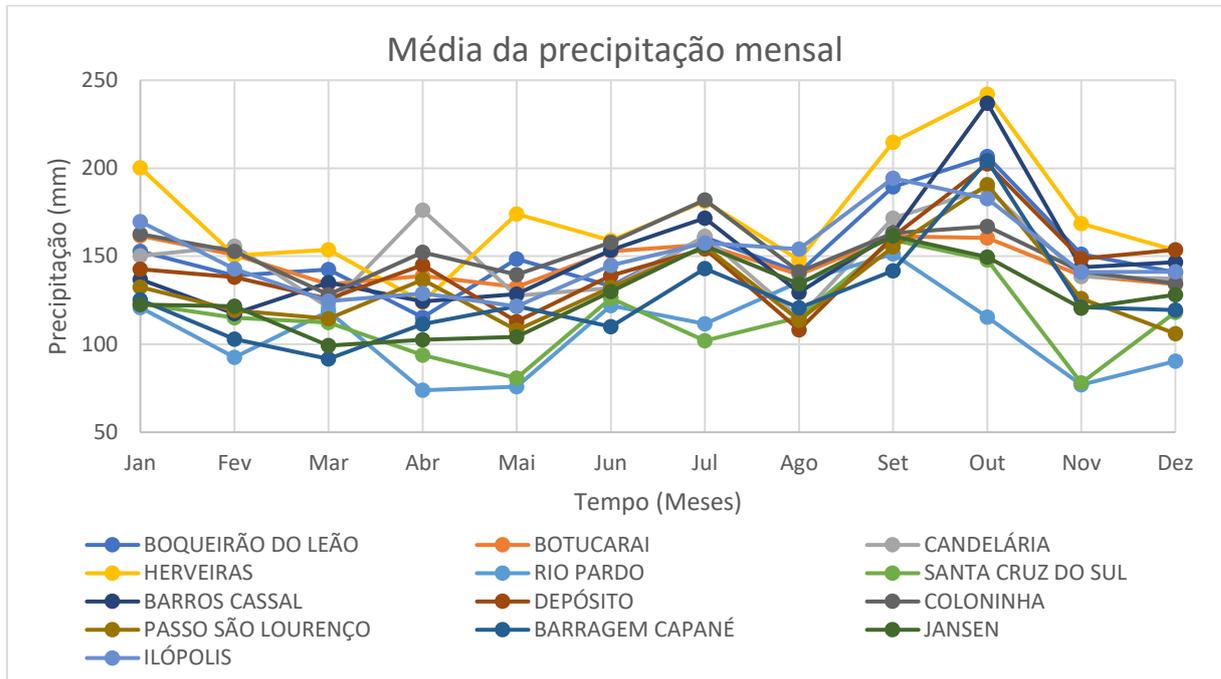
As grandes diferenças geográficas da região podem contribuir para essa grande diferença de valores, de modo que Herveiras se encontra em local mais elevado situada entre dois vales, o que difere completamente da baixa altitude e menor declividade encontrada na região das cidades de Rio Pardo e Santa Cruz do Sul, segundo Wrege et al. (2012) as regiões também diferem em velocidades médias do vento as quais se tem valores de 3,25 a 3,5 m/s na região do exutório e valores de 3,5 a 3,75 m/s na região de Herveiras. O mês de outubro apresenta os maiores valores de precipitação na maioria dos pontos de análise e valores mais inferiores nos meses de abril e maio.

Figura 14 - Índice de erosividade média mensal ($\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{ha} / \text{h}$) para 30 minutos de chuva.



Fonte: Autor, 2023.

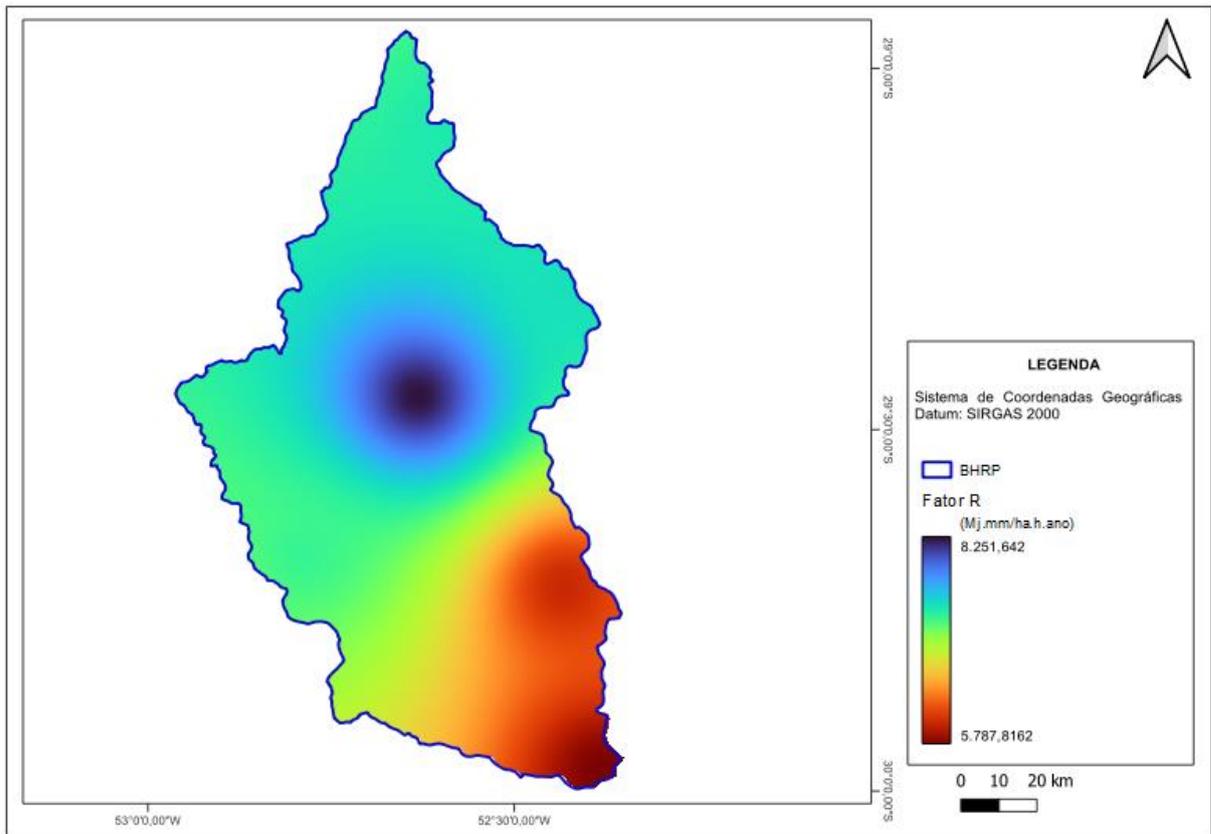
Figura 15 - Precipitação média mensal multianual.



Fonte: Autor, 2023.

O mapa temático do Fator R (Figura 16) demonstra perfeitamente os pontos citados, no qual o maior valor da capacidade de erosão da chuva se encontra na cidade de Herveiras chegando a 8252,74 (MJ.mm)/(ha.h.ano), valor em torno de 30% maiores que na cidade de Rio Pardo, onde se encontra o menor valor de 5786,81 (MJ.mm)/(ha.h.ano) dentro da bacia hidrográfica, devido a maior precipitação média mensal.

Figura 16 – Mapa do Fator R na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).



Fonte: Autor, 2023.

5.2. Fator K

A bacia hidrográfica apresentou três tipos distintos de solos conforme dados disponibilizados pela EMBRAPA, sendo eles, o Argilossolo Vermelho, Neossolo Litólico e Planossolo Háplico, sendo o Neossolo aquele que apresentou maior cobertura de área, com 42,17% de ocupação, enquanto o Argilossolo e o Planossolo apresentaram 28,99% e 28,84% respectivamente.

Os Argilossolos são geralmente solos profundos a muito profundos, sendo bem drenados a imperfeitamente drenados ocorrendo em relevos suavemente ondulados até forte ondulado, em porcentagem ocupam a maior parte da área territorial do Rio Grande do Sul (STRECK et al., 2018).

Os Neossolos são solos de formação muito recente sendo rasos, os Litólicos constituídos por 90% (por volume) ou mais de massa formada por fragmentos de rocha com diâmetro > 2 mm, devido à pouca efetividade de armazenamento de água apresenta grandes restrições de cultivo anual (STRECK et al., 2018).

Planossolos Háplicos são solos imperfeitamente ou mal drenados, normalmente encontrados em áreas de várzea de relevo plano a suave ondulado, dentre os Planossolos os Háplicos são a maioria no Estado e possuem uma alta saturação por base ($\geq 50\%$). Geralmente aptos para o cultivo de arroz irrigado e com suporte de sistemas de drenagens tornam-se uma opção para o plantio de milho, soja e pastagens (STRECK et al., 2018), porém possuindo fertilidades variadas de alta a baixa, normalmente apresentando teores de matéria orgânica baixa e deficiência de fósforo (SANTOS et al., 2021).

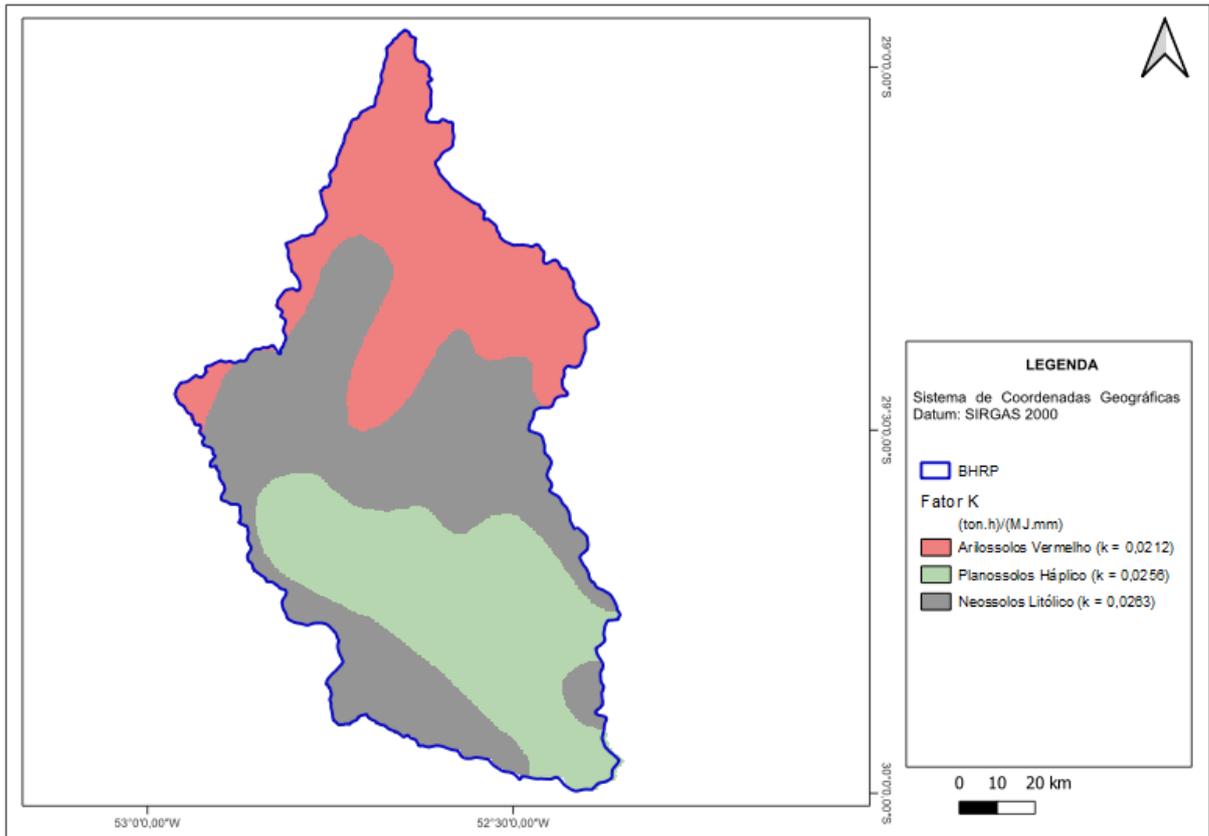
O mapa de erodibilidade dos solos (Figura 17), apresentam valores variando de 0,0212 a 0,0263 ton.h/MJ.mm, seus valores estão diretamente ligados a capacidade de estabilidade dos agregados, o Argilossolo possui uma porcentagem menor de areia, mais argila e matéria orgânica, possuindo assim uma maior estabilidade dos agregados, o Neossolos possuem um valor maior de areia, menor de argila e matéria orgânica quando comparados ao Argilossolos, somados ao solos rasos e localizados em encostas e morros, geram uma menor estabilidade dos agregados, já os Planossolos se encontram em regiões mais planas com grande porcentagem de areia e menores proporções de argila e matéria orgânica ocasionando uma menor estabilidade. Conforme Mannigel et al. (2002), o Fator de Erodibilidade do solo foi enquadrado como médio em toda a região da bacia hidrográfica (Tabela 9).

Tabela 9 – Atributos físicos dos solos da bacia obtidos da FAO, respectivos valores de K calculados e sua classificação segundo Williams (1975).

Solo	Areia	Silte	Argila	Carbono Orgânico	K (ton.h/MJ.mm)	Classificação (MANNIGEL et al., 2002)
Argilossolos Vermelho	53,6	15,8	30,6	2,25	0,0212	Média
Neossolos Litólico	58,9	16,2	24,9	0,97	0,0263	Média
Planossolos Háplico	76,6	10,3	13,1	0,46	0,0256	Média

Fonte: Autor, 2023.

Figura 17 – Mapa do Fator K na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).

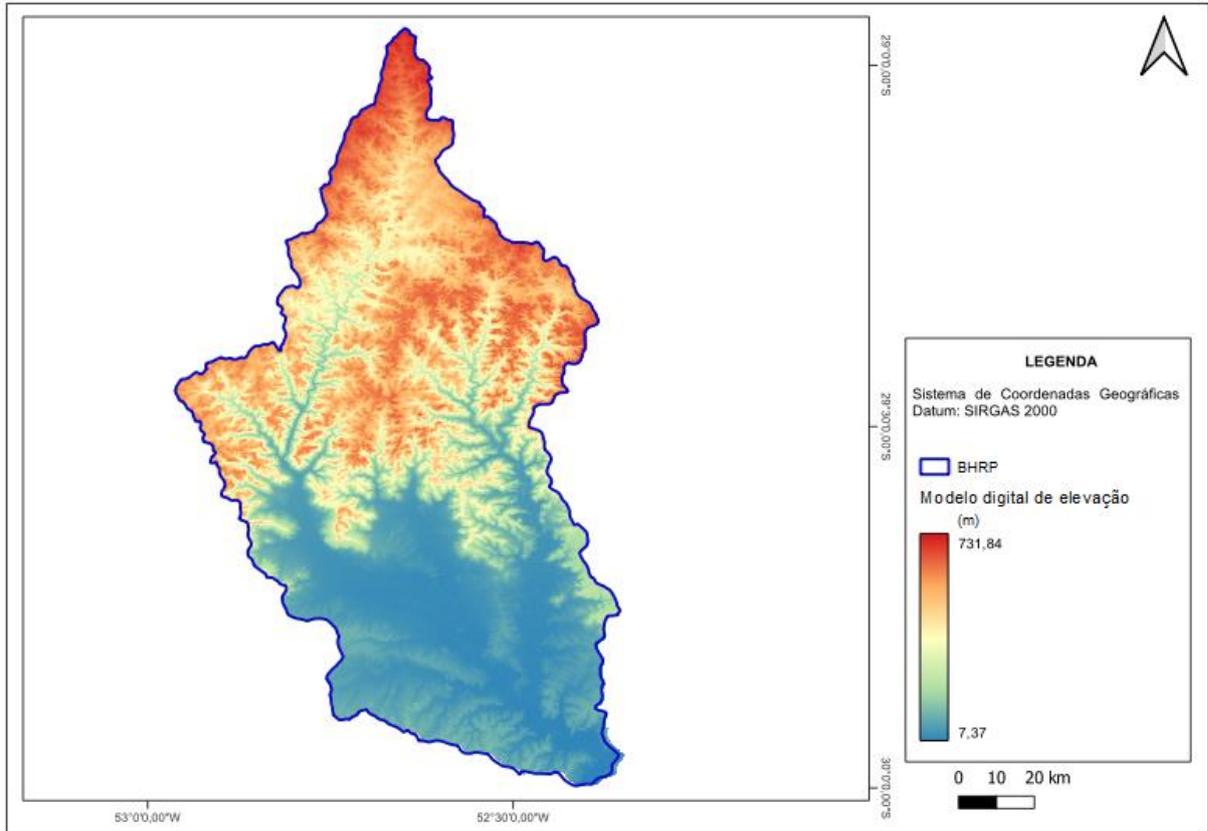


Fonte: Autor, 2023.

5.3. Fator LS

Efetuada a delimitação do Modelo Digital de Elevação (MDE) constatou-se as alturas máxima e mínimas da Bacia Hidrográfica, com valores chegando a 731,84 m na região norte (cabeceira da bacia) e valores mais baixos na região sul (exutório da bacia), sendo o ponto mais baixo a 7,37 m (Figura 18).

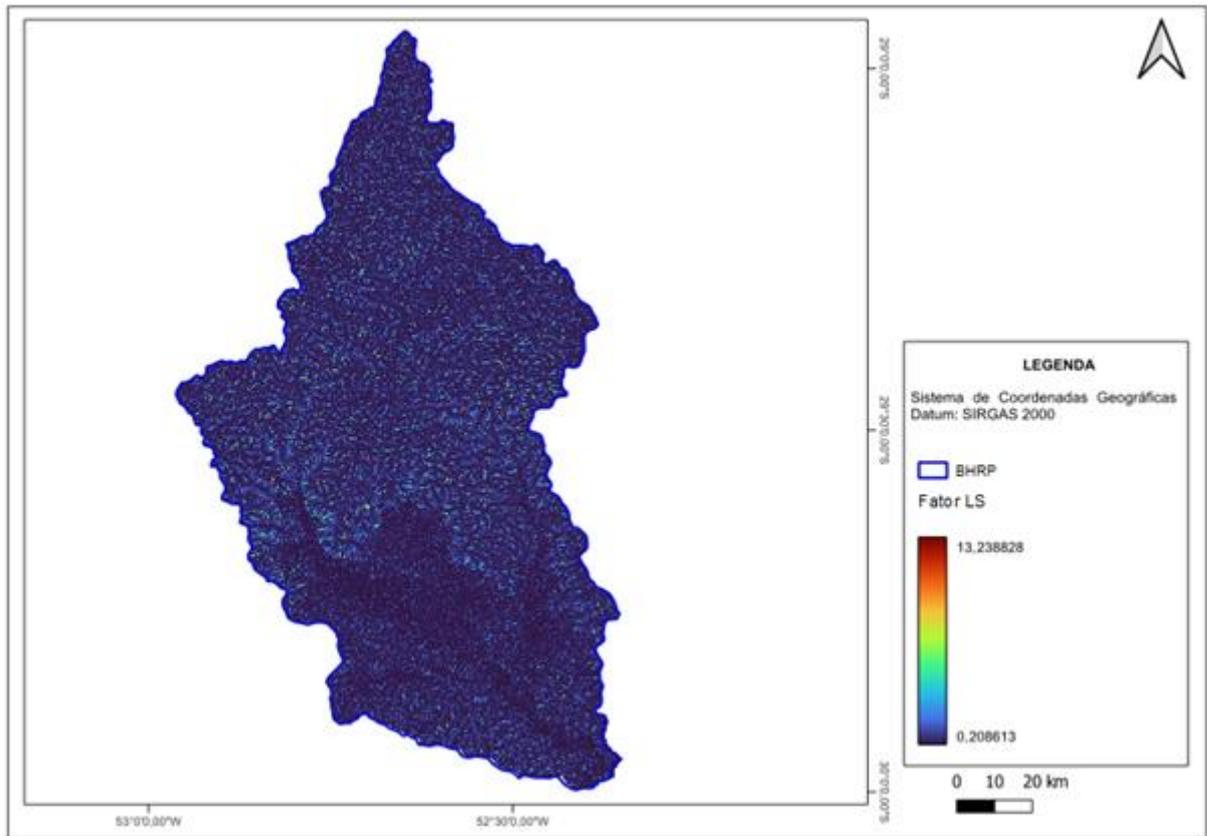
Figura 18 – Mapa de elevação da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).



Fonte: Autor, 2023.

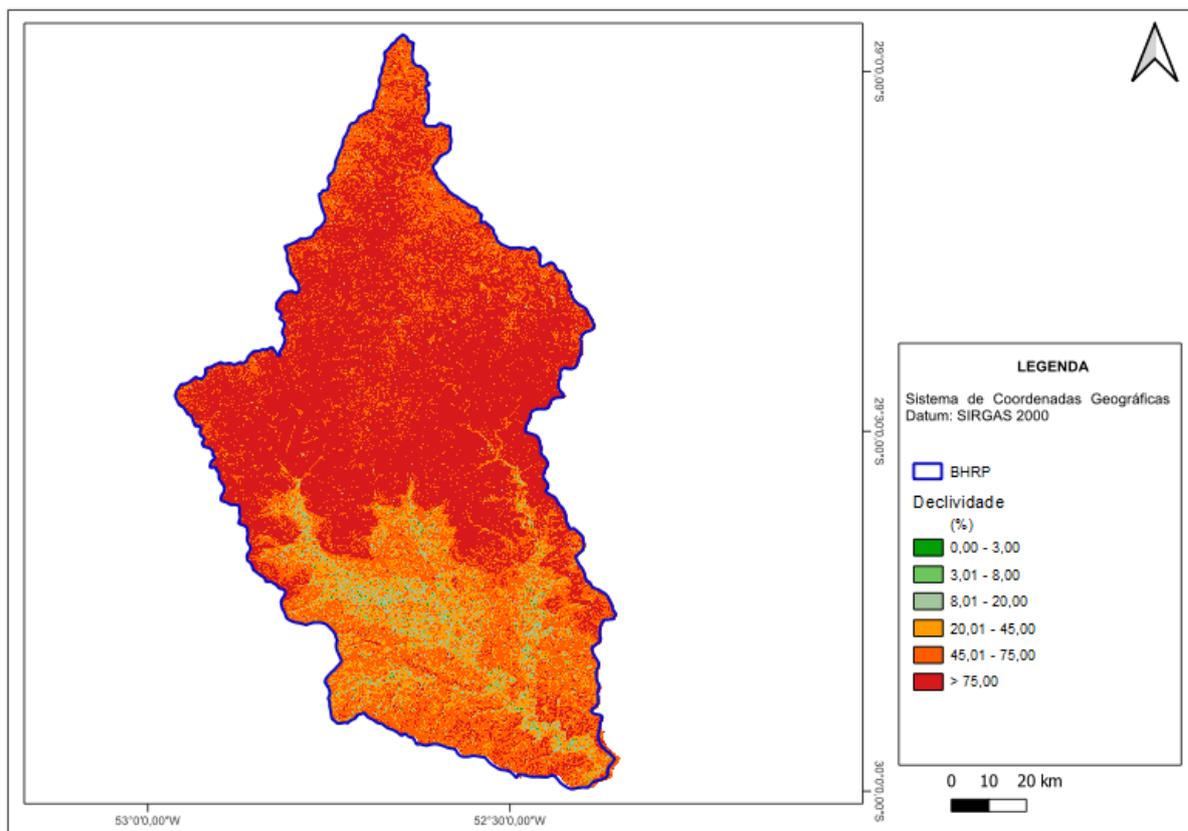
Como resultado da operação de análise SAGA obteve-se o Mapa do Fator LS (Figura 19), que apresenta valores de 0,20 a 13,23 e juntamente o mapa de declividade (Figura 20). No quais os maiores valores do Fator LS se encontram em regiões de maior declividade. Conforme Wischmeier & Smith (1978), o comprimento e a inclinação de um terreno afetam a taxa de erosão do solo pela água.

Figura 19 – Mapa do Fator LS na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).



Fonte: Autor, 2023.

Figura 20 – Mapa de declividade na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).



Fonte: Autor, 2023.

As classes de declividade foram propostas pela EMBRAPA (1979), variando de plano a escarpado conforme Tabela 10:

Tabela 10 – Classificação de declividade segundo EMBRAPA (1979) e porcentagem da área da bacia correspondente a cada declividade.

Classes de Declividade	Limites Percentuais (%)	Área ocupada (%)
Plano	0-3	0,22
Suave Ondulado	3-8	0,97
Ondulado	8-20	3,28
Forte – ondulado	20-45	12,23
Montanhoso	45-75	32,35
Escarpado	> 75	50,95

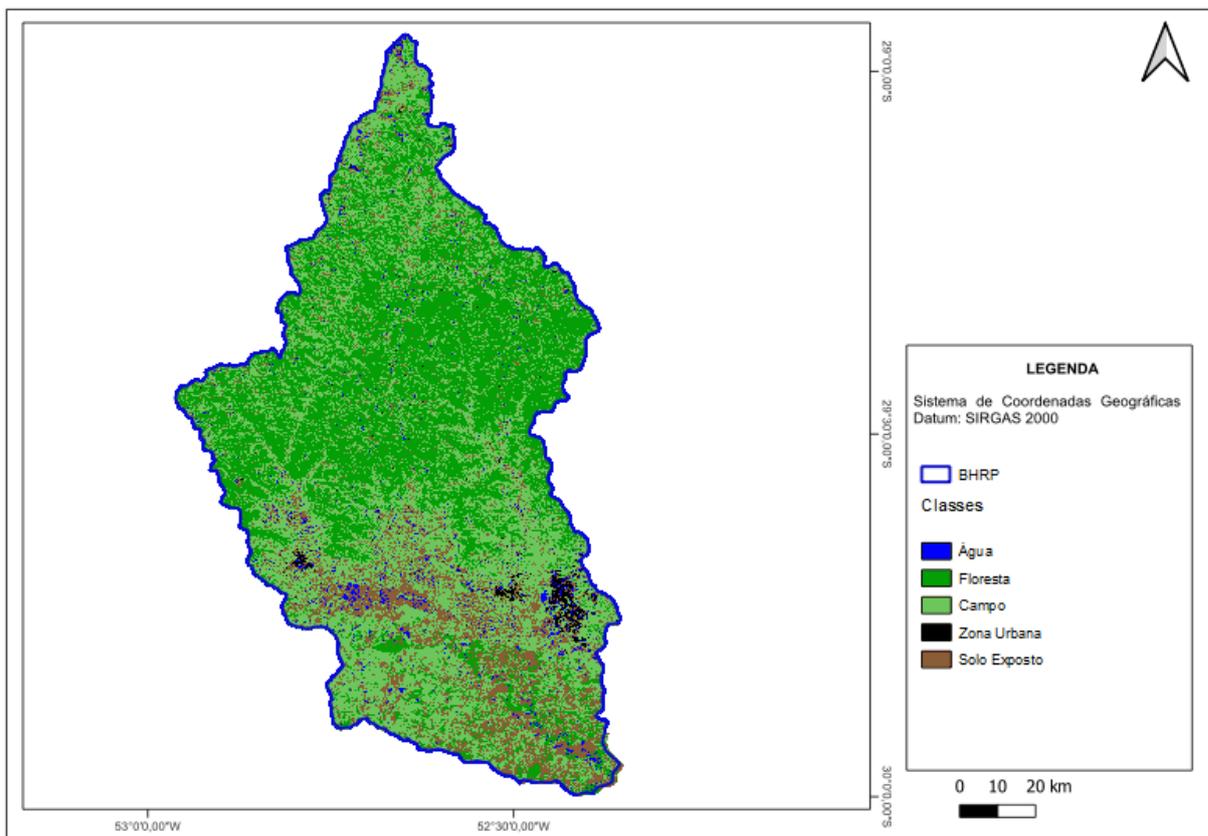
Fonte: Autor, 2023.

É possível a caracterização da Bacia Hidrográfica, na qual predomina em 50,95% a classe de declividade escarpada, seguida pela montanhosa em 32,35%, sendo uma região com poucas áreas de declive plano e suave ondulado, classes que são encontradas na região do exutório da bacia e no decorrer do corpo hídrico. Influenciando assim a velocidade de escoamento superficial, que devido a aceleração ocorre a diminuição no tempo que a água da chuva tem até os leitos fluviais (VILLELA; MATTOS, 1975).

5.4. Fator CP

Com a atribuição das áreas foi possível delimitar a ocupação do solo dentro da Bacia Hidrográfica demonstrada na Figura 21, permitindo assim o cálculo de área (km²) referente a cada classe de ocupação de solos demonstrada na Tabela 11.

Figura 21 – Mapa Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 11 - Porcentagem de ocupação das Classes dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.

Ocupação	Área (km²)	Porcentagem de ocupação (%)
Água	72,52	1,99
Solo exposto	437,22	12,02
Campo	1538,43	42,30
Floresta	1555,19	42,76
Zona Urbana	33,44	0,92

Fonte: Autor, 2023.

Devido à grande área da Bacia Hidrográfica houve limitações quanto à classificação da área. As áreas que apresentam cobertura agrícola, as quais possuem uma grande importância econômica, sendo muitas vezes o sustento de pequenos agricultores e de grande impacto quanto a erosão do solo, em grande parte estão classificadas como campo, devido ao ajuste do programa para a classificação automática das áreas. Outro ponto importante a ser considerado é referente ao solo exposto que, devido a data de obtenção das imagens de satélite coincidirem com períodos de manejo do solo correspondentes a pós-colheita ou pré-plantio, ou em situações demonstradas na Figura 22 em que o plantio está em seu estágio inicial sem a cobertura do solo. Ficando assim com a identificação de cinco classificações do uso e cobertura do solo, sendo elas: Água, Floresta, Campo, Zona Urbana e Solo Exposto.

Figura 22 – Área de agricultura com solo exposto.



Fonte: Autor, 2023.

É possível notar a região Intermediária da bacia com a maior cobertura de florestas, sendo esta uma importante área de remanescentes florestais de Mata Atlântica, possuindo pontos de plantio de eucaliptos como demonstrado na imagem 23, assim como a aparição de solo exposto principalmente na região da cidade de Candelária, sendo a única cidade da área que possui um impacto visível de zona urbana.

Figura 23 - Caracterização da Região Intermediária com a presença de mata atlântica, plantações de eucaliptos e agricultura.



Fonte: Autor, 2023.

A região baixa da bacia apresenta a maior quantidade de áreas com solo exposto, devido à grande atividade agrícola da região, um exemplo disso é o plantio de soja na região da cidade de Santa Cruz do Sul demonstrado na Figura 24. Essa região possui grandes áreas de campo e apresenta duas cidades com impacto de zonas urbanas, sendo Vera Cruz e Santa Cruz do Sul, que apresenta uma grande área de interferência.

Figura 24 - Área agrícola, com cultura de soja, na região de Santa Cruz do Sul.



Fonte: Autor, 2023.

A região da cabeceira da bacia apresentou pouca presença de zonas urbanas, sendo somente uma pequena área da cidade de Barros Cassal, poucas áreas de solo exposto e maiores áreas ocupadas por florestas e campos, condizentes com as atribuições dadas pelo Comitê Pardo em que a região possui grandes áreas de campo e um grande foco no setor de pecuária. Região a qual se encontra a nascente do corpo hídrico (Figura 25), situado na cidade de Barros Cassal.

Figura 25 - Região da nascente do Rio Pardo.



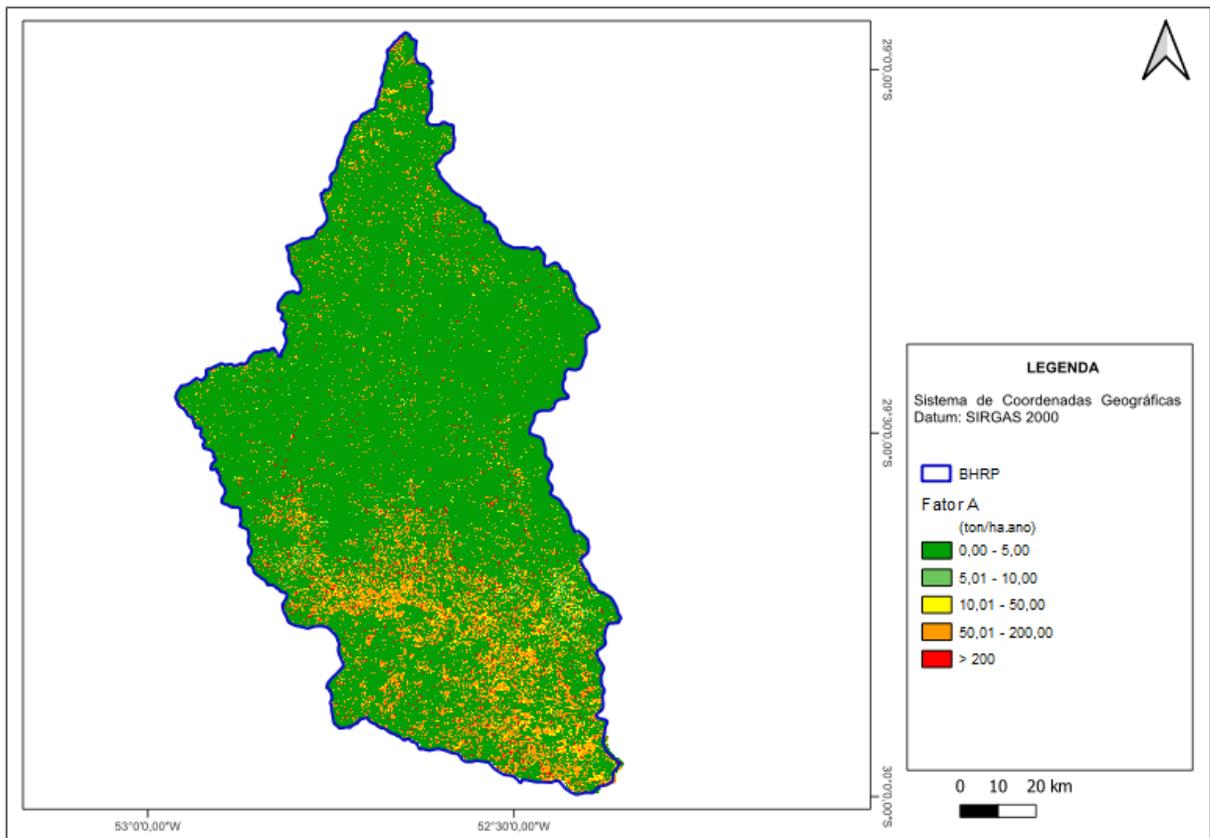
Fonte: Autor, 2023.

A presença de áreas florestadas ao longo do corpo hídrico indicam as Áreas de Preservação Permanentes (APP), fator que contribui para um menor assoreamento dos corpos hídricos e diminuição da erosão sofrida pelo solo.

5.5. Fator A

Com a aplicação da multiplicação dos fatores de erosividade, erodibilidade, fator topográfico e uso e manejo do solo por meio da calculadora *raster* foi possível adquirir a quantificação da perda de solos dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo e gerar um mapa temático demonstrando as regiões com maiores perdas de solo (ton/ha.ano) conforme Figura 26.

Figura 26 – Mapa perda de solos (ton/ha.ano) na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).



Fonte: Autor, 2023.

De acordo com a FAO (1967) os valores encontrados podem ser classificados por classes de erosão laminar de baixa a muito alta de acordo com os valores de perda de solo, permitindo a verificação da porcentagem de perdas de solo na Bacia Hidrográfica demonstrado na Tabela 12.

Tabela 12 - Classificação de perdas de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.

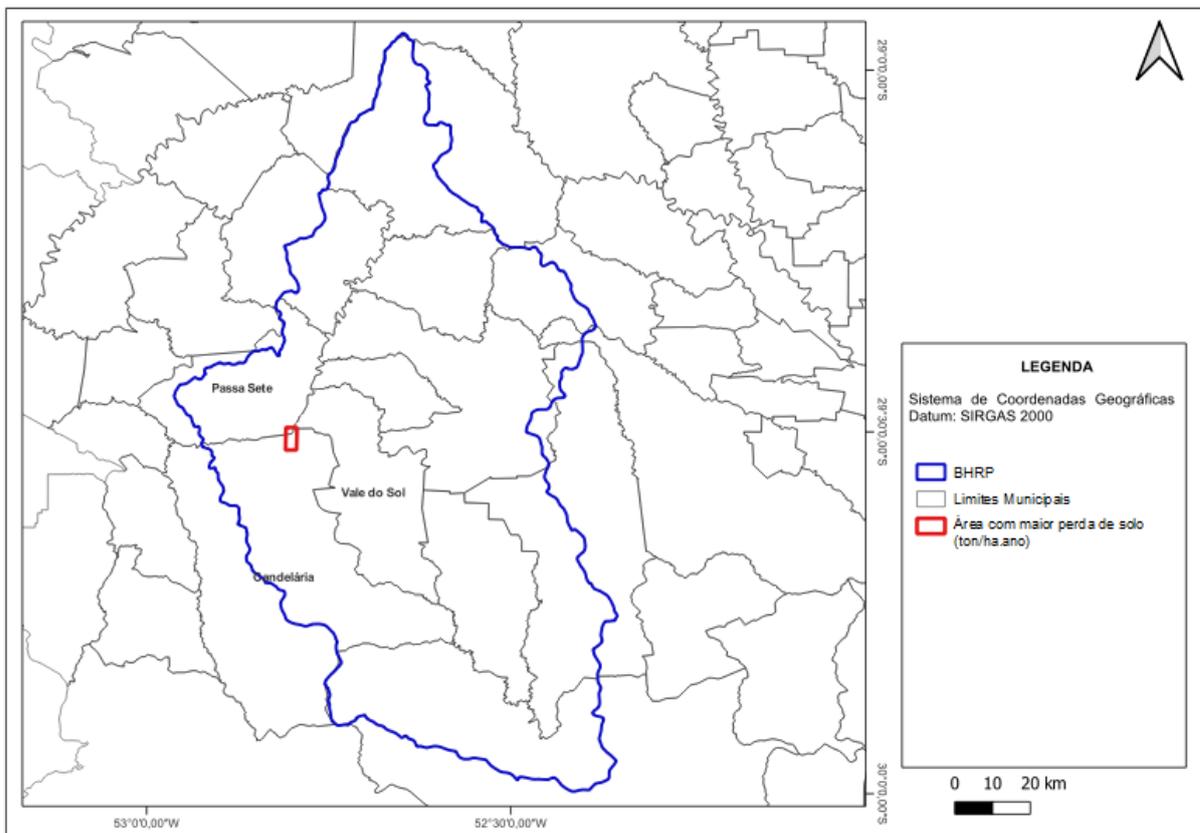
Perda de solo (ton.ha⁻¹.ano⁻¹)	Classe de erosão laminar	Porcentagem de perdas de solo (%)
0 - 10	Baixa	85,62
10 – 50	Moderada	2,12
50 – 200	Alta	10,87
> 200	Muito Alta	1,39

Fonte: Autor, 2023.

A Bacia Hidrográfica apresentou somente pequenos focos de perdas maiores que 200 ton/ha.ano, sendo elas distribuídas principalmente na região intermediária onde se encontrava os maiores valores de declividade juntamente com uma região de solo exposto na região do exutório mais próximas aos limites do corpo hídrico do Rio Pardo. A região do exutório apresentou grandes áreas de valores entre classe alta seguindo diretamente as áreas de solo exposto encontrados na região. As menores áreas com valores elevados de perda de solos foram encontradas na região da cabeceira, onde se teve pequenos focos de perdas moderadas a muito altas.

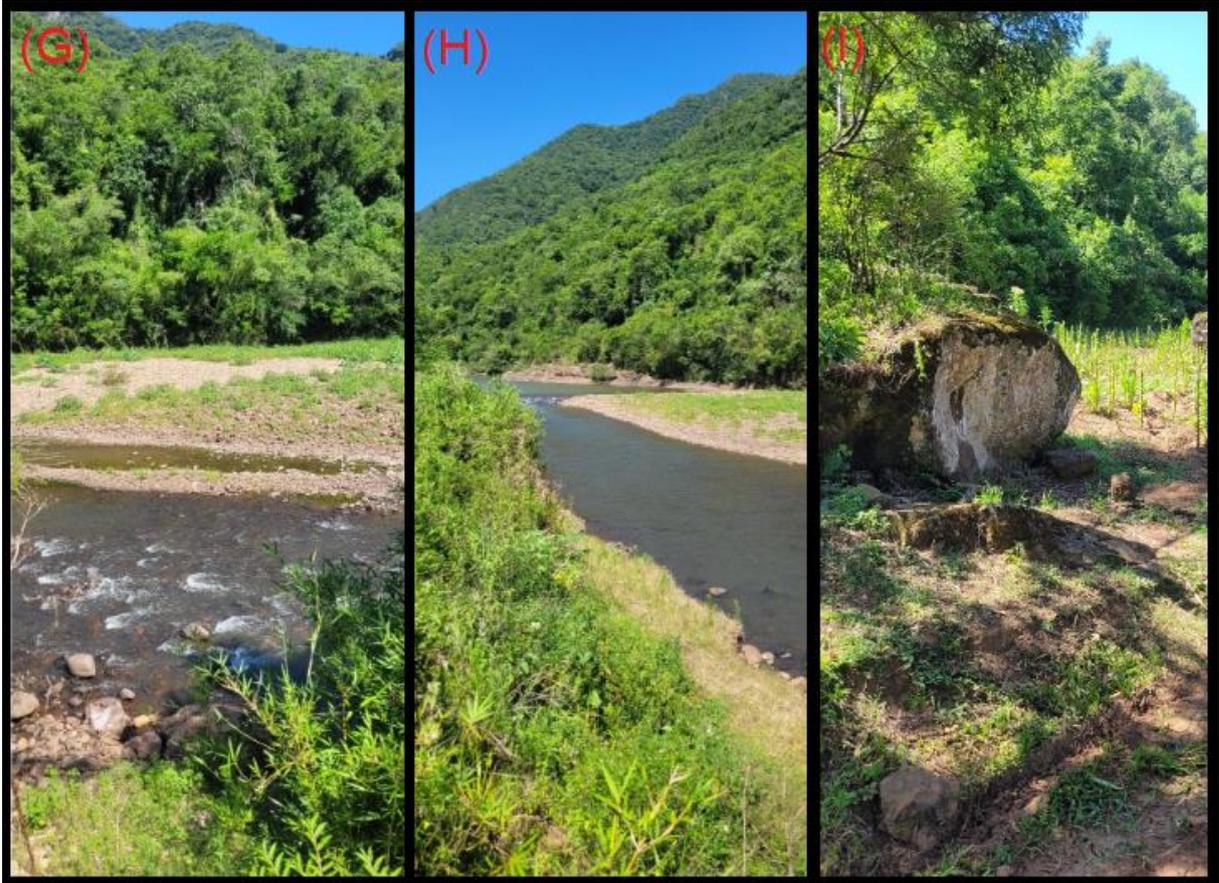
O ponto de maior perda de solos foi encontrado na região delimitada na Figura 27, no encontro das cidades de Candelária, Passa Sete e Vale do Sol. A fim de se ter uma compreensão da localidade foi efetuado uma visita in loco na área, demonstrando aspectos não visíveis pelas imagens de satélites. foi observado uma grande quantidade de rochas expostas, tanto no corpo hídrico quanto encobertas pela cobertura de floresta (Figura 28).

Figura 27 – Local de maior perda de solos dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP).



Fonte: Autor, 2023.

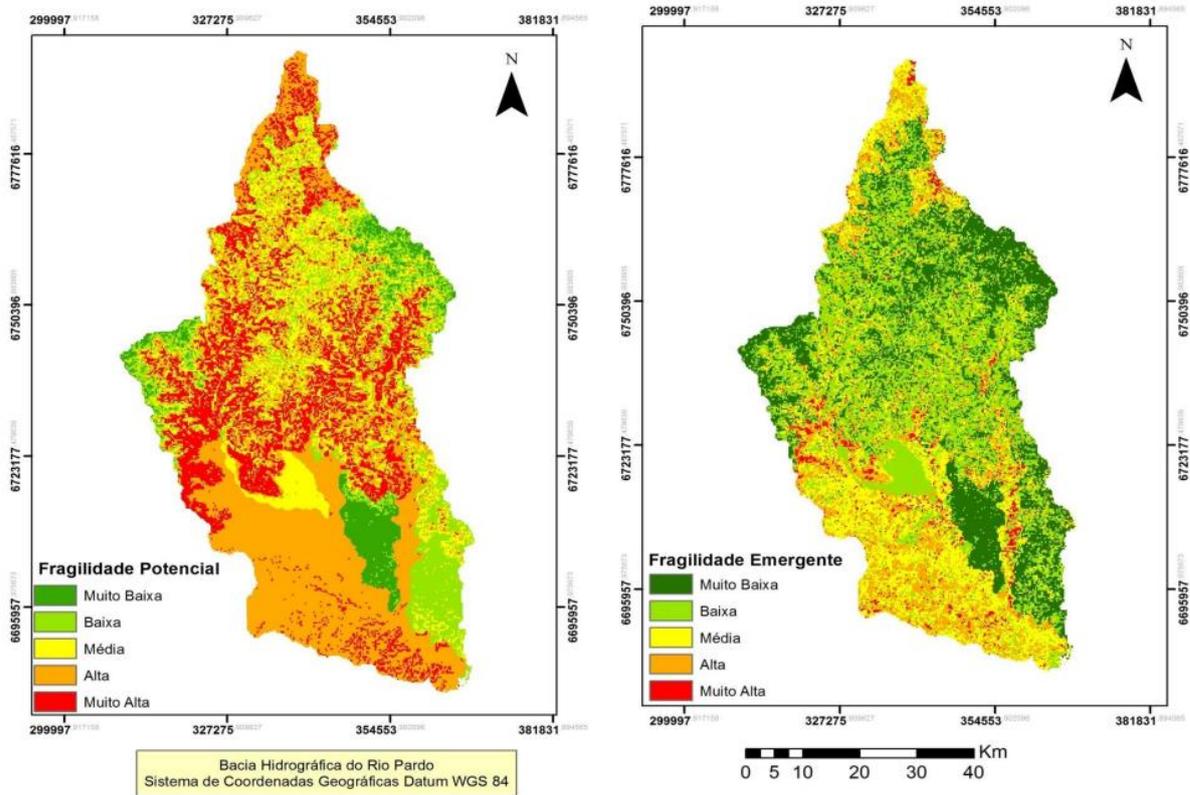
Figura 28 – Imagens in loco da região de interesse na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP), em ordem: presença de mata nativa junto ao Rio Pardo e grande quantidades de pequenas rochas junto ao corpo hídrico (G); cobertura vegetal rasteira ao longo do Rio Pardo e presença de grandes áreas de mata nativa nas montanhas (H) e presença de grande rocha ao lado de plantação de fumo (I).



Fonte: Autor, 2023.

Conforme Vasconcellos (2013) a região é caracterizada como uma área de fragilidade ambiental potencial muito alta, por causa da sua grande declividade, mas que devido a sua cobertura vegetal, apresenta uma fragilidade emergente baixa. (figura 29).

Figura 29 - Mapa temático de fragilidade potencial e fragilidade emergente.



Fonte: VASCONCELLOS, 2013.

6. CONCLUSÃO

A utilização de geoprocessamento permitiu a caracterização do relevo, uso e ocupação do solo, chuvas médias e tipos de solos, de maneira remota, gerando um panorama geral da bacia hidrográfica quanto a perda de solos gerados pela chuva. Sendo visível a identificação dos fatores que mais geram impacto quanto a essas ocorrências, permitindo o foco específico para ações de controle que possam ser aplicadas com uma maior otimização, assim diminuindo custos de futuras pesquisas e ações de controle.

O mapa de erosividade da chuva (Fator R) apresentou valores com a variação de 6537,44 a 8252,74 (MJ.mm)/(ha.h.ano) possuindo a classificação de erosividade como moderada a forte, onde a região intermediária da bacia obteve o maior valor e a região do exutório os menores valores. O mapa de erodibilidade do solo (Fator K) apontou três tipos de solo, sendo eles Argilossolos Vermelho, Neossolos Litólico e Planossolos Háplico, os quais são classificados em erodibilidade média, com valores de K respectivamente de 0,0212, 0,0263 e 0,0256 (ton.h/MJ.mm). No mapa do fator topográfico (Fator LS), apresentou valores de 0,20 a 13,23 (adimensional), valores estes que aumentam conforme for a maior declividade, o comprimento e inclinação do terreno. O mapa de uso, manejo e práticas conservacionistas (Fator CP) foi classificado em cinco classes sendo elas: água, floresta, campo, zonas urbanas e solo exposto, com variações de 0 a 1, no qual áreas com água representam 0 e regiões de solo exposto 1 que devido à falta de cobertura possui uma susceptibilidade maior em ser erodido. As áreas agrícolas estão inseridas dentro de outra classificação, devido a classificação automática utilizada para a separação do uso das áreas, este fator pode interferir nos resultados obtidos, já que poderia ocorrer o aumento ou uma diminuição na perda de solos da área.

A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo apresenta baixas perdas de solos em grande parte de suas delimitações, principalmente devido à cobertura vegetal que abrange grandes áreas. Possui perdas mais elevadas na região inferior, onde se encontra regiões planas, mas com utilização humana maior, criando assim maiores áreas de solos expostos. A região intermediária apresentou pequenos pontos de classificação muito alta de perdas de solos, sendo essa área a com maior cobertura de florestas e com maiores níveis de declividade do terreno, assim tornando-se mais suscetíveis a perdas futuras, reforçando a importância da preservação da cobertura florestal.

O ponto de maior perda de solo foi encontrado e identificado na região de divisa das cidades de Candelária, Passa Sete e Vale do Sol, onde se apresenta uma grande cobertura de florestas, altos níveis de declividade, uma área atribuída a Neossolos Litólicos, o qual é tido como o maior fator de erodibilidade, aliado a uma erosividade de chuvas classificadas como moderada a forte. Com isso é possível afirmar que alterações na cobertura vegetal da região agravaram ainda mais os valores, tornando-se uma região que necessita de observações mais minuciosas, e de acompanhamento.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para trabalhos futuros, recomenda-se a separação da área da bacia hidrográfica em sub-bacias permitindo um estudo da região mais aprofundado e contribuir para uma melhor classificação da perda de solos, que devido à falta de delimitações agrícolas referentes ao Fator CP tiveram limitações em sua precisão das informações obtidas.

REFERÊNCIAS

ANA. **Rede Hidrometeorológica Nacional.** Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>. Acesso em 17 julho 2022.

ANA. **Série Histórica.** Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/serieHistorica.aspx>. Acesso em 17 julho 2022.

ANA. **Catálogo de Metadados da ANA.** Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>. Acesso em 18 julho 2022.

BAZZANO, Marcos Gabriel Pañalva; ELTZ, Flávio Luiz Foletto; CASSOL, Elemar Antonino. **Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e períodos de retorno das chuvas de Quarai e Rio Grande, RS.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2005.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 8. edição. São Paulo: Ícone, 2012, 335p.

BRASIL, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Comitês de Bacia Hidrográfica.** Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/fortalecimento-dos-entes-do-singreh/comites-de-bacia-hidrografica#:~:text=Bacia%20hidrogr%C3%A1fica%20%C3%A9%20um%20territ%C3%B3rio,ponto%20mais%20baixo%20da%20regi%C3%A3o>. Acesso em: 04 maio 2022.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.** Brasília, DF, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 29 dezembro 2022.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos.** Brasília, DF, 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 04 maio 2022.

CAMPOS, Sérgio Pascoal; CARDOSO, Lincoln Gehring. **Cálculo do Fator LS da Equação Universal de Perdas de Solo.** Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista. ESAPP, Paraguaçu Paulista, SP, Brasil. 2004

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

COMITÊ PARDO. **A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.** Disponível em: http://www.comitepardo.com.br/bacia_riopardo.htm. Acesso em: 03 maio 2022.

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.

DOS DAIBERT, João D.; SANTOS, Palloma Ribeiro Cuba. **Análise dos Solos - Formação, Classificação e Conservação do Meio Ambiente.** Editora Saraiva, 2014. 9788536521503. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521503/>. Acesso em: 02 julho 2022.

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.

EMBRAPA. **Mapa de solos do Brasil.** GEOINFO, 2020. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104. Acesso em 19 julho 2022.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/327212/sumula>. Acesso em: 22 dezembro 2022.

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

FAO. **La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo**. Cuadernos de Fomento Agropecuario da Organización de las Naciones Unidas. Roma: FAO, 1967.

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

FINKLER, Raquel. **Planejamento, manejo e gestão de bacias**. Disponível em: https://planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_1.pdf. Acesso em 15 maio 2022.

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

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual de Planejamento, Governança e Gestão. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul/Rio Grande do Sul**. 6. ed. - Departamento de Planejamento Governamental. – Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/inicial>. Acesso em 21 dezembro 2022.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **G090 – Bacia Hidrográfica do Rio Pardo**. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/g090-bh-pardo>. Acesso em: 03 maio 2022.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente; Departamento de Recursos Hídricos. **ETAPA A – Diagnóstico dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Pardo**. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/0Byn_B-4Lg7RGZmQ2bjdtVTBCQU0/view?resourcekey=0-3ByizJKqSrN1TN_sP5KsGw. Acesso em: 03 maio 2022.

GOMES, A. C.; DEPONTI, C. M.; AREND, S. C.; ETGES, V. E.; KARNOPP, E.; SILVA, T. L. da; BOER, A. I. **O mercado institucional da compra de alimentos da agricultura familiar – PAA E PNAE – no território do Vale do Rio Pardo, RS**. Revista eletrônica do Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional da Universidade do Contestado – Universidade do Contestado, 2018.

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. Oitava edição Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, p. 149-209, 2008.

HICKMANN, Clério; ELTZ, Flávio Luiz Foletto; CASSOL, Elemar Antonino; COGO, Clarissa Melo. **Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI30, com base no período de 1963 a 1991**. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200036>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/wPgys5qQL94gbjdmKgnmXmb/?lang=pt>. Acesso em 15 janeiro 2023.

IBGE. **População**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama>. acesso em 04 julho. de 2022.

IMPE. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em 20 julho 2022.

LAL, R. **Soil erosion**. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=1TK7dEOIM4gC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Soil+erosion:+research+methods.+2nd+ed.+Ohio&ots=jVOiQsIbL&sig=C3rZDGV2pew5saVpu14ba5_GN_E#v=onepage&q&f=false. Acesso em 23 junho 2022.

LIMA, Walter de Paula. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Departamento de Ciências Florestais Piracicaba - Piracicaba - SP, 2008.

LIMA, Angelo José Rodrigues; NERY, Jonas Teixeira. **Revisando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão e a governança das águas**. Instituto de Geociências – Unicamp, Campinas – SP, 2017.

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.

MENDONÇA, I.F.C.; LOMBADRI NETO, F.; VIÉGAS, R.A. **Classificação da capacidade de uso das terras da Microbacia do Riacho Uma, Sapé, PB**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, p.888-895, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900021>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/3Vrw9qbCzvjLgmjBQsjqqHy/?lang=pt>. Acesso em: 08 junho 2022.

MINELLA, Jean P.G.; MERTEN, Gustavo H.; BARROS, Cláudia A.P.; RAMON, Rafael; SCHLESNER, Alexandre; CLARKE, Robin T.; MORO, Michele; DALBIANCO, Leandro. **Long-term sediment yield from a small catchment in Southern Brazil affected by land use and soil management changes**. John Wiley & Sons, 2017.

MORAIS, Andréa Castro de; SANTOS, Alexandre Rosa dos. **Geomática & análise ambiental**. Vitória, ES: Editora da Universidade Federal do Espírito Santo, 2007

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**. terceira edição Oxford - UK. Blackwell Publishing Ltd, 2005.

NETO, Lombardi. **F. Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil**. Dissertação Mestrado. West Lafayette, Purdue University, 1977.

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.

OLSZEVKI, Nelci; FILHO, Elpidio Inácio Fernandes; COSTA, Liovando Marciano; SCHEFER, Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud; SOUZA, Eliana; COSTA, Oldair Del'Arco Vinhas. **Morfologia e aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do Rio Preto, divisa dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais**. Revista Árvore, Viçosa – MG v.35, n.3, p.485-492, 2011.

RAMON, Rafael - **Medição da energia cinética das chuvas e definição de um índice pluviométrico para estimativa da erosividade em Arvorezinha/RS** - Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, RS, 2017.

RIDDER, André. **Caderno de Educação Ambiental Água para Vida, Água para todos: Livro das Águas**. Texto COSTA, Larissa; BARRÊTO, Samuel Roiphe – WWF, Brasília, Brasil, 2006.

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

SANTOS, Alexandre Rosa dos; *et al.* **Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais** [recurso eletrônico] Alegrete, ES, CAUFES, 2012. 249 p.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; COELHO, Mauricio Rizzato; BACA, Jesus Fernando Mansilla; ÁGLIO, Mário Luiz Diamante, FIDALGO, Elaine Cristina Cardoso. **Cultivo do arroz** – EMBRAPA, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/caracteristicas/solo>. Acesso em: 04 janeiro 2023.

SCHICK, Jefferson; BERTOL, Ildegardis; COGO, Neroli Pedro; GONZÁLEZ, Antonio Paz. **Erodibilidade de um Cambissolo Húmico sob chuva natural**. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600025>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/Q9YXWGRtfZx3JZgLDRcTJ3p/?lang=pt>. Acesso em: 07 julho 2022.

SCHLESNER, Alexandre Augusto - **Modelagem da produção de Sedimentos em Bacia Hidrográfica rural sob diferentes equações de eficiência de desagregação do modelo erosivo LISEM** - Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, RS, 2017

SILVA, Valtercides Cavalcante da. **Cálculo automático do Fator Topográfico (LS) da EUPS, na bacia do Rio Paracatu**. Dissertação Doutorado. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.33, n.1, p.29-34, 2003.

STRECK, Edeimar Valdir. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 3. Ed. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018

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

TAVARES, M. A. dos R.; NUNES, M. C. M.; TAVARES, V. E. Q.; FERNANDES, F. F.; SOUSA, L. P. de. **Capacidade de uso da terra e abatimento de erosão hídrica em propriedades agrícolas do sul do Rio Grande do Sul**. EMBRAPA Unidade: Embrapa Clima Temperado, 2020.

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.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira; NETO, Roberto Marques; MENEZES, Sebastião de Oliveira. **Introdução à GEOMORFOLOGIA**. Cengage Learning. São Paulo, 2012.

VASCONCELLOS, Bruna Nascimento de - **Geoprocessamento aplicado na análise de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo - RS** - Monografia de Especialização (Pós-Graduação) - Universidade Federal de Santa Maria, Área de Concentração Tecnologia da Geoinformação, Programa de Pós-graduação em Geomática, RS, 2013.

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

ZAKRZEVSKI, Sônia Balvedi. **Conservação e uso sustentável da água: Múltiplos olhares**. EdiFapes, Erechim, RS, 2007.