



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES E GEODÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA**

ULISSES COSTA SOARES

**APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
(SIG) NA CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PARDO (MG / BA).**

SALVADOR

2024

ULISSES COSTA SOARES

**APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
(SIG) NA CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PARDO (MG / BA).**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

Orientador: Prof. Dr. Mauro J. Alixandrini Jr.

Salvador

2024

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA**

Rua Prof. Aristides Novis nº 2 Federação - CEP 40.210-630 -
Salvador – Bahia e-mail: agrimensura@ufba.br

ENGJ43 - TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO II

FICHA DE AVALIAÇÃO

| | |
|---|------------------------------|
| ALUNO: Ulisses Costa Soares | |
| TÍTULO: Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na caracterização da bacia hidrográfica do rio Pardo (MG / BA) | |
| ORIENTADOR(A): | Prof. Mauro Alixandrini |
| PROFESSOR(A) 1: | Prof. Patricia Lustosa Brito |
| PROFESSOR(A) 2: | Prof. Elaine Gomes de Jesus. |

Avaliação da Banca

| | ORIENTADOR | PROFESSOR 1 | PROFESSOR 2 |
|-------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Conceito por avaliador | aprovado | aprovado | aprovado |

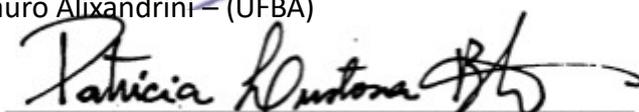
Conceito final da banca: (X) APROVADO(A) () REPROVADO(A) () Aprovação condicionada ao atendimento das observações

Correções necessárias: () Não (X) Sim – Prazo: 20 dias

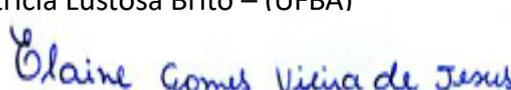
Salvador, 06 de setembro de 2024,



Prof. Mauro Alixandrini – (UFBA)



Prof. Patricia Lustosa Brito – (UFBA)



Prof. Elaine Gomes de Jesus – (UFBA)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,
Creuza Gomes Soares
Francisco Costa Soares (In memoriam)

A minha querida esposa,
Fabianne de Melo M. Soares

Aos meus Irmãos.

A minha Vó,
Zilda Gomes Pereira

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente por todas as conquistas de minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Mauro J. Alixandrini Jr.

As convidadas para a banca examinadora, Prof. Dr^a Patrícia Lustosa Brito e Prof. Dr^a Elaine Gomes de Jesus

Aos professores do Departamento de Transportes e Geodésia da Universidade Federal da Bahia.

Aos colegas do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta, apoiaram, incentivaram e contribuíram para a realização deste trabalho.

EPIGRAFE

Água que nasce na fonte serena do mundo
E que abre um profundo grotão
Água que faz inocente riacho e deságua
Na corrente do ribeirão

Águas escuras dos rios
Que levam a fertilidade ao sertão
Águas que banham aldeias
E matam a sede da população

Águas que caem das pedras
No véu das cascatas, ronco de trovão
E depois dormem tranquilas
No leito dos lagos (no leito dos lagos)
No leito dos lagos

Água dos igarapés
Onde lara, a mãe d'água, é misteriosa canção
Água que o sol evapora
Pro céu vai embora, virar nuvens de algodão

Gotas de água da chuva
Alegre arco-íris, sobre a plantação
Gotas de água da chuva
Tão tristes, são lágrimas na inundação

Águas que movem moinhos
São as mesmas águas que encharcam o chão
E sempre voltam humildes pro fundo da terra
Pro fundo da terra

Terra! Planeta Água
Terra! Planeta Água
Terra! Planeta Água

(Guilherme Arantes)

RESUMO

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) associados aos Modelos Digitais de Elevação (MDE) tem contribuído fortemente nos estudos referentes a análise e extração de informações em bacias hidrográficas, principalmente quando se trata de bacias com carência de informação, como é o caso da Bacia hidrográfica do rio Pardo (MG / BA) - BHRP. Esta bacia está inserida no norte do estado de Minas Gerais e sul da Bahia. Os estudos acerca da BHRP são mais concentrados em seu domínio mineiro, havendo uma enorme carência de informações em seu trecho baiano. Essa falta de informações que contemplem toda a extensão da bacia dificulta compreender suas características e complexidades. Diante disto, este trabalho objetivou realizar a caracterização da bacia hidrográfica do rio Pardo, com vistas ao mapeamento de áreas susceptíveis à inundação, mediante uso de dados e ferramentas de SIG disponibilizados sem custos ao usuário. Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho, os procedimentos metodológicos foram estruturados em quatro etapas. A primeira consistiu em uma revisão de literatura, abordando conceitos sobre o tema em estudo. Na segunda etapa foi realizada a aquisição dos dados vetoriais e raster em geoportais das instituições públicas. Na etapa três, foi realizado o tratamento e manipulação dos dados em um ambiente SIG para posterior elaboração dos produtos cartográficos referentes a caracterização ambiental e morfométrica. Por fim, na etapa quatro foi aplicado a análise multicritério e álgebra de mapas para geração do mapa de susceptibilidade a inundações. Os resultados obtidos, de uma maneira geral, possibilitaram compreender os aspectos morfométricos e ambientais da bacia hidrográfica em estudo, além de fornecerem importantes informações para futuros estudos de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Espera-se com esse estudo poder contribuir para a disseminação do conhecimento da bacia, principalmente na porção de domínio do estado da Bahia. O estudo aqui desenvolvido, no entanto, não pretende esgotar as informações sobre a bacia e sim servir de complemento e oferta de produtos cartográficos que auxiliem em outras pesquisas sobre a bacia.

Palavras-chave: Gestão de Bacias; Parâmetros Morfométricos; Análise Multicritério; Modelo Digital de Elevação.

ABSTRACT

The Geographic Information Systems (GIS) associated with Digital Elevation Models (DME) has contributed strongly in studies related to analysis and extraction of information in watersheds, especially when it comes to watersheds with lack of information, as is the case of the Pardo River watershed (MG/ BA) - BHRP. This basin is inserted in the north of the state of Minas Gerais and south of Bahia. The studies about BHRP are more concentrated in its Minas Gerais domain, with a huge lack of information in its Bahian section. This lack of information covering the entire length of the basin makes it difficult to understand its characteristics and complexities. In view of this, this work aimed to characterize the Pardo River watershed, with a view to mapping areas susceptible to flooding, using data and GIS tools made available at no cost to the user. To achieve the objectives proposed in this work, the methodological procedures were structured into four stages. The first consisted of a literature review, addressing concepts on the topic under study. In the second stage, vector and raster data was acquired from public institutions geoportals. In stage three, data processing and manipulation was carried out in a GIS environment for subsequent preparation of cartographic products referring to environmental and morphometric characterization. Finally, in step four, multicriteria analysis and map algebra were applied to generate the flood susceptibility map. The results obtained, in a general way, made it possible to understand the morphometric and environmental aspects of the hydrographic basin under study, as well as providing important information for future studies of planning and management of water resources. It is hoped that this study can contribute to the dissemination of knowledge of the basin, especially in the domain portion of the state of Bahia. The study developed here, therefore, is not to exhaust the information about the basin but rather serve as complements and offer of cartographic products that assist in other research on the basin.

Keywords: Basin Management; Morphometric Parameters; Multicriteria Analysis; Digital Elevation Model.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Representação do processo de utilização do SIG. | 23 |
| Figura 2 - Anatomia de SIG. | 24 |
| Figura 3 - Interface do software QGIS. | 25 |
| Figura 4 - Estrutura de representação raster e vetorial ¹ | 26 |
| Figura 5 - Bacia Hidrográfica e seus principais elementos. | 29 |
| Figura 6 - Critérios de ordenamento de Sthraler. | 30 |
| Figura 7 - Ordem dos cursos d'águas segundo critério de Strahler (1957). | 35 |
| Figura 8 - Curva hipsométrica. As cotas estão representadas nas ordenadas e a área acumulada nas abscissas. | 37 |
| Figura 9 - Perfil Longitudinal. As cotas estão representadas nas ordenadas e distâncias nas abscissas. | 38 |
| Figura 10 - Declividades S1 e S2. | 39 |
| Figura 11 - Declividades S3 e S4. | 40 |
| Figura 12 - Mapa da Divisão Hidrográfica Nacional, instituída pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). | 46 |
| Figura 13 - Mapa de localização das 25 RPGA - Região de Planejamento e Gestão de Águas (INEMA, 2023). | 47 |
| Figura 14 - Divisão hidrográfica nacional e posicionamento das RPGA na região hidrográfica do Atlântico Leste ou do São Francisco. | 49 |
| Figura 15 - Mapa de localização da Bacia hidrográfica do rio Pardo – BHRP. | 50 |
| Figura 16 - Limite da Bacia hidrográfica do rio Pardo – BHRP com demais Ottobacias nível 4 (INEMA, 2024). | 51 |
| Figura 17 - Mapa de localização dos 37 municípios envolvidos pela BHRP. | 53 |
| Figura 18 - Fluxograma para desenvolvimento do trabalho. | 59 |
| Figura 19 - MDE – SRTM obtido por meio do plugin OpenTopography com recorte da bacia e posicionamento dos municípios envolvidos pela área da bacia. | 61 |
| Figura 20 - Interface da página da AHP Priority Calculator (Calculadora de prioridades) para geração da matriz pareada dos fatores preponderantes a inundação e cálculo dos pesos dos fatores. | 77 |

| | |
|---|-----|
| Figura 21 - Janela de comando “AHP Criteria Names” (Nomes dos fatores preponderantes) para preenchimento dos fatores do mais ao menos preponderantes a inundação..... | 78 |
| Figura 22 - Janela de comando “Pairwise Comparison” (Comparação pareada) para julgamento dos pesos entre os fatores..... | 78 |
| Figura 23 - Resultado das prioridades fornecido diretamente na plataforma da AHP Priority Calculator. | 79 |
| Figura 24 - Rede de drenagem da BHRP | 84 |
| Figura 25 - Hierarquização fluvial da BHRP | 84 |
| Figura 26 - Perfil longitudinal do rio Pardo. | 89 |
| Figura 27 - Elementos trapezoidais para cálculo da área sob o perfil longitudinal. | 91 |
| Figura 28 - Área do triângulo equivalente a área sob o perfil. | 91 |
| Figura 29 - Declividade S ₄ | 93 |
| Figura 30 - Declividades S ₁ , S ₂ , S ₃ e S ₄ | 94 |
| Figura 31 - Mapa das classes de declividade..... | 95 |
| Figura 32 : Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Pardo gerado por Brito Neto et al. (2020)..... | 97 |
| Figura 33: Modelo de Relevo Sombreado aplicado a área da BHRP. | 98 |
| Figura 34 - Curva hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Pardo..... | 99 |
| Figura 35 - Mapa hipsométrico..... | 100 |
| Figura 36 - Classes climáticas (Koppen -1936) para a BHRP. | 101 |
| Figura 37 - Classes de Biomas para a BHRP..... | 104 |
| Figura 38 - Tipo de cobertura vegetal da área da BHRP, conforme dados do IBGE (2022)..... | 106 |
| Figura 39 - Mapa de Uso e Cobertura dos Solos, conforme dados de Mapbiomas (2022)..... | 110 |
| Figura 40 - Classes de Solos | 114 |
| Figura 41 - Domínios Geomorfológicos..... | 116 |
| Figura 42 - Mapa das Unidades Litoestratigráficas da BHRP..... | 120 |
| Figura 43 - Preenchimento dos nomes dos fatores preponderantes a inundação. . | 123 |
| Figura 44 - Julgamento das notas dos fatores. | 124 |
| Figura 45 - Valor de CR após realização dos julgamentos das notas | 125 |
| Figura 46 - Resultados dos pesos para cada fator..... | 125 |
| Figura 47 - Mapa de susceptibilidade a inundações | 127 |

LISTA DE QUADROS E TABELAS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Valores de referência para o coeficiente de compacidade..... | 32 |
| Quadro 2 - Valores de referência para o fator de forma..... | 32 |
| Quadro 3 - Valores de referência para o Índice de circularidade..... | 33 |
| Quadro 4 - Valores de referência para a razão de alongação..... | 34 |
| Quadro 5 - Valores de referência para a densidade de drenagem..... | 36 |
| Quadro 6 - Valores de referência para o índice de sinuosidade..... | 36 |
| Quadro 7 - Valores de referência para a sinuosidade do curso d'água..... | 37 |
| Quadro 8 - Valores de referência para o índice de rugosidade..... | 40 |
| Quadro 9 - Valores de referência para a razão de relevo..... | 41 |
| Quadro 10 - Regiões de Planejamentos e Gestão das Águas (RPGA) divididas por Região Hidrográfica Nacional..... | 48 |
| Quadro 11 - Municípios e quantitativo populacional envolvidos pela BHRP (IBGE, 2022)..... | 52 |
| Quadro 12 - Dados obtidos para desenvolvimento do trabalho..... | 60 |
| Quadro 13 - Classes de declividades segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2018)..... | 67 |
| Quadro 14 - Parâmetros morfométricos e modelos matemáticos utilizados para determinação da caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pardo...68 | |
| Quadro 15 - Referências consultadas abordando estudos com principais fatores impactantes a inundações..... | 72 |
| Quadro 16 - Justificativas dos fatores impactantes à inundação utilizados no desenvolvimento deste trabalho..... | 72 |
| Quadro 17 - Escala de julgamento de importância de Saaty para a correlação pareada entre os fatores..... | 74 |
| Quadro 18 - Matriz de Comparação Pareada (MCP)..... | 75 |
| Quadro 19 - MCP com valores dos pesos calculados..... | 75 |
| Quadro 20 - Índices Randômicos (IR)..... | 76 |
| Quadro 21 - Valores dos parâmetros geométricos obtidos por Brito Neto et al. (2020)..... | 81 |
| Quadro 22 - Valores dos parâmetros da rede de drenagem obtidos por Brito Neto et al. (2020)..... | 83 |

| | |
|--|-----|
| Quadro 23 - Valores dos parâmetros da característica de relevo obtido por Brito Neto et al. (2020). | 88 |
| Tabela 1 - Característica geométrica da bacia hidrográfica do rio Pardo. | 80 |
| Tabela 2 - Característica hidrográfica da bacia do rio Pardo..... | 82 |
| Tabela 3 - Relação hierarquia, quantidade e extensão de canais da rede de drenagem. | 83 |
| Tabela 4 - Características de relevo da bacia hidrográfica do rio Pardo. | 87 |
| Tabela 5 - Perfil longitudinal do rio principal | 88 |
| Tabela 6 - Valores das distâncias e altitudes utilizadas para cálculo da área dos elementos trapezoidais. | 90 |
| Tabela 7 - Dados para cálculo da declividade S_3 | 92 |
| Tabela 8 - Classes de declividades, Áreas e porcentagem de Área..... | 96 |
| Tabela 9 - Classes de altitudes, área e Porcentagem de área para a BHRP..... | 100 |
| Tabela 10: Tipos de cobertura vegetal encontrada na bacia (IBGE (2022), área ocupada e percentual de área..... | 106 |
| Tabela 11 – Classes de uso e cobertura dos solos, área e porcentagem de área. . | 111 |
| Tabela 12: Tipos de solos, área e porcentagem de área..... | 113 |
| Tabela 13: Distribuição das unidades litoestratigráfica presente na bacia hidrográfica do rio Pardo na escala do tempo geológico. | 119 |
| Tabela 14 - Ponderação das classes dos fatores condicionantes a inundação..... | 122 |
| Tabela 15 - Matriz de comparação para obtenção dos pesos das variáveis. | 124 |
| Tabela 16 - Matriz pareada com resultado dos pesos de cada fator. | 125 |

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

A - Área

Ac - Área do círculo de perímetro igual ao da bacia considerada

AHP - Analytic Hierarchy Process

At - Área do triângulo

ANA - Agência Nacional de Águas

API - Application Programming Interface

BA - Bahia

BHRP - Bacia Hidrográfica do Rio Pardo

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil

Dd - Densidade de drenagem

Dh - Densidade hidrográfica

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DSG - Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPGS - European Petroleum Survey Group

Ev - Distância entre a foz e a nascente do rio

GRASS - Geographic Resources Analysis Support System

H - Amplitude altimétrica

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Ic - Índice de circularidade

IC - Índice de consistência

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais

INEMA - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPEF - Instituto de pesquisa e estudos florestais

Ir - Índice de rugosidade

IR - Índice randômico

Is - Índice de sinuosidade

m - Metros

m³ - Metros cúbicos mm - Milímetro

MapBiomas - Mapeamento anual da cobertura vegetal e uso do solo nos biomas brasileiros

MDE - Modelo Digital de Elevação

MDEHC - Modelo digital de elevação hidrologicamente consistente

MCP - Matriz de comparação pareada

MG - Minas Gerais

N - Número de rios

NASA - National Aeronautics and Space Administration

SIG - Sistema de Informações Geográficas

USGS - United States Geological Survey

Kc - Coeficiente de compacidade

Kf - Fator de forma

km - Quilômetro

km² - Quilometro ao quadrado

Lb - Comprimento axial da bacia

La - Largura média da bacia

P - Perímetro

PNRH - Plano Nacional de Recursos Hídricos

RADAMBRASIL - Radar Amazônia para o Brasil.

RC - Razão de consistência

Re - Razão de alongação

RPGA - Regiões de Planejamento e Gestão das Águas

Rr - Razão de relevo

SAGA - System for Automated Geoscientific Analyses

Si - Declividade do trecho i

SIRGAS 2000 - Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul – 2000

Sn - Sinuosidade do curso d'água

SRC - Sistema de referência de Coordenadas

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

UTM - Universal Transversa de Mercator

WGS-84 - World Geodesic System -1984

WKT - Well Know Text

Sumário

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 19 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA..... | 20 |
| 1.2 | OBJETIVOS..... | 20 |
| 1.2.1 | Objetivo geral | 20 |
| 1.2.2 | Objetivo específico | 21 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 22 |
| 2.1 | Sistemas de Informações Geográficas..... | 22 |
| 2.2 | Bacias Hidrográficas..... | 28 |
| 2.2.1 | Caracterização de Bacias Hidrográficas..... | 30 |
| 2.2.1.1 | Características geométricas | 31 |
| 2.2.1.2 | Características da geologia, geomorfologia e pedologia..... | 41 |
| 2.2.1.3 | Características de vegetação e tipo de ocupação..... | 42 |
| 2.2.2 | Gestão de Bacias Hidrográficas..... | 43 |
| 2.3 | A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (MG/BA)..... | 50 |
| 2.3.1 | Características gerais | 51 |
| 2.3.2 | Aspectos hidrológicos | 55 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 58 |
| 3.1 | Aquisição de dados | 60 |
| 3.2 | Caracterização Morfométrica | 60 |
| 3.2.1 | Parâmetros Morfométricos..... | 60 |
| 3.2.1.1 | Características geométricas | 62 |
| 3.2.1.2 | Características hidrográficas | 64 |
| 3.2.1.3 | Características do relevo..... | 65 |
| 3.3 | Caracterização ambiental | 69 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.3.1 | Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Clima, Biomas, Vegetação e Uso e Ocupação das terras | 69 |
| 3.4 | Mapeamento das áreas susceptíveis a inundações..... | 69 |
| 3.4.1 | Seleção dos fatores condicionantes à susceptibilidade a inundações 71 | |
| 3.4.2 | Reclassificação dos fatores quanto à susceptibilidade a inundações 72 | |
| 3.4.3 | Aplicação do método multicritério AHP (<i>Analytical Hierarchy Process</i>). 73 | |
| 3.4.4 | Utilização de álgebra de mapas | 79 |
| 3.4.5 | Elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações | 79 |
| 4 | RESULTADOS..... | 80 |
| 4.1 | Caracterização morfométrica | 80 |
| 4.1.1 | Características geométricas..... | 80 |
| 4.1.2 | Características hidrográficas | 82 |
| 4.1.3 | Características de relevo..... | 86 |
| 4.2 | Caracterização ambiental | 101 |
| 4.2.1 | Clima..... | 101 |
| 4.2.2 | Classes de Biomas e tipos de Cobertura Vegetal | 103 |
| 4.2.3 | Uso e cobertura dos solos..... | 110 |
| 4.2.4 | Pedologia | 113 |
| 4.2.5 | Geomorfologia..... | 116 |
| 4.2.6 | Geologia..... | 118 |
| 4.3 | Mapeamento das áreas susceptíveis a inundações..... | 121 |
| 4.3.1 | Seleção dos fatores condicionantes a inundações | 121 |
| 4.3.2 | Reclassificação dos fatores quanto à susceptibilidade a inundações 122 | |
| 4.3.3 | Aplicação do método multicritério AHP | 123 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.3.4 | Utilização de álgebra de mapas | 126 |
| 4.3.5 | Mapa de susceptibilidade a inundações | 126 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 129 |
| 6 | REFERÊNCIAS..... | 131 |

1 INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são áreas da superfície terrestre delimitadas por seus divisores de águas ou divisores topográficos, os quais captam as águas oriundas das precipitações e formam um sistema conectado de cursos d'águas que convergem para uma seção única de saída denominada exutório. Conforme Meurer et al (2013), a bacia hidrográfica representa uma unidade ideal de planejamento do uso do solo, bem como para qualquer tipo de estudo que envolva a dinâmica ambiental de uma região.

O processo de caracterização de uma bacia hidrográfica, segundo Piroli (2022), é uma forma de se buscar um levantamento das informações sobre suas condições físicas, climáticas e topográficas que envolvem sua área. É uma atividade também para se fazer o inventário da situação dos recursos naturais e registrar as condições socioeconômicas, ambientais e culturais da população que ocupa a área delimitada pela bacia. O autor acrescenta ainda que quando se desconhece ou se desconsidera as características das bacias hidrográficas, surgem as crises hídricas, os prejuízos ambientais e socioeconômicos em proporções acima do que são esperadas naturalmente. Essas consequências são geralmente causadas pela falta de visão estratégica e do planejamento adequado da ocupação do espaço no território das bacias hidrográficas.

Diante disto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm sido cada vez mais aplicados aos estudos das bacias hidrográficas como importantes ferramentas para análise espacial, cuja proposta é o entendimento das interações entre seus diversos componentes e as ações antrópicas.

As características técnicas do SIG permitem reunir uma grande quantidade de dados e informações de expressão espacial e estruturá-los de maneira adequada, para que o tratamento integrado de seus principais componentes seja otimizado. Fornece ainda uma relevante assistência na agilização do processo da tomada de decisão, promovendo análises rápidas e previsões socioambientais mais precisas, em diferentes cenários (Holanda *et. al.*, 2022).

Nesse contexto e considerando a Bacia hidrográfica do rio Pardo (MG/BA) como uma bacia relevante para um grande contingente populacional, assim como sua importância para o desenvolvimento econômico dos municípios que dependem de suas águas, a gestão da Bacia hidrográfica do rio Pardo pode ser beneficiada mediante uso dos Sistemas de Informações Geográficas.

1.1 JUSTIFICATIVA

A Bacia hidrográfica do rio Pardo está inserida no norte do estado de Minas Gerais e sul da Bahia, contemplando 37 municípios dos estados da Bahia e Minas Gerais, onde vivem cerca de 1 (um) milhão de pessoas. Entretanto, a bacia hidrográfica do rio Pardo sofre com vários problemas ambientais que vão desde uso descontrolado de suas águas até a degradação ambiental.

Muitos dos trabalhos desenvolvidos acerca da BHRP se concentram em domínio mineiro. Entretanto, as informações da bacia sob gestão do estado da Bahia ainda carecem de mais estudos. Assim, essa falta de informações que contemple toda a extensão da bacia dificulta compreender suas características e complexidades.

Justifica-se esse trabalho ao contribuir nos levantamentos de informações físicas e ambientais, fornecendo insumos que possibilite uma melhor gestão de uso e ocupação do solo e gerenciamento dos recursos hídricos através da utilização e disponibilização dos produtos cartográficos e das informações da dinâmica ambiental envolvida pela bacia hidrográfica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este estudo possui o objetivo de identificar as áreas susceptíveis a inundação na bacia hidrográfica do rio Pardo (MG/BA), com base nos fatores declividade, hipsometria, pedologia e uso e ocupação dos solos, a partir do uso de dados e ferramentas de SIG sem custos ao usuário.

1.2.2 Objetivo específico

- a) Realizar as características morfométricas e ambientais da bacia hidrográfica.
- b) Elaborar mapas temáticos: Clima, Biomas, Vegetação, Uso e ocupação das terras, Pedologia, Geomorfologia, Geologia, Hipsometria e Declividade.
- c) Utilizar a análise multicritério e álgebra de mapas para elaborar um mapa de susceptibilidade a inundações da bacia hidrográfica.
- d) Disponibilização dos dados gerados para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas de Informações Geográficas

O conceito de Sistemas de Informações Geográficas, conforme Fitz (2008), compreende os sistemas constituídos por um conjunto de programas computacionais, que integra dados, equipamentos e pessoas cujo objetivo é coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido.

Conforme Câmara e Davis (2001), o termo Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam as informações com base tanto em suas características alfanuméricas como em sua localização espacial, oferecendo uma nova visão de seu ambiente de trabalho em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, interrelacionadas com base na localização geográfica. Para que isto seja possível, a informação geométrica e os atributos dos dados em um SIG devem estar localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica. O autor acrescenta que as características mais importantes de um SIG são:

- a possibilidade de integração, em uma única base de dados, das informações espaciais provenientes de diferentes fontes tais como dados cartográficos, imagem de satélite, dados de cadastro rural e urbano e Modelo Digital de Elevação – MDE;
- a capacidade de oferecer mecanismo para recuperar, manipular e visualizar dados, através de algoritmos de manipulação e análise.

Segundo Hamada (2007), as vantagens mais comuns da utilização do SIG são:

- a rapidez na manipulação dos dados inseridos no sistema;
- permitir diferentes análises dos dados de forma mais eficiente com menor subjetividade que se fossem realizadas de forma manual;
- e possibilitar processos de tomada de decisão, facilitando a atualização dos dados.

Ainda conforme Hamada (2007), a utilização de um SIG é um processo cíclico (Figura 1), o qual ocorre os processos de aquisição e manipulação de dados, análise, gerenciamento de produtos, que em sua forma mais usual são produtos cartográficos, os quais auxiliam ou dão subsídio aos usuários para uma tomada de decisão, que deverá ser colocada em ação, agindo sobre o mundo real e eventualmente modificando-o, necessitando, então, de novas aquisições de dados de uma realidade diferente.

Figura 1 - Representação do processo de utilização do SIG.



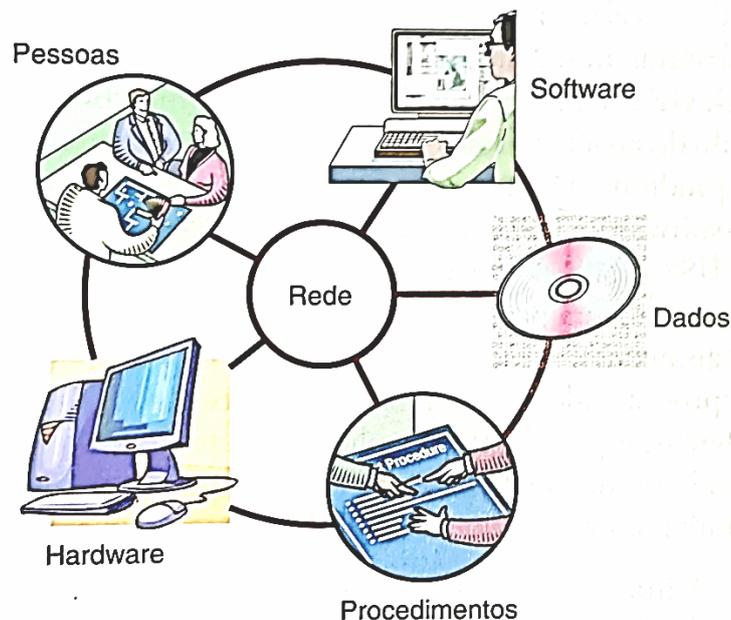
Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Hamada (2007)

De acordo com Calijuri (2004), o manuseio e a análise de dados referenciados a uma localização geográfica são ferramentas chaves de um SIG, a sua potencialidade é mais visível quando a quantidade de dados envolvidos é muito grande para a manipulação manual. O número, o tipo de aplicações e as análises que podem ser realizadas por um SIG são tão grandes e diversas quanto a disponibilidade dos conjuntos de dados geográficos.

Longley *et. al.*, (2013) afirma que a anatomia de um SIG é formada por seis componentes bem definidos (Figura 2), sendo o mais fundamental a rede, o qual nenhuma comunicação rápida ou compartilhamento de informação digital poderia ocorrer. O segundo elemento da anatomia do SIG é o hardware, o qual o usuário

interage na realização das operações e retorna à informação através da visualização em tela. A terceira peça é o software, o qual é um pacote de SIG que roda na máquina do usuário. O quarto elemento é o banco de dados, o qual consiste em uma representação digital dos aspectos de alguma área específica da superfície da terra. O quinto componente são procedimentos ou métodos para assegurar que as atividades de um SIG atinjam suas necessidades. Por fim, o sexto componente são as pessoas, os quais devem ter conhecimentos básicos para lidar com dados geográficos.

Figura 2 - Anatomia de SIG.

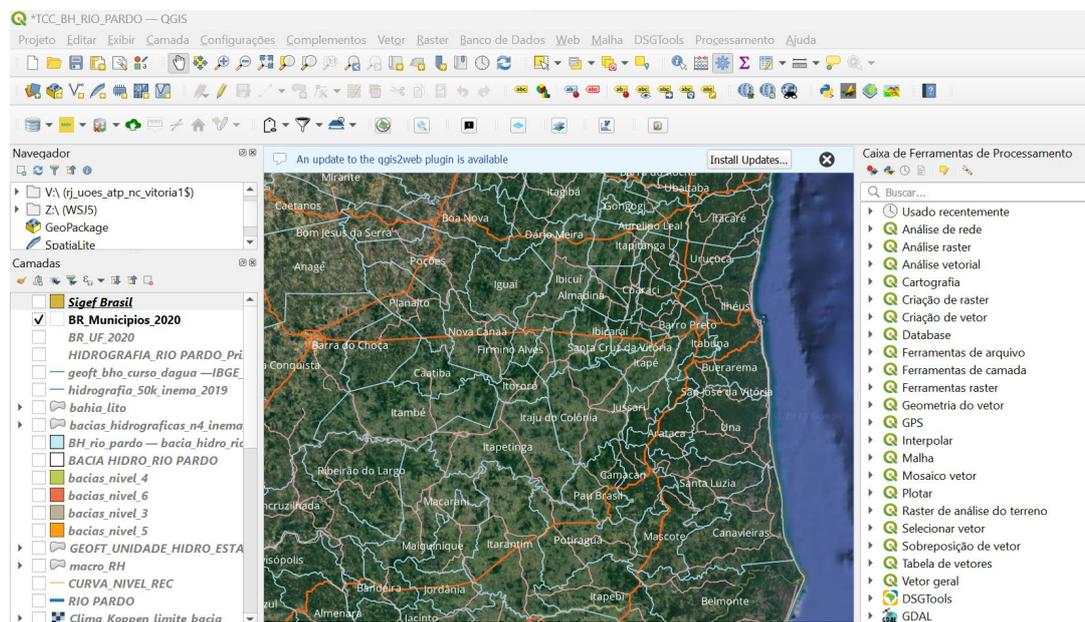


Fonte: Longley *et.al.*, 2013, p.25

Existem, na atualidade, diversos aplicativos de SIG. Eles podem ser softwares proprietários, os quais são disponibilizados apenas para usuários que obtêm uma licença comercial ou softwares gratuitos, os quais, em alguns casos, possuem uma licença de código aberto, o que torna possível contribuir para o seu desenvolvimento e melhoria. Entre os aplicativos de softwares livres atualmente disponíveis, se destaca

o QGIS (Figura 3). Esse software de SIG possui suporte à *plugins que* podem complementar funções, aumentando a sua capacidade de análise. Além disso, suporta linguagem de programação em C++ ou *Python* na criação de funções e utiliza da linguagem *SQL* para manipulação de banco de dados. Outra característica importante do QGIS é a integração de outros softwares, como o GRASS, SAGA-GIS, R, entre outros. (BICCA, 2022).

Figura 3 - Interface do software QGIS.

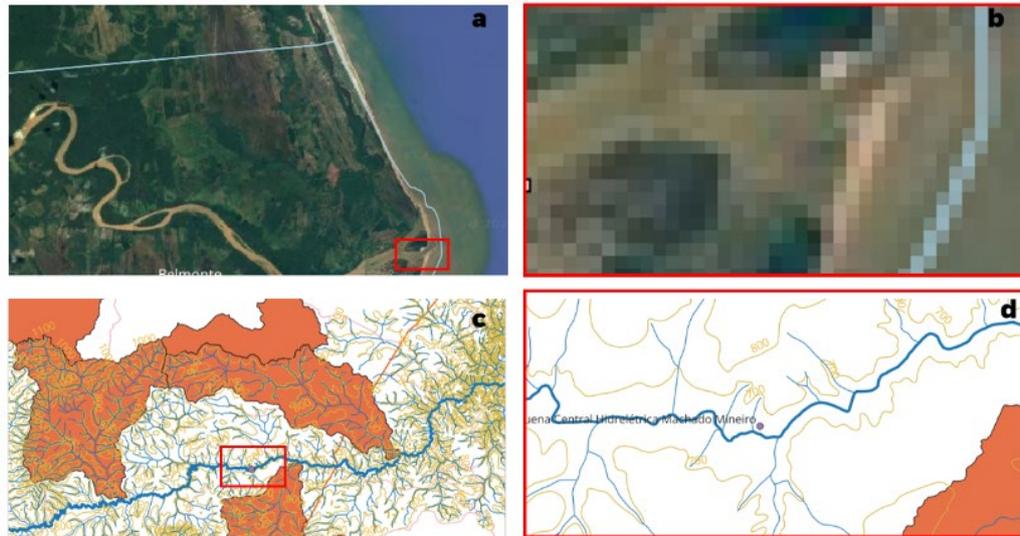


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Conforme Portocarrero (2018), existem basicamente duas formas distintas de representar os dados espaciais em um SIG: vetorial e raster ou matricial (Figura 4). Os dados raster são constituídos na forma de pixels individuais, e cada local ou elemento tem um pixel associado cujo valor indica um atributo, como cor, elevação ou um número de identificação (Figuras 4 – (a) e (b)). Cada pixel, condiz com um valor do atributo e suas coordenadas. Os valores dos pixels representam uma medição de alguma grandeza física, correspondente a um fragmento do mundo real. As imagens *raster* são normalmente adquiridas por um leitor óptico, como é o caso das câmeras digitais. A resolução espacial é a característica mais relevante desse dado e é determinada pela resolução do dispositivo de aquisição e pela qualidade da fonte de

dados original. Os dados do tipo vetoriais estão relacionados as formas geométricas (pontos, linhas e polígonos) e sua característica mais relevante é a precisão (Figuras 4 (c) e (d)). Na imagem da figura 4 (c) é apresentado dados vetoriais representados pelas geometrias: pontos, linhas e polígonos.

Figura 4 - Estrutura de representação raster e vetorial¹.



¹ A imagem da figura 4 (b) é um zoom de uma porção da imagem da figura 4 (a), observe os pixels (quadrículas) quando é aumentado a imagem. A imagem da figura 4 (d) é o zoom de uma porção da imagem da figura 4 (c).

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Uma das principais fontes de dados matriciais para a representação das feições do terreno são os Modelos Digitais de elevação ou MDE's. Um MDE pode ser obtido a partir de processos fotogramétricos, de cartas topográficas ou de sensores remotos diversos. As fontes de MDE's disponíveis são vastas e podem ser obtida de forma gratuita na internet, como é o caso do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), o GDEM (*Global Digital Elevation Model*) e o TOPODATA. Entretanto, estes MDE's não podem ser utilizados para uma análise de forma direta (Zanetti et.al, 2022).

Conforme Camana (2016), os modelos digitais de elevação têm possibilitado o estudo de determinados fenômenos sem necessariamente se trabalhar diretamente na região geográfica escolhida. A disponibilidade e fácil acesso a dados de MDE tem contribuído para os avanços nos estudos hidrológicos, a partir da extração automática

de redes de drenagem, geomorfologia e planejamento dos recursos hídricos, visto que o uso de MDE comporta o cálculo de variáveis associadas ao relevo com rapidez e precisão.

Segundo Bicca (2022), os dados necessários para uma determinada aplicação de SIG podem ser criados, em muitos casos, pelo próprio usuário por meio de coleta utilizando levantamentos topográficos e/ou geodésicos. Mas deve ser imprescindível, uma base cartográfica sólida para que o SIG tenha uma consistência e possa modelar o mundo real o mais fielmente possível.

A seguir é apresentado os principais geradores de informações e fontes oficiais de dados espaciais do Brasil.

- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística);
- DSG (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro);
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária);
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais);
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis);
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes;
- INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária;
- CPRM (Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil) ;
- ANA (Agência Nacional de Águas);
- INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais);
- Universidades;
- Geoportais de instituições públicas estaduais e prefeituras municipais;
- Instituições internacionais como a USGS (United States Geological Survey - "Levantamento Geológico dos Estados Unidos") e NASA (National Aeronautic and Space Administration)

A representação de Bacias hidrográficas em ambiente computacional é bastante explorada em vários trabalhos sobre aplicação de SIG. Os softwares de SIG

apresentam ferramentas muito potentes de análise e extração de informações em bacias hidrográficas a partir de um Modelo Digital de Elevação de uma região. O MDE é apenas uma forma de representar uma bacia hidrográfica em ambiente computacional. Antes da popularização dos computadores, os estudos hidrológicos eram baseados em mapas topográficos para representar a caracterização de bacias hidrográficas. Com o avanço da tecnologia computacional foram criadas formas de representar o relevo digitalmente, permitindo armazenar, processar e analisar os dados topográficos para estudo hidrológicos em bacias hidrográficas (COLLISCHONN E DORNELLES, 2013).

Os estudos aplicados a bacias que utilizam SIG como suporte para as análises têm direcionado as pesquisas sobre modelagem hidrológica, caracterização físicas e morfométricas, uso e cobertura da terra e estudo da qualidade da água dos afluentes de uma bacia hidrográfica. Segundo Benini (2015), “os sistemas de informação geográfica têm sido utilizados com intensidade cada vez maior, trazendo importantes contribuições para a análise de características de bacias hidrográficas”.

2.2 Bacias Hidrográficas

As bacias hidrográficas são áreas definidas pelo escoamento superficial e subsuperficial das águas das chuvas, as quais, por ação da gravidade, são direcionadas para as regiões mais baixas do relevo até alcançar o rio principal (Figura 5). As áreas das bacias hidrográficas são delimitadas por divisores de águas, que estão localizados nas áreas mais altas do relevo, e, a partir deles, as águas escoam para seus rios ou para os de uma bacia vizinha, a partir do divisor topográfico (PIROLI, 2022).

Figura 5 - Bacia Hidrográfica e seus principais elementos.



Fonte: Collischonn e Dornelles (2013).

Conforme Collischonn e Dornelles (2013), o divisor de água é delimitado pelo relevo, o qual divide o escoamento de forma divergente das águas da chuva. Estes divisores são chamados de divisores de águas superficiais, uma vez que as águas das chuvas escoam sobre a superfície do solo. Entretanto, as águas que caem nas áreas das bacias hidrográficas e se infiltram no solo podem seguir um escoamento dependente das rochas permeáveis do subsolo. As rochas impermeáveis, por sua vez, podem definir um divisor de águas subterrâneas. Em geral, um divisor de água superficial coincide com o divisor de água subterrâneo, mas em muitos casos, os divisores de águas superficiais estão afastados dos divisores subterrâneos.

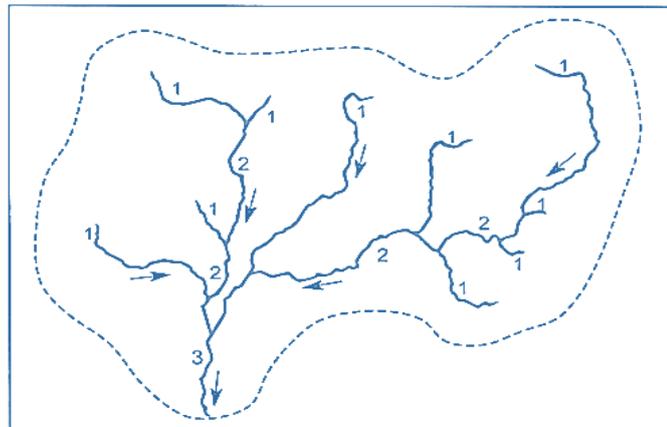
Bacias hidrográficas em que o escoamento da água é contínuo e deságuam diretamente no mar são classificadas como exorréicas. Quando o escoamento é interna e desemboca em lago ou infiltra-se nas depressões cársticas são classificadas como endorréicas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

De acordo com Collischonn e Dornelles (2013), a bacia hidrográfica também pode ser descrita em função da forma e das características da rede de drenagem. Sendo o ordenamento dos cursos d'água a característica da drenagem mais utilizada. Conforme os critérios de ordenamento de Strahler (Figura 6), um curso d'água é de ordem 1 quando é oriundo a partir da nascente, se dois cursos de ordem 1 se encontrarem formam um curso de ordem 2. Dois cursos de ordem 2 ao se encontrarem formam um curso de ordem 3, e assim por diante. Quando um curso de ordem superior

se encontra com um curso de ordem inferior, sua ordem não se altera. A ordem de uma bacia é dada pela maior ordem do curso d'água encontrada na bacia. O ordenamento de cursos d'água dependem da escala do mapa que está sendo usado como base. Em um mapa na escala de 1:250.000, não aparece tantos detalhes da rede de drenagem como em um mapa de 1:50.000.

A nomenclatura da bacia hidrográfica é dada pelo nome de seu rio principal, desconsiderando o fluxo subterrâneo, uma vez que nem sempre depende da bacia a qual ocorre. Dentro de uma bacia podem ser delimitadas outras bacias menores, ou sub-bacia (FREIRE E OMENA, 2005). De acordo com Faustino (1996) citado por Piroli (2022), a área de uma sub-bacia tem drenagem direta no curso principal da bacia; e um conjunto de sub-bacias formam uma bacia.

Figura 6 - Critérios de ordenamento de Sthraler.



Fonte: Collischonn e Dornelles (2013).

2.2.1 Caracterização de Bacias Hidrográficas

As bacias hidrográficas variam significativamente em termos de forma, tamanho, relevo, recursos naturais e ocupação humana. Essas diferenças influenciam o tipo, potencial, aptidão, limitações e problemas presentes em cada bacia. A caracterização dessas bacias envolve a coleta de informações sobre suas condições físicas, climáticas e topográficas, além do inventário dos recursos naturais. Também

inclui a descrição da localização, operação e manutenção dos serviços públicos, bem como o registro das condições socioeconômicas e culturais das comunidades locais. (PIROLI, 2022).

Para Hipólito e Vaz (2017), o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica resulta das características climáticas e fisiográficas da região. O clima influencia as precipitações e evaporações, afetando o armazenamento e o escoamento tanto superficial quanto subterrâneo. Já as características fisiográficas podem ser categorizadas em geométricas e ambientais. As características geométricas englobam a forma, o relevo e a rede de drenagem da bacia. Por outro lado, as características ambientais são definidas pela geologia, o tipo e uso dos solos, incluindo a cobertura vegetal e a ocupação humana.

2.2.1.1 Características geométricas

Entre as características geométricas, segundo Hipólito e Vaz (2017), são utilizados como indicadores o índice de compacidade e o fator de forma. Os indicadores utilizados para a caracterização do sistema de drenagem são a constância do escoamento, a ordem dos cursos d'água, a densidade de drenagem e o percurso sobre o terreno. O relevo, por sua vez, tem como indicadores a curva hipsométrica, a altitude média e o declive dos terrenos. Esses indicadores permitem obter uma imagem da bacia e ajudam a perceber melhor o seu comportamento hidrológico.

Área de drenagem (A): É área da projeção horizontal das superfícies da bacia (HIPÓLITO E VAZ, 2017).

Perímetro (P): É o perímetro da projeção horizontal da superfície da bacia hidrográfica (HIPÓLITO E VAZ, 2017).

Coefficiente de compacidade (Kc): É a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. É um valor sempre maior ou igual a 1, sendo $Kc = 1$ para uma bacia com formato circular. Como na prática não existem bacias com formatos circulares exatos, o valor de Kc é sempre superior a 1 ($Kc > 1,0$). Este valor está relacionado com a propensão a enchentes (HIPÓLITO E VAZ, 2017) e seus valores de referência podem ser vistos no quadro 1.

$$K_c = 0,282 \cdot P / \sqrt{A}; \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde, P = Perímetro da bacia; A = Área de drenagem da bacia

Quadro 1 - Valores de referência para o coeficiente de compacidade.

| Valor de K_c | Interpretação |
|----------------|-------------------------------|
| 1,00 - 1,25 | Alta propensão à enchentes |
| 1,26 - 1,50 | Tendência mediana à enchentes |
| >1,50 | Não sujeitas à enchentes |

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Pessoa Neto (2023).

Fator de forma (Kf): Relaciona a largura média da bacia (L_a) e o comprimento axial da bacia (L_b). O comprimento axial da bacia pode ser definido como o comprimento em linha reta do maior curso d'água, da foz até a cabeceira. A largura média é obtida dividindo-se a área (A) pelo comprimento axial da bacia (HIPÓLITO E VAZ, 2017).

$$L_a = A / L_b; \quad \text{Eq. (2)}$$

$$K_f = L_a / L_b \quad \text{ou} \quad K_f = A / L_b^2; \quad \text{Eq. (3)}$$

O índice **Kf** constitui-se em indicativo para uma maior ou menor possibilidade de enchente em uma bacia (Quadro 2). Assim, uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, mas que tenha um fator de forma maior (HIPÓLITO E VAZ, 2017).

Quadro 2 - Valores de referência para o fator de forma.

| Valor de K_f | Interpretação |
|----------------|-------------------------------|
| < 0,50 | Não sujeitas à enchentes |
| 0,50 - 0,75 | Tendência mediana à enchentes |
| 0,76 - 1,00 | Sujeita a enchentes |

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Pessoa Neto (2023).

Índice de circularidade (Ic): Relaciona a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro da bacia (BACK, 2014). Esse parâmetro indica a tendência circular da bacia (Quadro 3).

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), uma bacia onde tende a ter um formato circular causaria uma concentração temporal do escoamento superficial, visto que o escoamento de muitos afluentes tendem a chegar ao mesmo tempo ao exutório. Já em bacias alongadas, o escoamento relativamente mais lento predominaria ao longo do curso d'água principal. A fórmula empregada é:

$$Ic = A_c / A; \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde, Ic = índice de circularidade;

A = área de drenagem da bacia;

A_c = área do círculo de perímetro igual ao da bacia considerada, com as relações geométricas:

Com as relações baixo:

$$P = \pi \cdot (D/2); \quad A = (\pi \cdot D^2) / 4; \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde: D = Diâmetro do círculo de área igual ao da bacia

O índice de circularidade pode ser calculado também por:

$$Ic = 4\pi A / P^2; \quad \text{Eq. (6)}$$

Quadro 3 - Valores de referência para o Índice de circularidade.

| Valor de Ic | Interpretação |
|-------------|---------------------|
| < 0,50 | Forma alongada |
| 0,51 - 0,75 | Forma intermediária |
| 0,76 - 1,00 | forma circular |

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Pessoa Neto (2023).

Razão de alongação (Re): É a relação entre o diâmetro do círculo de área igual à área da bacia e o comprimento do eixo da bacia (L_b). Indica quão próxima está

a forma da bacia de uma circunferência. Este índice, tomando por base sua forma, mostra a suscetibilidade da bacia a enchentes. Quanto maior o valor de Re , mais o formato da bacia se aproxima de um círculo (Quadro 4) e maior será a probabilidade de enchentes. (BACK, 2014):

$$Re = 1,1284 (\sqrt{A} / Lb); \quad \text{Eq. (7)}$$

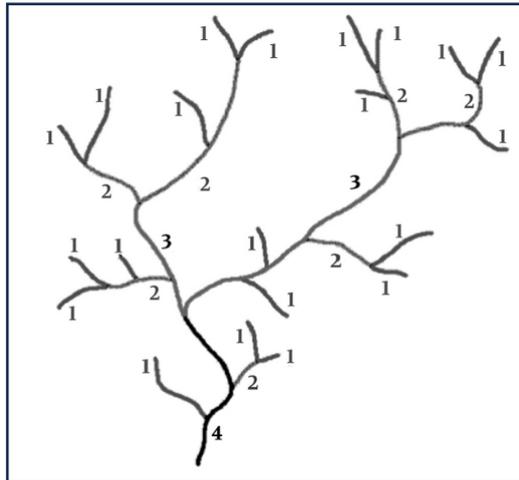
Quadro 4 - Valores de referência para a razão de alongação.

| Valor de Re | Interpretação |
|---------------|----------------------|
| < 0,50 | Forma muito alongada |
| 0,51 - 0,70 | Forma alongada |
| 0,70 - 0,80 | Forma pouca alongada |
| 0,81 - 0,90 | forma ovalada |
| > 0,90 | forma circular |

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Pessoa Neto (2023).

Ordem dos cursos d'águas: É uma classificação para caracterizar o grau de ramificação da rede hidrográfica da bacia. O critério mais utilizado é o de Strahler (1957). Segundo o critério proposto, os tributários menores e não ramificados são classificados de 1ª ordem e da união de canais de mesma ordem (i) formam um canal de ordem $i + 1$ (Figura 7). Quando dois canais de ordens diferentes se juntam, o canal após a junção permanece com a maior dessas duas ordens. A ordenação proposta por Strahler elimina o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a sua extensão e a necessidade de se refazer a numeração a cada confluência (HIPÓLITO E VAZ, 2017).

Figura 7 - Ordem dos cursos d'águas segundo critério de Strahler (1957).



Fonte: Piroli (2022)

Constância do escoamento: Os rios podem ser classificados como perenes, intermitentes e efêmeros. Perenes são os cursos d'águas que em condições naturais escoam durante todo o ano. Os rios intermitentes são os que, em condições naturais, têm água durante a época de chuva e secam na estiagem. Por fim, os efêmeros são os rios que só tem água nos períodos de chuvas (HIPÓLITO E VAZ, 2017).

Densidade de drenagem (Dd): É a razão entre o comprimento total dos cursos d'água (L_t) de uma bacia e sua área de drenagem (A) (BACK, 2014).

$$Dd = L_t / A$$

Eq. (8)

A densidade de drenagem indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem (Quadro 5), e por esse índice pode-se ter uma ideia da velocidade a que a água deixa a bacia hidrográfica.

Quadro 5 - Valores de referência para a densidade de drenagem

| Valor de Dd (km.km ²) | Interpretação |
|------------------------------------|------------------------------|
| < 0,50 | Drenagem pobre |
| 0,51 - 1,50 | Drenagem regular |
| 1,51 - 2,50 | Drenagem boa |
| 2,51 - 3,50 | Drenagem muito boa |
| > 3,50 | Excepcionalmente bem drenada |

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Pessoa Neto (2023).

Densidade hidrográfica (Dh): É a relação existente entre o número de rios (N), ou cursos d'água, e a área da bacia hidrográfica (A) (BACK, 2014).

$$Dh = N / A; \quad \text{Eq. (9)}$$

Índice de sinuosidade (Is) É a relação entre a distância da foz do rio até a sua nascente mais distante, medida em linha reta (Ltalv), e o comprimento do rio principal (L) (MANSIKKANIEMI, 1970 apud BACK, 2014). Os valores de referência podem ser visto no quadro 6.

$$Is = 100 (L - Ltalv) / L \quad \text{Eq. (10)}$$

Quadro 6 - Valores de referência para o índice de sinuosidade.

| Valor de Is (%) | Interpretação |
|-----------------|---|
| < 20,00 | Rio principal tende a ser muito retilíneo |
| 20,00 - 30,00 | Rio principal tende a ser retilíneo |
| 30,01 - 40,00 | Rio principal tende a ser divagante |
| 40,01 - 50,00 | Rio principal tende a ser sinuoso |
| > 50,00 | Rio principal tende a ser muito sinuoso |

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Pessoa Neto (2023).

Sinuosidade do curso d'água (Sn): É definida como a razão entre o comprimento do rio principal (L) e o comprimento de seu talvegue (Ltalv), dado pela distância em linha reta da foz até a nascente. A sinuosidade está relacionada com a

velocidade do fluxo da água, quanto maior a dificuldade encontrada pelo deslocamento da água no seu caminho, menor é sua velocidade (BACK, 2014). O quadro 7 mostra os valores de referência para S_n quando os rios tendem a ser retilíneos e tortuosos.

$$S_n = L / L_{talv}$$

Eq. (11)

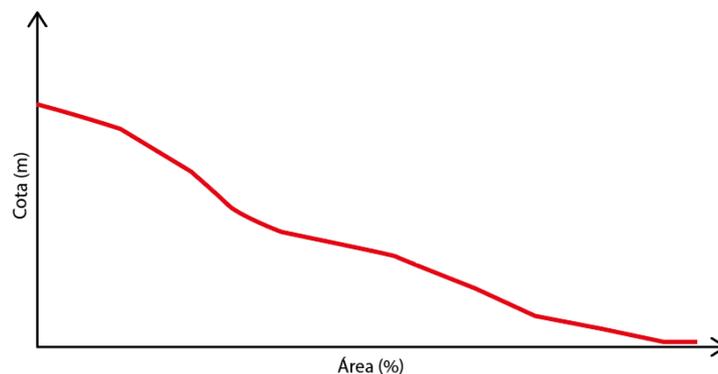
Quadro 7 - Valores de referência para a sinuosidade do curso d'água.

| Valor de S_n (m.m) | Interpretação |
|----------------------|-------------------------------------|
| ~ 1 | Rio principal tende a ser retilíneo |
| > 2,00 | Rio principal tende a ser tortuoso |

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Pessoa Neto (2023).

Curva Hipsométrica: A caracterização do relevo pode ser feita por algumas altitudes características ou pela curva hipsométrica, que é a representação gráfica do relevo médio de uma bacia (BACK, 2014). A curva hipsométrica é representada com as cotas nas ordenadas e a área acumulada nas abscissas (Figura 8).

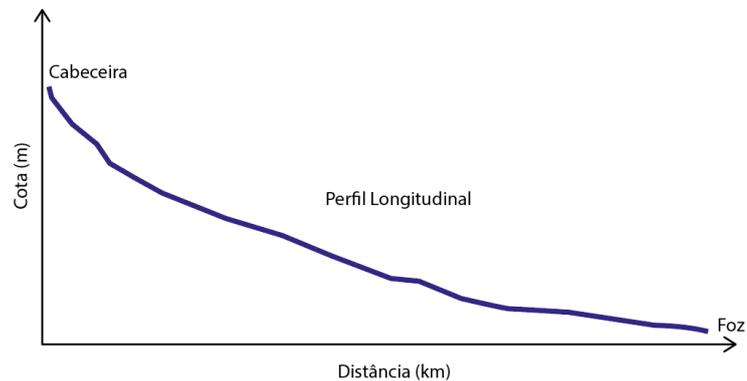
Figura 8 - Curva hipsométrica. As cotas estão representadas nas ordenadas e a área acumulada nas abscissas.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Perfil Longitudinal: É a representação visual da relação entre a altimetria e o comprimento de determinado curso de água (Figura 9). O perfil é côncavo para cima, com declividades maiores em direção a nascente e com valores cada vez mais suaves em direção ao nível de base Christofletti (1980).

Figura 9 - Perfil Longitudinal. As cotas estão representadas nas ordenadas e distâncias nas abscissas.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Declividade do rio principal ou declividade de Álveo (S_1 , S_2 , S_3 e S_4): A declividade média da bacia e do curso d'água principal também são características que afetam diretamente o tempo de viagem da água ao longo da bacia hidrográfica. A estimativa da declividade média da drenagem principal pode ser obtida de várias formas (COLLISCHONN E DORNELLES, 2013).

Conforme BACK (2014), a forma mais simples, denominada declividade S_1 , é obtida dividindo a diferença das altitudes (ΔH) do ponto mais alto (H_1) ao ponto mais baixo (H_0) do canal pelo comprimento do canal (L) (Figura 10).

$$S_1 = \Delta H / L; \quad \text{Eq. (12)}$$

$$\Delta H = (H_1 - H_0) \quad \text{Eq. (13)}$$

Pode-se estimar a declividade da drenagem principal com base na diferença de altitude (ΔH) entre o ponto mais alto (H_1), na cabeceira, e o ponto mais baixo (H_0) do rio, no exutório (COLLISCHONN E DORNELLES, 2013). É obtida traçando uma linha, tal que a área entre ela e o eixo das abscissas é igual à área compreendida

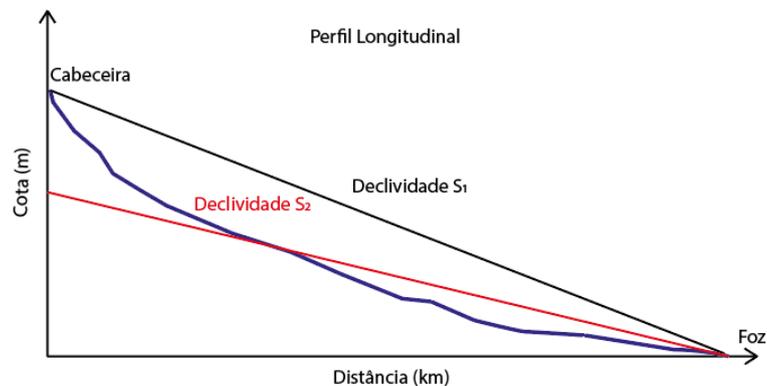
entre a curva do perfil do rio e o eixo das abscissas. Essa linha é denominada declividade S_2 (Figura 10), que pode ser obtida pela equação:

$$S_2 = 2 \cdot A_t / L^2; \quad \text{Eq. (14)}$$

A_t = Área do triângulo

L = comprimento do rio

Figura 10 - Declividades S_1 e S_2



Fonte: Elaborado pelo Autor

Outra forma de calcular a declividade, é pela declividade equivalente constante ou declividade S_3 . A declividade média é calculada como a média harmônica ponderada da raiz quadrada das declividades dos diversos trechos retilíneos (Figura 11), tomando-se como peso a extensão de cada trecho, obtida pela seguinte equação:

$$S_3 = \left[\frac{\sum(L_i)}{\sum(L_i / \sqrt{S_i})} \right]^2; \quad \text{Eq. (15)}$$

Onde, L_i = comprimento de cada trecho; S_i = declividade do trecho i

Pode-se ainda calcular a declividade utilizando as altitudes de dois pontos, onde o primeiro está localizado a 15% e o segundo a 85% da distância do comprimento total do rio principal. Essa declividade, denominada S_4 (Figura 11), é obtida pela equação abaixo:

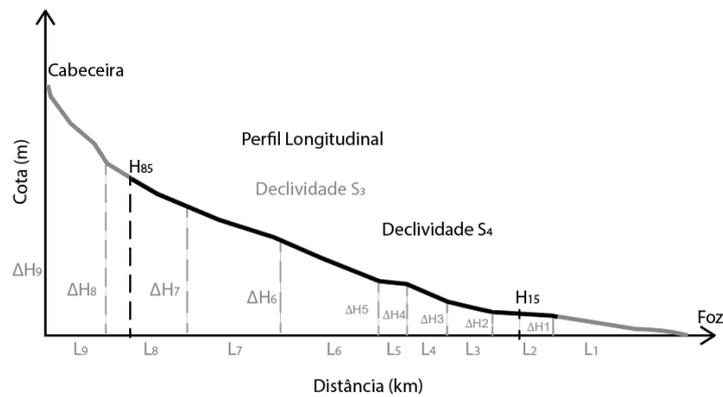
$$S_4 = H_{85} - H_{15} / L_{85-15}; \quad \text{Eq. (16)}$$

H_{85} = altitude do ponto a 85% do comprimento total do rio

H_{15} = altitude do ponto a 15% do comprimento total do rio

L = comprimento entre as altitudes H_{85} e H_{15} .

Figura 11 - Declividades S_3 e S_4 .



Fonte: Elaborado pelo Autor

Índice de rugosidade (Ir): Resulta do produto entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem (Dd). O índice de rugosidade combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como número adimensional (BACK, 2014):

$$Ir = \Delta H \cdot Dd \quad \text{Eq. (17)}$$

Quadro 8 - Valores de referência para o índice de rugosidade.

| Valor de Ir | Interpretação |
|-----------------|---------------|
| < 150,00 | Fraca |
| 150,00 - 550,00 | Média |
| 551,00 - 950,00 | Forte |
| >950 | Muito forte |

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Pessoa Neto (2023).

Amplitude Altimétrica máxima da bacia (ΔH_m): Representa a diferença altimétrica entre a altitude do exutório e a altitude do ponto mais alto em qualquer lugar da divisória topográfica, denominado de relevo máximo da bacia (BACK, 2014)

$$\Delta H_m = H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}} \quad \text{Eq. (18)}$$

Razão de Relevo (Rr): É a razão entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia (ΔH_m) e o comprimento axial da bacia (L_b) (BACK, 2014). Os valores de referência podem ser vistos no quadro 9. A relação de relevo (Rr) pode ser calculada pela expressão:

$$Rr = \Delta H_m / L_b \quad \text{Eq. (19)}$$

em que: ΔH_m = amplitude topográfica máxima; L_b = Comprimento da bacia.

Quadro 9 - Valores de referência para a razão de relevo.

| Valor de Rr (m.m) | Interpretação |
|-------------------|---------------|
| 0,00 - 0,10 | Relação Baixa |
| 0,11 - 0,30 | Relação Média |
| 0,31 - 0,60 | Relação Alta |

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.1.2 Características da geologia, geomorfologia e pedologia.

Nas bacias hidrográficas, a geologia e o tipo de solos exercem uma influência significativa sobre o movimento da água, especialmente no que diz respeito ao escoamento superficial e subterrâneo. A presença de formações permeáveis e impermeáveis, bem como a localização do nível freático, é determinada pela geologia da região. A infiltração é fortemente influenciada pelo tipo de solo e pelas camadas geológicas superficiais. Solos mais permeáveis favorecem uma maior infiltração,

retardando o início do escoamento superficial e reduzindo seu volume. Em contraste, solos impermeáveis aceleram a conversão da precipitação em escoamento superficial, o que pode intensificar e diminuir a duração das cheias. (HIPÓLITO E VAZ, 2017).

2.2.1.3 Características de vegetação e tipo de ocupação.

A cobertura vegetal desempenha um papel crucial nos fenômenos hidrológicos, pois intensifica a interceptação da precipitação e retarda o escoamento superficial, promovendo uma maior infiltração de água no solo. Ao absorver parte da energia cinética das gotas de chuva, a vegetação previne a desagregação do solo e evita que partículas finas obstruam os poros, o que aumenta a permeabilidade do terreno. Além disso, a vegetação proporciona maior resistência ao escoamento superficial em comparação com solos expostos, reduzindo a erosão e contribuindo para cheias menos intensas (HIPÓLITO E VAZ, 2017).

O tipo de uso do solo, que envolve a substituição da cobertura vegetal por cultivo ou urbanização, exerce um impacto significativo nas várias etapas do ciclo hidrológico. Terrenos com florestas e matas apresentam maior infiltração e menor velocidade de escoamento superficial em comparação com terrenos cultivados. A vegetação influencia fortemente a evapotranspiração. A substituição de florestas nativas por florestas plantadas altera a interceptação, infiltração e evapotranspiração, além de afetar o equilíbrio entre diferentes espécies vegetais na mesma área. A urbanização, por sua vez, tem um impacto considerável, já que áreas antes permeáveis são transformadas em superfícies impermeáveis devido à construção de estradas e edifícios. Essa impermeabilização reduz a retenção superficial e a infiltração, aumentando o volume de escoamento superficial. O escoamento nas áreas impermeáveis ocorre mais rapidamente, resultando em cheias mais intensas e uma tendência a ocorrerem mais rapidamente em resposta à precipitação. (HIPÓLITO E VAZ, 2017).

2.2.2 Gestão de Bacias Hidrográficas

Conforme Meurer *et. al.*, (2013), as bacias hidrográficas são consideradas unidades estratégicas de gestão, pois nelas os recursos hídricos são administrados de forma integrada, levando em conta as características específicas de cada região em que cada bacia está situada. Hipólito e Vaz (2017), destaca que a gestão integrada dos recursos hídricos é essencial devido à complexidade das interações entre as diferentes utilizações da água e suas repercussões sociais, econômicas e ambientais. Essa gestão tem o objetivo de maximizar os benefícios para a comunidade, garantindo simultaneamente a sustentabilidade no uso dos recursos das bacias hidrográficas. Uma gestão eficaz dos recursos hídricos busca assegurar, tanto no presente quanto no futuro, água para consumo doméstico e público, para a produção de alimentos, para o desenvolvimento socioeconômico e para a conservação dos ecossistemas.

A gestão de bacias, conforme Piroli (2022), tem o objetivo de realizar as atividades necessárias para recuperar o que for preciso e preservar o que já está em equilíbrio. Deve também considerar a importância do equilíbrio ambiental na área para a produção de água, garantindo que esse equilíbrio favoreça o desenvolvimento de todas as atividades dependentes da água na bacia. É crucial adotar medidas de controle e gerenciamento dos recursos naturais, utilizando um modelo de gestão integrado que assegure a manutenção dos índices de qualidade e quantidade dos bens comuns da área, especialmente água, solos, flora, fauna e clima regional. A gestão deve contemplar a recuperação de áreas e elementos naturais degradados, estabelecendo metas e prazos para tal. Simultaneamente, deve levar em conta o arcabouço legal e as normas institucionais vigentes, acompanhando suas atualizações ao longo das etapas de um projeto. Um aspecto essencial da gestão de bacias é o monitoramento das condições da bacia e das transformações que nela ocorrem ao longo do tempo.

A gestão de recursos hídricos, centrada no recorte territorial das bacias hidrográficas, ganhou relevância no início da década de 1990, quando os Princípios de Dublin foram estabelecidos na reunião preparatória para a Rio-92. O Primeiro Princípio afirma que uma gestão eficaz dos recursos hídricos deve ser integrada, abrangendo todos os aspectos físicos, sociais e econômicos. Para garantir que essa

integração seja adequada, recomenda-se que a gestão seja fundamentada nas bacias hidrográficas (PORTO & PORTO, 2008).

Pirolí (2022), destaca que a gestão deve levar em conta também a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida pela Lei nº 9.433/1997, que define em seu Artigo 1º os seguintes fundamentos:

I – A água é um bem de domínio público;

II – A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III – Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV – A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V – A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI – A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

A Lei n. 9.433/1997 estabeleceu ainda o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que deu ao Brasil uma nova política de recursos hídricos e organizou o sistema de gestão, concretizou então a gestão por bacias hidrográficas.

Segundo Brasil (2023), objetivo geral do Plano é:

Estabelecer um pacto nacional para a definição de diretrizes e políticas públicas voltadas para a melhoria da oferta de água, em quantidade e qualidade, gerenciando as demandas e considerando ser a água um elemento estruturante para a implementação das políticas setoriais, sob o foco do desenvolvimento sustentável e da inclusão social. Tem como objetivos específicos assegurar a melhoria das disponibilidades hídricas, superficiais e subterrâneas, em qualidade e quantidade; reduzir os conflitos reais e potenciais de uso da água, bem como dos eventos hidrológicos críticos e por fim gerar a percepção da conservação da água como valor socioambiental relevante.

Segundo Boulomytis (2021), a evolução da situação dos recursos hídricos é registrada no Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos, elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Esse relatório oferece uma avaliação atualizada da implementação dos instrumentos de gestão, dos avanços institucionais do sistema e da política nacional de gerenciamento dos recursos hídricos.

Atualmente, no Brasil, a gestão dos recursos hídricos é organizada por bacias hidrográficas em todo o território nacional, abrangendo tanto os corpos hídricos de titularidade da União quanto dos Estados. As dificuldades associadas a essa divisão geográfica decorrem da gestão compartilhada com a administração pública, órgãos de saneamento, instituições agrícolas, e entidades de gestão ambiental, entre outros. Cada um desses setores possui uma divisão administrativa que frequentemente difere da divisão da bacia hidrográfica (PORTO E PORTO, 2008).

Diversas entidades, com o objetivo de organizar os dados hidrológicos, desenvolveram vários sistemas de delineamento e codificação de bacias, sendo a codificação proposta por Otto Pfattner — Ottocodificação — a mais destacada. Essa codificação é reconhecida por sua aplicabilidade global e facilidade de integração com sistemas de informação geográfica, visando aprimorar o gerenciamento das bacias hidrográficas e o controle das atividades humanas em áreas específicas, bem como os impactos dessas atividades em todo o sistema hídrico. A Agência Nacional de Águas adota a classificação Ottobacias para criar o sistema de codificação dos cursos d'água no território nacional, que atualmente é estruturado em sete níveis diferentes de codificação.

As águas contidas em território brasileiro foram agrupadas em 12 regiões hidrográficas, instituída pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (Figura 12), a saber: Bacia hidrográfica Amazônica; Bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia; Bacia Hidrográfica do São Francisco; Bacia Hidrográfica do Paraná; Bacia Hidrográfica do Paraguai; Bacia Hidrográfica do Uruguai; Bacia Hidrográfica do Parnaíba; Bacia Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental; Bacia Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental; Bacia Hidrográfica Atlântico Leste; Bacia Hidrográfica Atlântico Sudeste; Bacia Hidrográfica Atlântico Sul. Essas regiões hidrográficas são bacias, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas próximas, com características

naturais, sociais e econômicas similares. Essa divisão visa orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos em todo o país (BRASIL, 2023).

Os estados brasileiros e o Distrito Federal contam com órgãos específicos para a gestão dos recursos hídricos. Esses órgãos são responsáveis pela emissão de autorizações para o uso dos recursos hídricos de domínio estadual e pela fiscalização das utilizações da água. Além disso, eles planejam e promovem ações voltadas para a preservação da quantidade e qualidade das águas. Integrados ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), esses órgãos atuam de forma coordenada com os demais componentes do sistema. Sua estrutura pode variar, incluindo agências, autarquias e, na maioria das vezes, administrações diretas dos estados, como secretarias específicas ou órgãos vinculados a essas secretarias. (BRASIL, 2023).

Figura 12 - Mapa da Divisão Hidrográfica Nacional, instituída pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

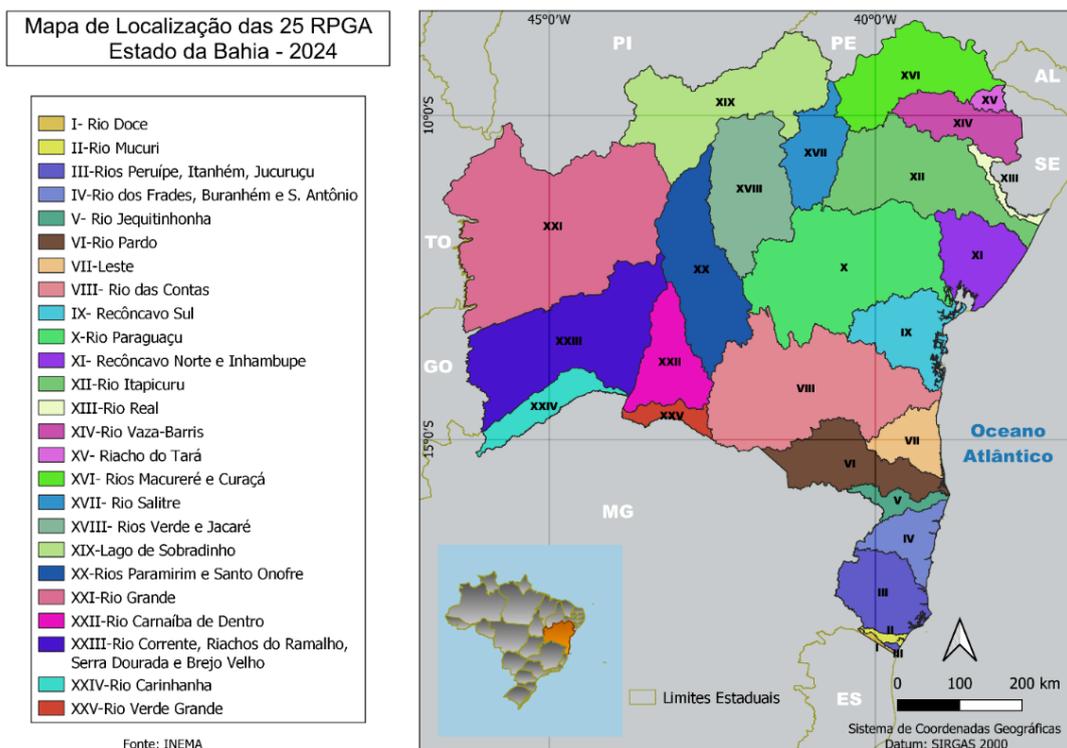


Fonte: Elaborado pelo Autor.

No estado da Bahia, a gestão dos recursos hídricos é de responsabilidade do INEMA (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos), cuja finalidade é de implementar ações e programas relacionados à Política Estadual de Meio Ambiente e Proteção à Biodiversidade, à Política Estadual de Recursos Hídricos e à Política Estadual sobre Mudança do Clima (INEMA, 2023).

As regiões hidrográficas da Bahia são oficialmente denominadas Regiões de Planejamento e Gestão das Águas (RPGA), que integram os conceitos de gestão estadual e gestão compartilhada. A gestão estadual abrange bacias, sub-bacias ou regiões hidrográficas localizadas integralmente no território baiano. Já a gestão compartilhada inclui bacias, sub-bacias ou regiões hidrográficas que atravessam mais de um estado, abrangendo rios federais. Atualmente, o estado da Bahia conta com 25 RPGA, que podem ser visualizadas no mapa da Figura 13 (INEMA, 2023).

Figura 13 - Mapa de localização das 25 RPGA - Região de Planejamento e Gestão de Águas (INEMA, 2023).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

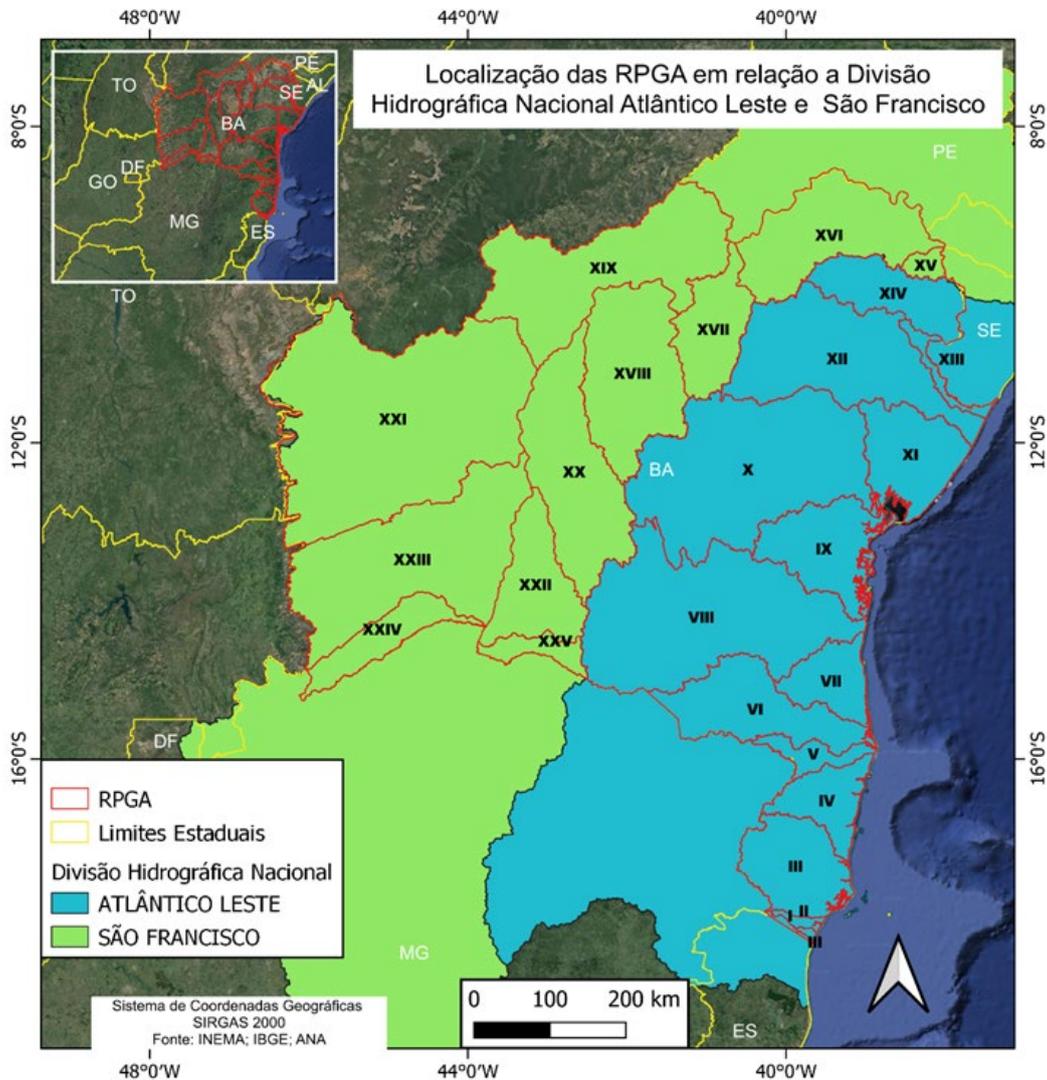
Levando em consideração a divisão hidrográfica nacional, As RPGA's estão inseridas na região hidrográfica do Atlântico Leste ou do São Francisco como descritas no Quadro 10 e apresentadas no mapa da figura 14. Essa divisão hidrográfica acompanha a evolução da gestão de águas nos territórios e deve se adequar à implementação dos instrumentos de gestão e à formação dos comitês de bacias. Na região do Rio São Francisco, duas bacias serão geridas em parceria com o Estado de Minas Gerais (Rios Carinhanha e Verde Grande) e uma com Sergipe (Rio do Tará). Já na Região Atlântico Leste, serão compartilhadas as bacias do Rio Real e Vaza Barris (com Sergipe), dos Rios Jequitinhonha e Pardo (com Minas Gerais), e do Riacho Doce (com o Espírito Santo) (INEMA, 2023).

Quadro 10 - Regiões de Planejamentos e Gestão das Águas (RPGA) divididas por Região Hidrográfica Nacional

| Região Hidrográfica Nacional do Atlântico Leste | Região Hidrográfica Nacional do Rio São Francisco |
|---|--|
| I - Riacho Doce | XV - Riacho do Tará |
| II- Rio Mucuri | XVI - Rios Macururé e Curaçá |
| III - Rios Peruípe, Itanhém e Jucuruçu | XVII - Rio Salitre |
| IV - Rios dos Frades, Buranhém e Santo Antônio | XVIII - Rios Verde e Jacaré |
| V - Rio Jequitinhonha | XIX - Lago de Sobradinho |
| VI - Rio Pardo | XX - Rios Paramirim e Santo Onofre |
| VII - Leste | XXI - Rio Grande |
| VIII - Rio das Contas | XXII - Rio Carnaíba de Dentro |
| IX - Recôncavo Sul | XXIII - Rio Corrente e Riachos do Ramalho, Serra Dourada e Brejo Velho |
| X - Rio Paraguaçu | XXIV - Rio Carinhanha |
| XI - Recôncavo Norte e Inhambupe | XXV - Rio Verde Grande |
| XII - Rio Itapicuru | |
| XIII - Rio Real | |
| XIV - Rio Vaza-Barris | |

Fonte: INEMA (2023)

Figura 14 - Divisão hidrográfica nacional e posicionamento das RPGA na região hidrográfica do Atlântico Leste ou do São Francisco.



Fonte: Elaborado pelo autor.

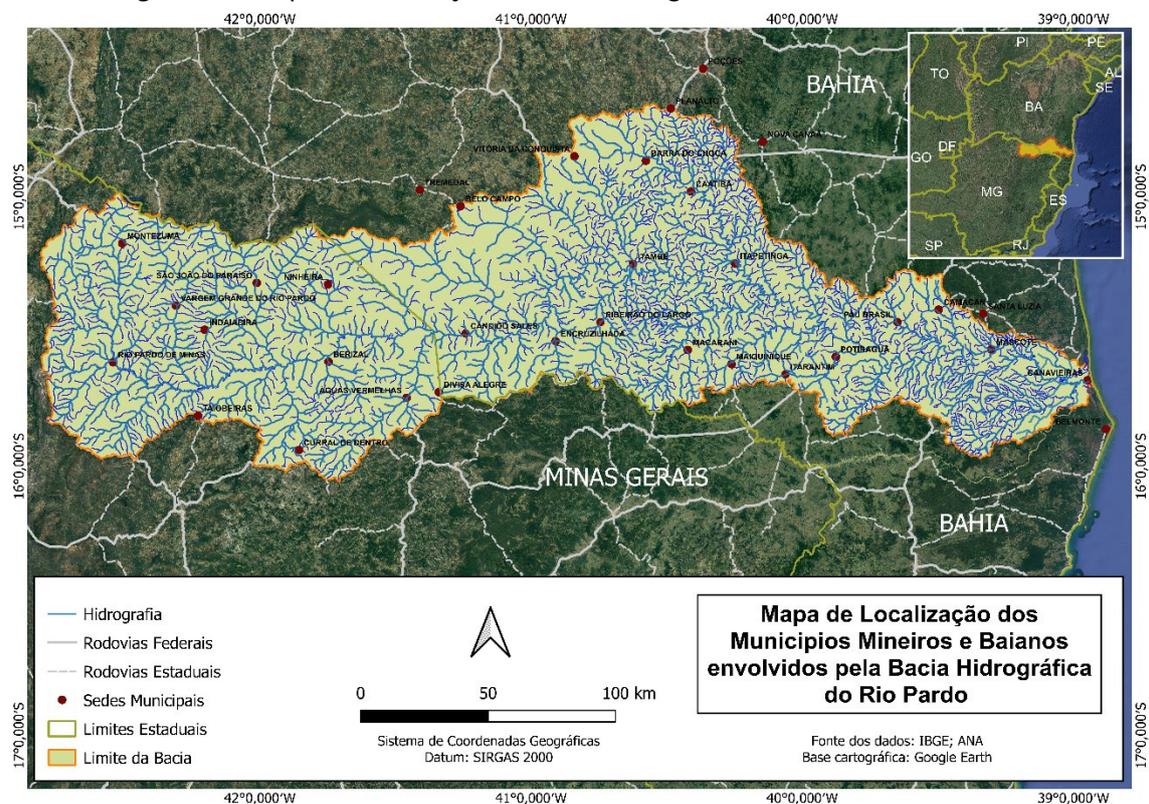
Conforme Meurer (2013), a Região Hidrográfica do São Francisco é composta por várias sub-bacias que deságuam no rio São Francisco, o qual, por sua vez, desemboca no oceano Atlântico, na divisa com os estados de Alagoas e Sergipe. Esta região abrange 503 municípios em sete unidades da Federação: Bahia, Minas Gerais, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Goiás. Por outro lado, a Região Hidrográfica Atlântico Leste inclui os estados da Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo e Sergipe. Ela cobre uma área de 386.092 km², o que corresponde a 4% do território brasileiro. Deste

total, 26% estão localizados em Minas Gerais, 1% no Espírito Santo, 69% na Bahia e 4% em Sergipe.

2.3 A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (MG/BA)

A bacia hidrográfica do rio Pardo (BHRP) está inserida na região hidrográfica do atlântico leste e abrange a porção norte de Minas Gerais (MG) e Sul da Bahia (BA) (Figura 15). Acerca dos estudos realizados na BHRP, existem vários trabalhos desenvolvidos na área sob gestão do estado de Minas Gerais. Todavia, as informações da bacia que abrange o domínio do estado da Bahia ainda carecem de estudos. As informações a respeito da BHRP (MG/BA) ora apresentada neste tópico foram obtidas principalmente de BRASIL (1999), Do Carmo (2017), Cunha et al (2019) e Cunha et al (2021).

Figura 15 - Mapa de localização da Bacia hidrográfica do rio Pardo – BHRP.



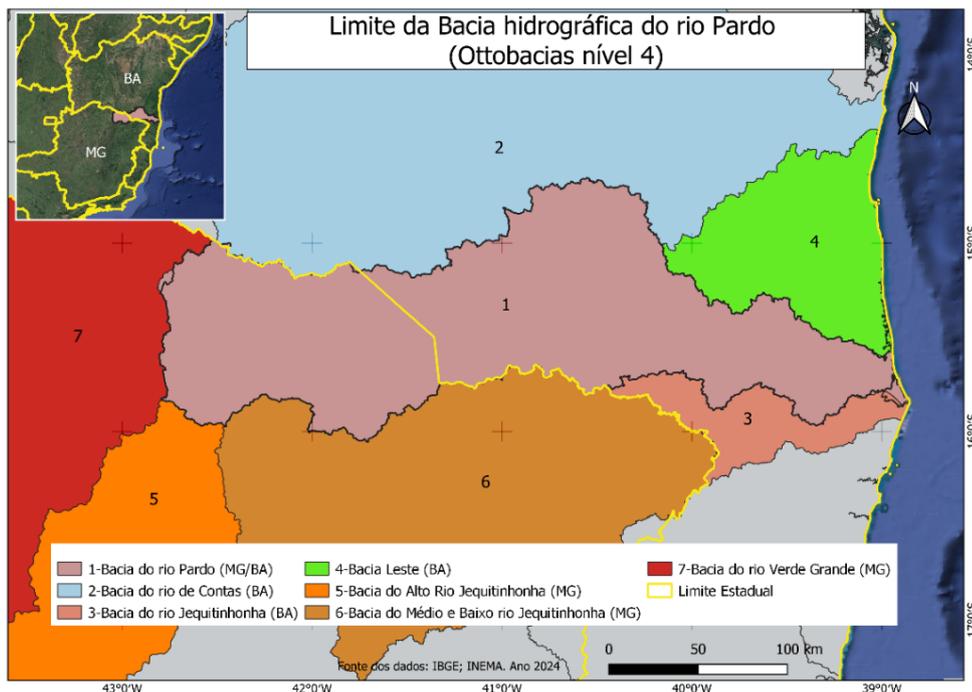
Fonte: Elaborado pelo Autor.

2.3.1 Características gerais

De acordo com BRASIL (1999) a BHRP tem sua nascente na Serra das Almas, flanco ocidental da Serra do Espinhaço, no município de Montezuma (MG), adentra em território baiano no município de Cândido Sales e continua seu percurso até desaguar no Oceano Atlântico, no município de Canavieiras, litoral sul da Bahia. Seu rio principal, o rio Pardo, escoa inicialmente, a partir de sua nascente, em sentido norte-sul até as circunvizinhanças de Rio Pardo de Minas (MG), onde inflete para oeste-leste e permanece, de uma forma geral, nesta direção, até sua desembocadura. Por ocupar a área de dois estados, ela é considerada como uma bacia hidrográfica de domínio federal e sua regulação é realizada pela Agência Nacional das Águas - ANA.

Segundo a classificação Ottobacias adotada pela Agência Nacional das Águas - ANA, a BHRP é classificada como Ottobacia nível 4, limitando com as demais Ottobacias nível 4, ao sul pela bacia hidrográfica do Alto, médio e baixo rio Jequitinhonha (no estado de Minas Gerais) e Jequitinhonha (no estado da Bahia), ao norte pelas bacias hidrográficas do rio de Contas e Leste (Bahia), a oeste pela bacia hidrográfica do rio Verde Grande (Minas Gerais) e a leste pelo oceano Atlântico (Figura 16).

Figura 16 - Limite da Bacia hidrográfica do rio Pardo – BHRP com demais Ottobacias nível 4 (INEMA, 2024).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A população que depende dos recursos da bacia é estimada em mais de 1 milhão. Só no estado da Bahia essa população corresponde a 83,2 %, enquanto no estado de Minas corresponde a 16,7 %. O quadro 11 apresenta os municípios e o quantitativo populacional que contemplam a BHRP por estado, conforme dados do censo IBGE 2022.

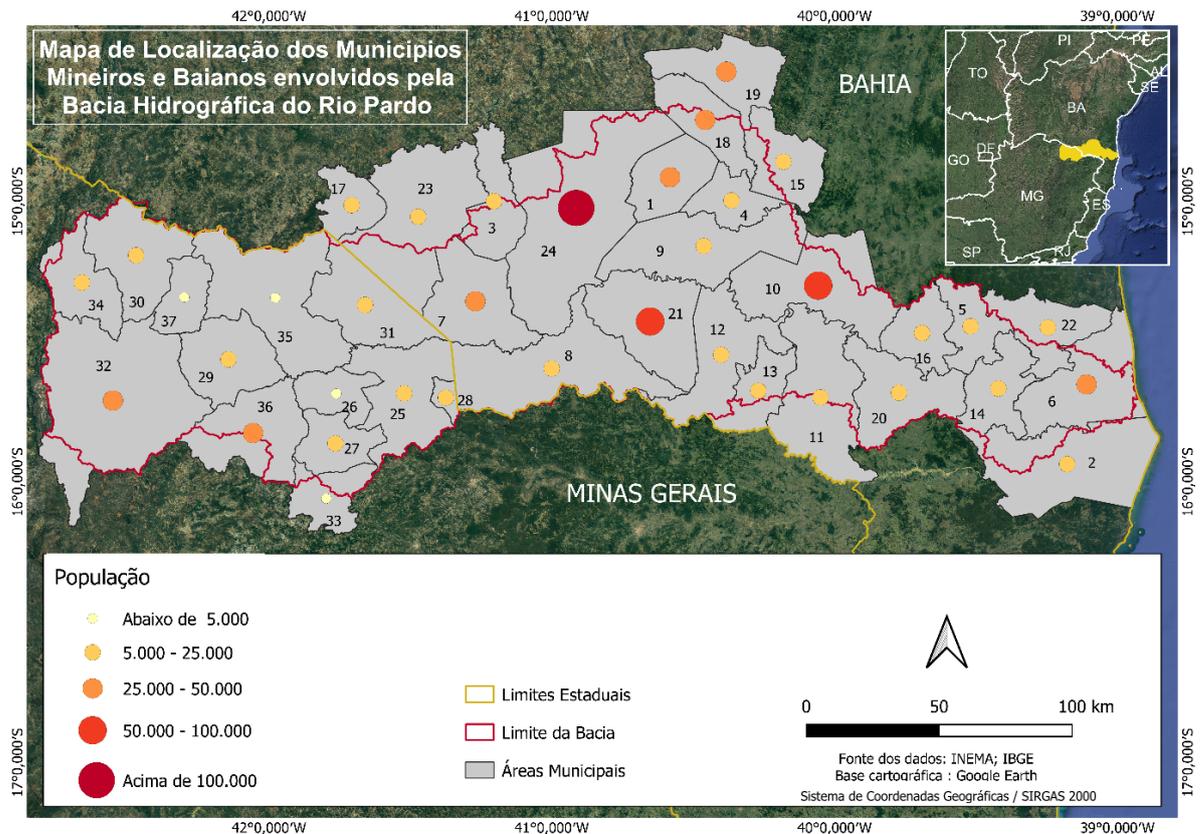
Quadro 11 - Municípios e quantitativo populacional envolvidos pela BHRP (IBGE, 2022).

| BAHIA | | | MINAS GERAIS | | |
|------------------------|----------------------|---------------|------------------------|----------------------------|---------------|
| MUNICÍPIO | POPULAÇÃO | | MUNICÍPIO | POPULAÇÃO | |
| 1 | BARRA DA CHOÇA | 36539 | 25 | ÁGUAS VERMELHAS | 14037 |
| 2 | BELMONTE | 20121 | 26 | BERIZAL | 4201 |
| 3 | BELO CAMPO | 18412 | 27 | CURRAL DE DENTRO | 7406 |
| 4 | CAÁTIBA | 6205 | 28 | DIVISA ALEGRE | 6321 |
| 5 | CAMACÁ | 22578 | 29 | INDAIABIRA | 6346 |
| 6 | CANAVIEIRAS | 32683 | 30 | MONTEZUMA | 6888 |
| 7 | CÂNDIDO SALES | 25247 | 31 | NINHEIRA | 10588 |
| 8 | ENCRUZILHADA | 19107 | 32 | RIO PARDO DE MINAS | 28271 |
| 9 | ITAMBÉ | 24394 | 33 | SANTA CRUZ DE SALINAS | 3910 |
| 10 | ITAPETINGA | 65897 | 34 | SANTO ANTÔNIO DO RETIRO | 6629 |
| 11 | ITARANTIM | 17052 | 35 | SÃO JOÃO DO PARAÍSO | 3971 |
| 12 | MACARANI | 21599 | 36 | TAIOBEIRAS | 33050 |
| 13 | MAQUINIQUE | 8731 | 37 | VARGEM GRANDE DO RIO PARDO | 4633 |
| 14 | MASCOTE | 13544 | | | |
| 15 | NOVA CANAÃ | 13715 | | | |
| 16 | PAU BRASIL | 9370 | | | |
| 17 | PIRIPÁ | 9152 | | | |
| 18 | PLANALTO | 26426 | | | |
| 19 | POÇÕES | 48293 | | | |
| 20 | POTIRAGUÁ | 10274 | | | |
| 21 | RIBEIRÃO DO LARGO | 54010 | | | |
| 22 | SANTA LUZIA | 13769 | | | |
| 23 | TREMEDAL | 16296 | | | |
| 24 | VITÓRIA DA CONQUISTA | 370868 | | | |
| POPULAÇÃO TOTAL | | 904282 | POPULAÇÃO TOTAL | | 136251 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme Cunha et al (2021), a BHRP (MG/BA) possui 782 km de comprimento, dos quais 334 km encontra-se em território mineiro e 448 km em território baiano. Possui área total de 32.982 km², sendo 12.828 km² em Minas Gerais e 20.154 km² na Bahia, perpassando 37 municípios, dos quais 13 são mineiros e 24 baianos (Figura 17).

Figura 17 - Mapa de localização dos 37 municípios envolvidos pela BHRP.



Fonte: Mapa elaborado pelo Autor.

Os principais afluentes da margem direita são os rios Itaperaba, Mosquito, Ribeirão do Largo, Mangerona, Pateirão, Macarani, Maiquinique, Córrego Angelim, Braço do Sul, Braço do Norte e Salsa. Na margem esquerda, destacam-se os rios Muquém, São João do Paraíso, Catolé Grande, Panelão, Ribeirão do Salitre, Ribeirão da Vereda, Ribeirão da Jibóia, Córrego Angicos, Córrego Brejaubinha e Córrego Panela. O padrão geral de drenagem é dendrítico e subdendrítico, com trechos influenciados por falhamentos. A rede de drenagem é predominantemente formada por afluentes perenes, enquanto o rio Pardo geralmente corre sobre um leito pedregoso e plano, formando em alguns trechos vales com formatos em “U” ou “V” (BRASIL, 1999).

A Bacia Hidrográfica do rio Pardo (MG/BA) é subdividida nos trechos alto, médio e baixo. O Alto Pardo inicia na nascente do curso principal da bacia, em Montezuma (MG), e segue até a enseada do reservatório Machado Mineiro, no município de Águas Vermelhas - MG; o Médio Pardo tem início na barragem do

reservatório Machado Mineiro e segue até o município de Itapetinga (BA); o Baixo Pardo, por sua vez, segue depois de Itapetinga (BA) até a foz, em Canavieiras (BA) (CUNHA et al, 2021).

De acordo com o mapeamento realizado por BRASIL (1999), a região do alto-médio Pardo apresenta altitudes geralmente entre 750 e 900 metros, com relevo relativamente uniforme e topografia aplanada, exceto pela Serra do Periperi, ao norte de Vitória da Conquista, que possui altitudes entre 1.000 e 1.100 metros. Esta área da bacia está submetida a um clima que varia de subúmido a semiárido, com precipitações anuais entre 700 e 900 mm. A vegetação predominante é a Floresta Decidual, com alguns trechos adjacentes ao Cerrado, apresentando áreas amplamente devastadas e substituídas por pastagens, vegetação secundária e áreas de reflorestamento. Nas regiões de Macarani, Encruzilhada e Itambé, a altitude varia de 800 a 500 metros e o relevo é mais acidentado, com precipitações entre 900 e 1.100 mm. A porção do médio-baixo curso do rio Pardo é caracterizada por uma superfície deprimida, com altitudes entre 200 e 300 metros, circundada por relevos residuais, como a Serra do Couro d'Anta e a Serra do Macarani, que são frequentemente dissecados em colinas e morros, às vezes rochosos. Essa área é afetada por um clima que varia de subúmido a semiárido, com precipitações médias anuais em torno de 950 mm. No baixo curso do rio Pardo, as altitudes geralmente variam entre 100 e 300 metros. No entanto, na região de Palmeira, Pau Brasil e Arataca, o relevo é intensamente acidentado, com altitudes que variam rapidamente entre 200 e 800 metros. Esta área está sujeita a um clima úmido, com precipitações pluviométricas elevadas, variando de 1.100 a 1.600 mm anuais, que favorecem o crescimento da Floresta Ombrófila Densa e a cultura do cacau. Próximo à costa, predominam as planícies marinhas e fluviomarinhas, situadas pouco acima do nível da preamar, com vegetação de Floresta Aluvial, manguezais e restingas, e precipitações superiores a 1.500 mm anuais. De acordo com Santos (2017), a precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo varia ao longo da bacia, com médias anuais que vão de 703,72 mm na região central a 1.325,05 mm próximo à foz. Na parte oeste, a precipitação se concentra no verão, enquanto na parte leste da bacia o volume de chuva é mais distribuído ao longo do ano.

2.3.2 Aspectos hidrológicos

Estudos sobre o potencial hidrológico realizados por BRASIL (1999) indicam que a capacidade de geração de água superficial, a partir das precipitações pluviais, na bacia do rio Pardo é, em média, de 216.694,6 m³/km²/ano. Em anos mais úmidos, essa capacidade pode atingir 361.876,2 m³/km²/ano, enquanto em anos menos favoráveis é reduzida a 71.315,5 m³/km²/ano. As precipitações pluviométricas na bacia diminuem de jusante para montante, com totais anuais variando de 1.600 a 600 mm. À medida que a precipitação diminui, o impacto pluvial torna-se mais concentrado. A maior parte da bacia de captação do alto rio Pardo está coberta por uma camada sedimentar detrítica terciário-quadernária, composta principalmente por depósitos eluvionares e coluvionares, com predominância de materiais arenosos e níveis conglomeráticos, que são sobrepostos diretamente às rochas do embasamento cristalino. Esses sedimentos têm baixa capacidade de infiltração e acumulação de água subterrânea. As chuvas torrenciais no alto e médio curso do rio Pardo e seus afluentes são retidas por esses sedimentos arenosos e, durante o período seco, alimentam a drenagem superficial, garantindo a perenidade do fluxo hídrico do rio Pardo.

Cunha *et. al.* (2021) enfatiza que o rio Pardo apresenta grande diversidade hidrológica ao longo do seu curso. Exemplificando que em anos de baixa precipitação, o rio deixa de correr em alguns meses em suas porções Alto e Médio. O que dificulta o conhecimento preciso da quantidade de água no rio durante todo o tempo, agravado ainda pelo reduzido número de estações que medem a quantidade de água no rio. Na avaliação da disponibilidade hídrica do Alto e Médio Pardo o autor reforça que é preciso considerar que o fluxo de água contínuo no período de chuvas permite a acumulação nas depressões naturais do seu leito. Contudo, as primeiras chuvas não garantem o escoamento contínuo das águas, uma vez que servem ao enchimento de depressões naturais, do reservatório de Machado Mineiro e de diversos pequenos barramentos construídos no rio e nos afluentes, bem como para o encharcamento do solo. O Alto e o Médio pardo possui baixa disponibilidade hídrica e são mais sensíveis aos usos da água e suas quantidades do que o Baixo Pardo, de maior disponibilidade, mas também bastante impactado. No Médio Pardo, a irrigação de grandes cafezais eleva o uso das águas e torna-se o principal problema, uma vez que impacta o abastecimento público e a necessidades dos ribeirinhos, sobretudo nos típicos meses

de estiagem. Junta-se ainda os milhares de hectares de mata nativa derrubados para a ampliação da monocultura de eucaliptos agravando a escassez de água na região.

Cunha *et al.* (2019), relata que 89,5% do volume das águas outorgadas pela ANA é destinado à irrigação, enquanto apenas 8,7% são usados para abastecimento humano e 0,5% para esgotamento sanitário (Figura 2.4.4). Foram identificadas 10 atividades agrícolas com registros de outorga na ANA, destacando-se o café, que representa 72,1% do volume utilizado, seguido pelo milho com 11,5%. A produção de capim e pasto irrigado também é significativa, com 7,0%.

Cunha *et al.* (2019), aponta que os dados de outorgas da ANA na Bacia hidrográfica do Rio Pardo tiveram 57 emissões de outorgas em Minas Gerais e 54 na Bahia, totalizando 111 outorgas, das quais mais de 50% foram autorizadas. Na Bahia, há 38 outorgas para irrigação, concedidas a 28 irrigantes, com um controle de 36.710.006 m³/ano. Para o abastecimento público de seis municípios, que atendem 37.837 domicílios com rede geral de distribuição, são outorgados 5.323.237 m³/ano. Em Minas Gerais, foram concedidas 35 outorgas para 32 irrigantes, com um volume controlado de 28.094.562 m³/ano, e para o abastecimento público de três municípios, que atendem 5.670 domicílios, são outorgados 942.076 m³/ano. Desta forma, na Bacia do Rio Pardo, 64.804.568 m³/ano são destinados à irrigação, enquanto apenas 6.265.313 m³/ano são utilizados para abastecimento público. Esse cenário evidencia que a irrigação consome 10 vezes mais água do que os mais de 43 mil domicílios abastecidos pelo rio nos dois estados. Além disso, o autor destaca que o uso intensivo das águas do Pardo está associado à existência da Barragem de Machado Mineiro, cuja gestão prioriza as necessidades dos irrigantes, além dos 21 mini barramentos particulares.

Para Cunha *et al.* (2021), os problemas enfrentados pela bacia vão além do uso inadequado de suas águas. O desmatamento tem causado impactos significativos, aumentando a destruição da cobertura vegetal nativa. Originalmente, a Bacia Hidrográfica do Rio Pardo estava predominantemente situada no bioma Mata Atlântica, onde havia uma grande diversidade de espécies vegetais e várias formações florestais. Na porção mineira da bacia, a taxa de desmatamento da Mata Atlântica é superior a 70%, com o bioma Cerrado apresentando uma situação semelhante. No trecho baiano da bacia, a degradação é ainda mais grave,

principalmente devido à expansão de latifúndios pecuários no sudoeste do estado e ao não cumprimento dos percentuais mínimos de preservação da vegetação nativa, resultando na maior taxa de desmatamento, que chega a 80%.

Conforme Sampaio e Vargas (2011), o uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo são dominados por urbanização, pecuária, agricultura, atividades industriais e mineração. As principais utilizações da água do rio Pardo incluem irrigação, abastecimento público para fins urbanos e rurais, pesca artesanal, piscicultura, dessedentação de animais, recepção de efluentes industriais e domésticos, recreação e navegação na foz do rio, bem como lazer e turismo na área litorânea. Os autores ainda ressaltam que as principais fontes de poluição dos recursos hídricos na bacia provêm das atividades agrícolas e de pastagem, que causam processos erosivos e consequente assoreamento dos rios, afetando a qualidade da água. Além disso, as atividades urbanas e industriais contribuem para a poluição dos corpos d'água ao introduzir substâncias nocivas que podem alterar a qualidade da água.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho, os procedimentos metodológicos foram estruturados em quatro (4) etapas como apresentado na figura 18. A primeira etapa consistiu em uma revisão de literatura, abordando conceitos sobre os sistemas de informações geográficas, bacias hidrográficas e gestão de bacias, consultados principalmente em livros, dissertações, artigos e teses. Incluiu-se ainda uma revisão mais específica sobre as características gerais e dos aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Pardo (MG/BA), buscando informações já existentes acerca de suas características físicas e socioeconômicas, através de artigos, dissertações, relatórios e publicações em sites com conteúdo vinculados a gestão da BHRP.

Na segunda etapa foi realizada a **aquisição dos dados**, os quais foram do tipo vetoriais, raster, o qual incluiu o MDE da bacia obtidos principalmente dos geoportais das instituições públicas nacionais e internacionais que disponibilizam esses dados gratuitamente. Todo o material adquirido foi salvo em pasta específica em computador pessoal e organizada de acordo com o formato (raster, vetorial e arquivos de tabelas).

Na etapa três (3) foram armazenados os dados obtidos na etapa anterior e estruturadas por camadas dentro do software SIG para posterior tratamento, manipulação e elaboração dos produtos cartográficos referentes a **caracterização ambiental** (geologia, geomorfologia, pedologia, clima, bioma, vegetação e uso e ocupação das terras), **caracterização morfométrica** e cálculo dos parâmetros morfométricos da bacia.

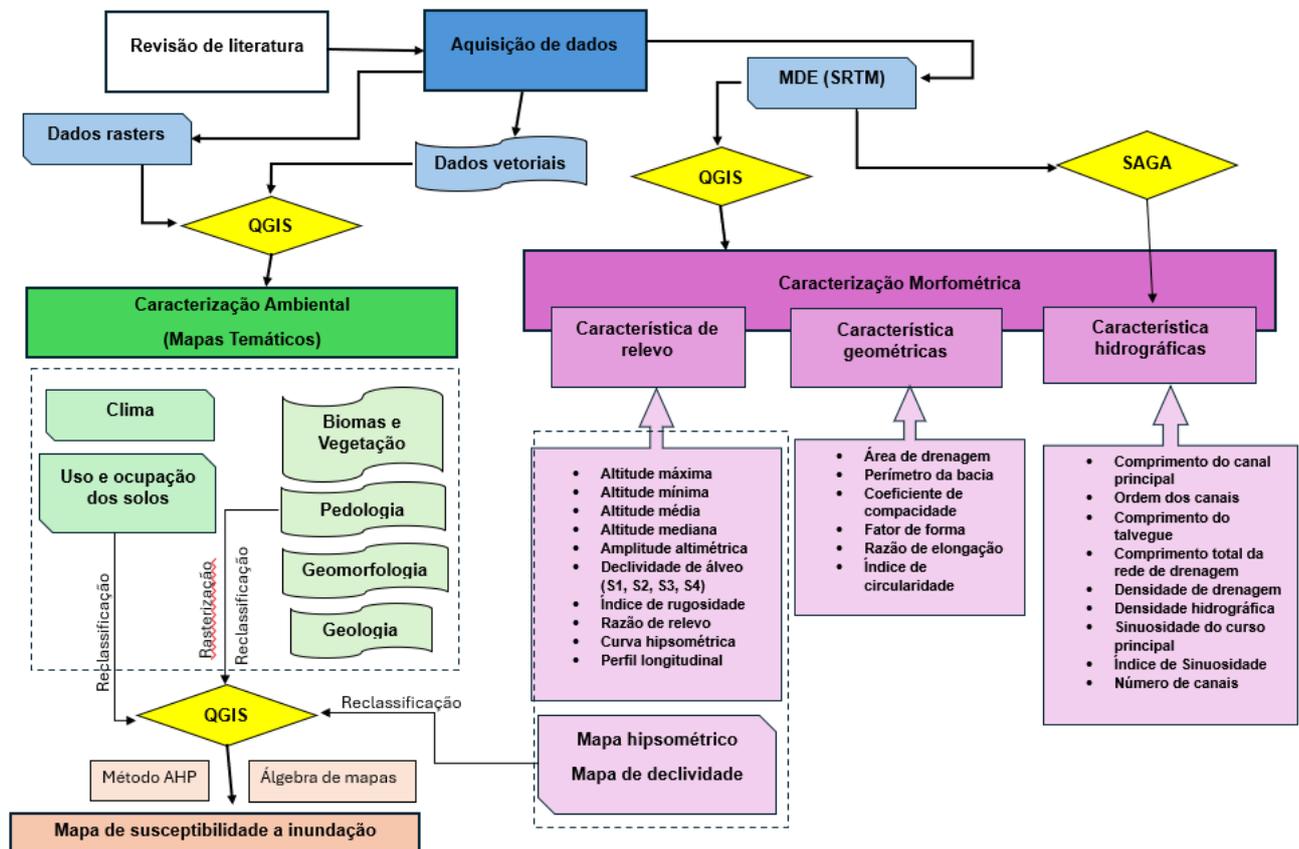
Por fim, as informações das caracterizações ambientais e morfométricas subsidiaram a etapa quatro (4) com o **desenvolvimento de um mapa de susceptibilidade a inundações com uso do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e de análise multicritério.**

O software QGIS versão 3.28.5, com uso dos complementos GRASS, foi utilizado como ferramenta de geoprocessamento no armazenamento, tratamento e manipulação dos dados vetoriais e raster, manipulação do Modelo Digital de Elevação e na elaboração da cartografia digital dos elementos físicos e ambientais e cálculos

dos parâmetros morfométricos e hidrológicos. Foi utilizado ainda o software SAGA GIS versão 9.3.1 para cálculos de alguns parâmetros morfométricos, além do uso de planilha eletrônica.

O equipamento utilizado foi um notebook com tela de 12", processador Intel Core (TM) i5, 12ª geração, com 16 GB e sistema operacional de 64 bits.

Figura 18 - Fluxograma para desenvolvimento do trabalho.



Fonte: Elaborado pelo Autor

3.1 Aquisição de dados

A aquisição dos dados se deu através de consultas a sites e geoportais de instituições públicas geradoras de dados espaciais e não-espaciais disponibilizados sem custos para o usuário.

O quadro 12 apresenta as informações dos dados adquiridos na seguinte ordem: tema, formato, escala ou resolução, no caso dos dados raster, e nome da instituição geradora do dado.

Quadro 12 - Dados obtidos para desenvolvimento do trabalho.

| Dados | Formato | Escala | Fonte |
|---|----------|------------|----------------|
| Bacias hidrográficas do Brasil (BHB250) | Vetorial | 1:250000 | IBGE |
| Bacias hidrográficas otto nível 4 (estado da Bahia), | Vetorial | 1:50000 | INEMA-BA |
| Base hidrográficas Ottocodificada (BHO250), | Vetorial | 1:250000 | ANA |
| Base rodoviária estadual | Vetorial | 1:1000000 | INDE |
| BR_Municipios | Vetorial | 1:1000000 | IBGE |
| BR_UF (Unidades da Federação) | Vetorial | 1:1000000 | IBGE |
| Clima | Vetorial | 1:5000000 | IBGE |
| Divisão Hidrográfica Nacional (DHN250), | Vetorial | 1:250000 | IBGE |
| Geologia | Vetorial | 1:250000 | IBGE |
| Geomorfologia | Vetorial | 1:250000 | IBGE |
| MDE (SRTM) | Raster | 30 metros | OpenTopography |
| Mapa de classificação Climática Koeppen para o Brasil | Raster | 100 metros | IPEF |
| Países América do Sul | Vetorial | 1:1000000 | ANA |
| Pedologia | Vetorial | 1:250000 | IBGE |
| Subsistema Rodoviário Federal SNV | Vetorial | 1:1000000 | INDE |
| Trechos de drenagem estado da Bahia | Vetorial | 1:50000 | INEMA-BA |
| Unidades hidrográficas estaduais | Vetorial | 1:1000000 | ANA |
| Uso e ocupação do solo | Raster | 30 metros | Mapbiomas |
| Vegetação | Vetorial | 1:250000 | IBGE |

Fonte: Elaborado pelo Autor

3.2 Caracterização Morfométrica

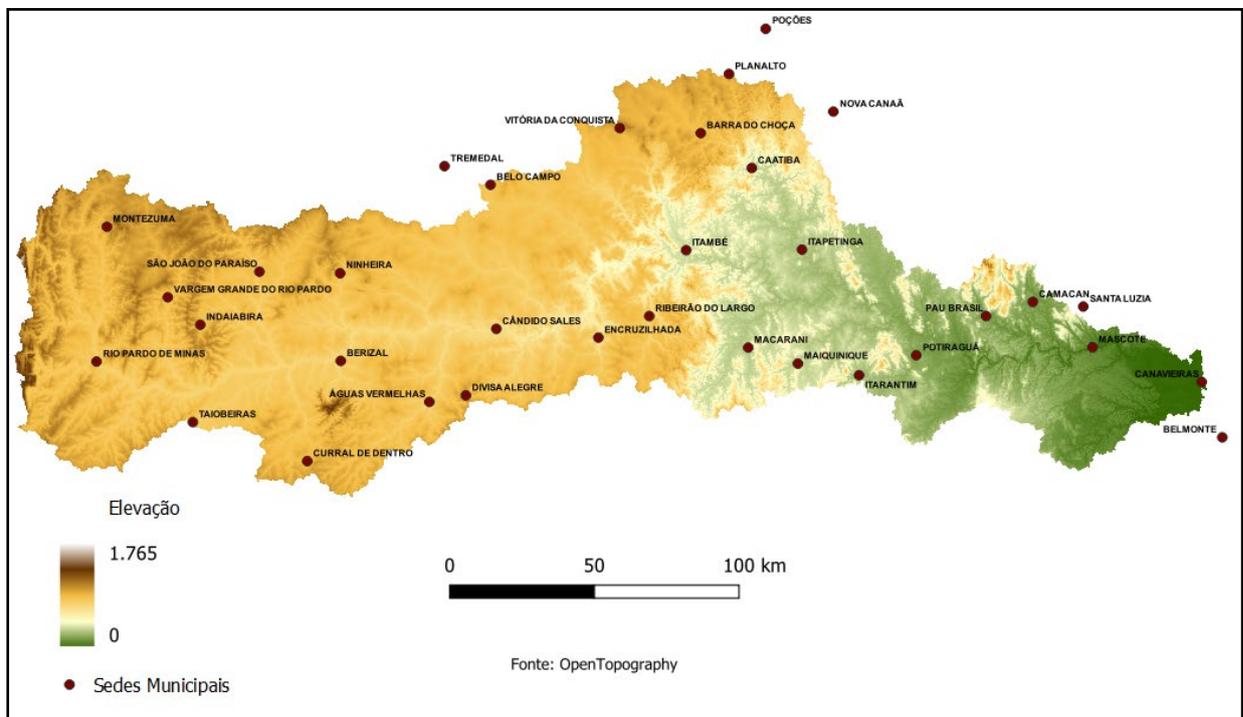
3.2.1 Parâmetros Morfométricos

Os parâmetros morfométricos obtidos para a caracterização da bacia hidrográfica foram divididos em características geométricas, características hidrográficas e características de relevo.

Para obtenção dos dados morfométricos foi utilizado o MDE (SRTM 30 m, EPSG - 4326) adquirido diretamente do plugin *OpenTopography* do QGIS. O SRTM é uma missão de levantamento baseada em radar de abertura sintética aerotransportado. Além do MDE SRTM de 30 metros, o plugin do OpenTopography disponibiliza de forma gratuita vários modelos digitais de elevação, tais como SRTM (90 m), ALOS World 3D (30m), Copernicus Global DSM (90 m e 30 m) e NASADEM Global DSM. A utilização desse plugin requer um cadastro no OpenTopography através do link: <https://opentopography.org/> para ter acesso a uma chave API e assim conseguir baixar os modelos digitais de elevação.

A figura 19 representa o MDE disponibilizado pelo plugin do *OpenTopography* com recorte da bacia e o posicionamento de alguns dos principais municípios envolvidos pela bacia em estudo.

Figura 19 - MDE – SRTM obtido por meio do plugin OpenTopography com recorte da bacia e posicionamento dos municípios envolvidos pela área da bacia.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os cálculos dos parâmetros morfométricos da bacia por meio do QGIS utilizou o complemento GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*) e o software SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*), versão 9.3.1. Foi utilizado ainda como recurso a calculadora de campo do QGIS e a régua de interface do QGIS para medições em tela. Fez-se uso ainda de planilha eletrônica para obtenção de alguns cálculos e gráficos.

3.2.1.1 Características geométricas

Os procedimentos a seguir tiveram o objetivo inicial de obter os parâmetros morfométricos da BHRP que são subsídios para a caracterização geométrica da bacia. Vale ressaltar que os arquivos de bacias e hidrografias obtidos nas instituições públicas no formato shapefile já vem com alguns parâmetros na tabela de atributos que podem ser utilizados sem a necessidade de gerar automaticamente esses parâmetros. Contudo para proposta deste trabalho, e para possíveis comparações com os dados fornecidos pelas instituições, foi executado no QGIS, com os complementos GRASS e o software SAGA, o cálculo desses parâmetros já mencionados e descritos na seção 2.2.1.

A respeito do MDE (SRTM, 30m) obtido, este é originalmente fornecido com sistemas de coordenadas geográficas e Datum WGS-84. Recomenda-se fazer uma reprojeção do MDE para projeções com sistema de unidades métricas. Como a BHRP está inserida em dois fusos UTM (23S e 24S), foi realizada a reprojeção para de Albers com parâmetros do IBGE no Datum SIRGAS 2000. A Projeção de Albers com os parâmetros do IBGE não possuem um código EPSG (*European Petroleum Survey Group*) definido que possa ser utilizado no QGIS. Para fazer uso desta projeção, foi necessário inserir no QGIS os parâmetros no formato WKT (well know text). Criou-se um SRC personalizado com o código EPSG 100001 com os parâmetros obtido em IBGE (2023).

Parâmetros WKT:

```
PROJCS["Conica_Equivalente_de_Albers_Brasil",  
GEOGCS["GCS_SIRGAS2000",  
DATUM["D_SIRGAS2000",
```

```

SPHEROID["Geodetic_Reference_System_of_1980",6378137,298.2572221009113]],
PRIMEM["Greenwich",0],
UNIT["Degree",0.017453292519943295]],
PROJECTION["Albers"],
PARAMETER["standard_parallel_1",-2],
PARAMETER["standard_parallel_2",-22],
PARAMETER["latitude_of_origin",-12],
PARAMETER["central_meridian",-54],
PARAMETER["false_easting",5000000],
PARAMETER["false_northing",10000000],
UNIT["Meter",1]]

```

Essa reprojeção para um sistema de projeção métrica no MDE para uso do complemento GRASS se faz necessário, pois o funcionamento dos algoritmos internos do GRASS é configurado para cálculos em unidades do sistema métrico.

Após a reprojeção, foi feita correções para eliminar células que estão com valores negativos ou por depressões, utilizando interpolações com células vizinhas com o uso da função **r.fill.dir**. A correção das células espúrias é o tratamento realizado pelo algoritmo para preencher as falhas na elevação tornando o arquivo em um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC).

Para delimitação da área da bacia utilizou primeiramente o algoritmo **r.watershed** com auxílio do MDE para obter as direções de drenagem e acumulação do fluxo. Este algoritmo permite gerar dois importantes arquivos em formatos raster, um de direção das drenagens e o outro do fluxo acumulado, o qual define o rio principal da bacia. Em seguida foi utilizada a ferramenta **r.water.outlet** para a delimitação automática da bacia. Antes de delimitar é necessário identificar as coordenadas do ponto onde está localizado o exutório da bacia. Pois são necessárias para executar o comando e obter uma delimitação mais coerente.

Realizado o processo anterior, os parâmetros acima foram gerados em formato raster. Com auxílio da função **r.to.vect** foi possível gerar os arquivos no formato vetorial da área da bacia. A partir deste arquivo vetorial, foi extraído os valores geométricos de área (A) e perímetro (P) da bacia, utilizando a função **\$area** e **\$perimeter** da calculadora de campo do QGIS. Nesta etapa também foi calculado o comprimento axial da bacia (La), utilizando a função medir disponível na caixa de

ferramenta do QGIS. Ressalta-se que há várias formas de se obter esse parâmetro, optou-se pelo procedimento de medir o comprimento do rio principal em linha reta, ou seja, desconsiderando as sinuosidades (L_a). Nesta etapa, portanto, com os valores de área, perímetro e eixo axial da bacia foi possível obter os seguintes parâmetros:

- coeficiente de compacidade (K_c),
- fator de forma (K_f),
- razão de alongação (R_e)
- índice de circularidade (I_c).

3.2.1.2 Características hidrográficas

Para o cálculo dos parâmetros da rede de drenagem foi usado o software SAGA-GIS, principalmente para obter a hierarquização fluvial. Nesse software foi utilizado o algoritmo **order strahler**, o qual classifica todos os pixels do MDE de acordo com a ordem de Strahler fornecendo em formato raster a rede de drenagem e as ordens Strahler dos rios. O resultado do algoritmo forneceu as ordens dos rios com valores de pixels de 0 a 10, sendo os trechos de água do MDE com as menores ordens de classificação de pixels possuindo as mais baixas acumulações. O algoritmo usado para gerar a ordem dos rios, entretanto, cria vários escoamentos superficiais, incluindo os escoamentos que correspondem a *pixels* com acumulação de fluxo hídrico ainda insuficiente para gerar rios. Necessário então haver uma confrontação dos dados com a realidade para definir um limiar que torne os valores de ordem mais aproximado da realidade a partir do qual passa a existir a maioria dos rios da área. Utilizou-se como confrontação o mapa Google Terrain, que pode ser baixado a partir do *plugin QuickMapService*. Foi então considerado para a bacia de estudo os valores de pixels com ordem maior e igual a 5, excluindo todos os pixels inferior (0 a 4). Em seguida fez uma reclassificação manual de forma a obter a ordem dos rios de 1 a 5.

A partir do raster reclassificado para ordem de Strahler 1 a 5 foi criada uma camada vetorial utilizando o método de digitalização, conforme a ordem dos rios da camada raster. Para isso utilizou-se a ferramenta de vetorização contínua da barra de ferramentas de vetorização do QGIS. Foi necessário também nesse procedimento

confrontar as ordens de Strahler com os rios no google Terrain para corrigir inconsistências calculada pelo algoritmo.

Criada a camada vetorial de ordem Strahler foi possível então obter a quantidade de canais (N), o comprimento de todos os canais, bem como definir o rio principal. Os comprimentos foram obtidos através da calculadora de campo usando a função **\$length**. O somatório dos comprimentos de todos os cursos d'água foi obtido utilizando a planilha eletrônica Excel. Nesta etapa foi obtido o valor do comprimento do talvegue (L_{talv}) traçando uma linha reta a partir da nascente até a foz do rio principal. A partir dos dados de ordenamento dos canais e a obtenção do valor do comprimento do rio principal (L) foi possível realizar os cálculos dos parâmetros das seguintes características hidrográficas:

- densidade de drenagem (Dd),
- densidade hidrográfica (Dh),
- sinuosidade do curso principal (S),
- índice de sinuosidade (Is)

3.2.1.3 Características do relevo

As características do relevo, que relacionam as principais medidas do comportamento das altitudes e declividades na bacia, serão determinadas a partir do MDE utilizando procedimentos básicos e algoritmos disponíveis no QGIS, rotinas em planilha Excel e aplicação direta das medidas obtidas em suas respectivas equações.

Os parâmetros e elementos a serem obtidos nesta etapa serão:

- perfil longitudinal
- declividade de álveo (S₁, S₂, S₃ e S₄).
- curva hipsométrica
- Índice de rugosidade
- Razão de relevo
- mapa hipsométrico
- mapa de declividade

O perfil longitudinal do rio foi obtido com utilização da camada vetorial do rio principal juntamente com a camada raster do MDE utilizando algoritmos da caixa de processamento do QGIS. Foi gerado pontos equidistantes de 50 km em 50 km ao longo da geometria da feição da camada vetorial utilizando o algoritmo **ponto ao longo da geometria**. Utilizou-se o algoritmo **amostrar valores do raster** para obter as altitudes dos pontos ao longo do rio principal. Com auxílio do complemento de planilha eletrônica foi gerado o perfil longitudinal com os valores das distâncias e altitudes obtidos anteriormente. Os valores de altitudes máximas (Hmax), mínimas (Hmin), altitude média (Hm) e mediana (Hmd) foi obtido através do algoritmo **estatísticas zonais**, onde foi utilizado a camada vetorial do limite da bacia e o raster MDE (SRTM). O valor da amplitude altimétrica (ΔH) foi obtido da diferença entre os valores de altitude máxima e mínima, aplicando a equação 13.

As declividades médias de álveo S₁, S₂, S₃ e S₄ foram obtidas a partir dos valores de altitudes e distância do perfil longitudinal, utilizando respectivamente as equações 12, 13, 14 e 15. Foi utilizada a planilha eletrônica Excel para geração dos cálculos e gráficos das declividades.

A curva hipsométrica foi obtida utilizando o algoritmo **curvas hipsométricas** da ferramenta de processamento do QGIS. O algoritmo calcula as curvas hipsométricas a partir do MDE. No fim da execução é fornecida os valores de área e altitudes como arquivos de tabela. Utilizou-se posteriormente o software Excel para realizar o gráfico da curva hipsométrica a partir dos valores de altitudes médias do relevo, com seus respectivos percentuais de área acumulada.

O mapa hipsométrico foi elaborado através do algoritmo **r.recode** do complemento GRASS a partir do arquivo raster MDE. Para execução do algoritmo foi necessário criar um arquivo txt com regras de classificação com a seguinte estrutura:

```
0:250:1
250.000001:500:2
500.000001:750:3
750.000001:1000:4
1000.000001:1250:5
1250.000001:1500:6
1500.000001:*:7
```

Para o cálculo do índice de rugosidade foi aplicado os valores das altitudes e da densidade de drenagem, obtidos em procedimentos anteriores, diretamente na equação 17.

Para o cálculo da razão de relevo utilizou o comprimento axial da bacia e a amplitude altimétrica, estes foram aplicados diretamente na equação 18.

Para elaboração do mapa de declividade foi utilizada a camada MDE. Inicialmente foi calculada a declividade do terreno em percentagem através do algoritmo **declividade** da ferramenta raster. O resultado do processo é uma camada matricial com a declividade do terreno. Em seguida, as declividades foram reclassificadas conforme a classificação proposta pela EMBRAPA (2018), onde são definidas seis (6) faixas de declividades conforme a quadro 13:

Quadro 13 - Classes de declividades segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2018).

| Intervalo de Declividade (%) | Classe | Descrição |
|------------------------------|----------------|---|
| 0 - 3 | Plano | superfície de topografia horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos. |
| 3 - 8 | Suave Ondulado | Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjuntos de colinas e/ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50 m e de 50 m a 100 m, respectivamente), apresentando declives suaves. |
| 8 - 20 | Ondulado | Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjuntos de colinas e/ou outeiros, apresentando declives moderados. |
| 20 - 45 | Forte Ondulado | Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitudes relativas, respectivamente) e raramente colinas, com declives fortes. |
| 45 - 75 | Montanhoso | Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes. |
| > 75 | Escarpado | Áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes e escapamentos, tais como: aparados, itaimbês, frentes de cuevas, falésias, vertentes de declives muito fortes. |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A reclassificação do arquivo de declividade para as classes propostas utilizou o algoritmo **r.reclass** do complemento GRASS. Foi necessário, antes de executar o algoritmo, criar um arquivo no formato txt com regras de reclassificação com a seguinte estrutura:

```
0.0000 thru 3.0000 = 1 PLANO (0-3%)
3.0001 thru 8.0000 = 2 SUAVE ONDULADO (3-8%)
8.0001 thru 20.0000 = 3 ONDULADO (8-20%)
```

20.0001 thru 45.0000= 4 FORTE-ONDULADO (20-45%)

45.0001 thru 75.0000= 5 MONTANHOSO (45-75%)

75.0001 thru 2000.0000= 6 ESCARPADO (75% <)

End

Esse arquivo foi inserido no comando **“file containing reclass rules”** na caixa de comando do algoritmo e serviu como guia para o algoritmo realizar o fatiamento das classes de declividade. Após a execução do algoritmo, os pixels são reclassificados com valores que variam de 1 a 6.

O quadro 14 apresenta os parâmetros morfométricos, descrição e modelos matemáticos utilizados para determinação da caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pardo.

Quadro 14 - Parâmetros morfométricos e modelos matemáticos utilizados para determinação da caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pardo.

| Parâmetros | Modelo matemático | Equação | Descrição |
|---|--|--|--|
| Características geométricas | | | |
| Área de drenagem (A) | Obtido através de procedimentos no Software QGIS | - | Área plana entre os divisores de água |
| Perímetro da bacia (P) | Obtido através de procedimentos no Software QGIS | - | Perímetro da projeção horizontal da superfície da bacia hidrográfica delimitada pelo divisor de água |
| Comprimento axial da bacia (La) | Obtido através de procedimentos no Software QGIS | - | Comprimento do rio principal medido em linha reta da nascente a foz |
| Coefficiente de Compacidade (Kc) | $Kc=0,28(P/\sqrt{A})$ | Eq. (1) | Relação entre o perímetro (P) da bacia e a área da bacia (A) - (m/m ²) |
| Fator de forma (Kf) | $Kf = A/La^2$ | Eq. (3) | Relação entre a área da bacia (A) e o comprimento do eixo da bacia (La) - (m ² /m) |
| Índice de circularidade (Ic) | $Ic = 4\pi(A / P^2)$ | Eq. (4) | Relação existente entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro |
| Razão de alongação (Re) | $Re= 1,1284 (\sqrt{A} / La)$ | Eq. (7) | Relação entre o diâmetro do círculo de área igual à área da bacia e o comprimento do eixo da bacia |
| Características hidrográficas | | | |
| Comprimento do rio Principal (L) | Obtido através de procedimentos no Software QGIS | - | Comprimento do rio principal desde a cabeceira até a foz considerando a sinuosidade do rio. |
| Ordem dos rios | Obtido através de procedimentos no Software QGIS | - | Classificação hierárquica da bacia (STRAHLER, 1957) |
| Densidade de drenagem (Dd) | $Dd = Lt / A$ | Eq. (8) | Relação entre o comprimento total dos cursos d'água (Lt) de uma bacia e sua área de drenagem (A).(km/km ²). |
| Densidade de hidrográfica (Dd) | $Dh = N / A$ | Eq. (9) | Relação existente entre o número de rios (N), ou cursos d'água, e a área da bacia hidrográfica |
| Índice de sinuosidade (Is) | $Is = 100 (L - Ltalv) / L$ | Eq. (10) | Relação entre a distância da desembocadura do rio até a nascente mais distante, medida em linha reta (Ltalv), e o comprimento do rio principal. |
| Sinuosidade do rio principal (Sn) | $Sn = L / Ltalv$ | Eq. (11) | Relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento de seu talvegue, dado pela distância em linha reta da foz até a nascente |
| Características de relevo | | | |
| Perfil longitudinal | Obtido através de procedimentos no Software QGIS | - | Mostra a declividade, sendo a representação visual da relação entre a altimetria e o comprimento de determinado curso de água |
| Declividade de Álvaro (S1, S2, S3 e S4) | $S1 = \Delta H/L$; $S2 = 2.AM/L^2$; $S3 = L/[L(\sqrt{S1})]$; $S4 = H85\% - H15\% / L85\% - L15\%$ | Eq. (12); Eq. (14); Eq. (15); Eq. (16) | Relação da amplitude altimétrica e do comprimento do rio principal |
| Altitudes (Hmin; Hmáx; Hm; Hmd) | Obtido através de procedimentos no Software QGIS | - | Representa o estudo da variação da elevação dos vários terrenos da bacia com referência ao nível médio do mar. |
| Curva hipsométrica | Obtido através de procedimentos no Software QGIS | - | Representação gráfica do relevo médio de uma bacia |
| Índice de rugosidade (Ir) | $Ir = \Delta H^2 Dd$ | Eq. (17) | Produto entre a amplitude altimétrica (ΔH) e a densidade de drenagem (Dd) |
| Amplitude altimétrica (ΔHm) | $\Delta Hm = Hmáx - Hmin$ | Eq. (18) | Diferença altimétrica entre a altitude do ponto mais baixo e a altitude do ponto mais alto em qualquer lugar da divisória topográfica, também denominado de relevo máximo da bacia |
| Razão de relevo (Rr) | $Rr = \Delta Hm / La$ | Eq. (19) | Relação entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior extensão da referida bacia |

Fonte: Elaborado pelo Autor

3.3 Caracterização ambiental

3.3.1 Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Clima, Biomas, Vegetação e Uso e Ocupação das terras

Para a confecção dos mapas temáticos geológico, geomorfológico e pedologia será usada a base cartográfica no formato shapefile disponibilizada pelo IBGE na escala 1:250.000 no Datum SIRGAS 2000 com recorte para a área da bacia. Essas bases serão trabalhadas no software QGIS para a confecção dos produtos cartográficos em sistema de coordenadas geográficas.

Para o mapa de clima da bacia foi usado o dado raster com resolução de 10.000 m (pixel de 100 m x 100 m) da classificação climática de Koppen para o Brasil disponibilizado pelo IPEF. No mapa climático são identificados 12 tipos climáticos para a área do Brasil. A partir do dado original foi necessário fazer alguns procedimentos no software de SIG utilizando as ferramentas de geoprocessamento com aplicação para camada raster. Inicialmente foi feito um recorte para a bacia. Como o dado raster original possui SRC: 4326 - WGS 84, foi necessário reprojeter para a projeção SRC: 4674 - SIRGAS 2000. Em seguida foi realizada uma mudança do tipo de renderização da banda simples cinza para paletizado (valores únicos). Esse processo do software de SIG busca na camada associar cada valor existente a uma classe. A classificação resultante seguiu o padrão de cores utilizada por *Álvares et. al.*, (2013).

O levantamento dos dados de vegetação e biomas ocorreu por meio do IBGE, nas escalas 1:250 000. Os dados de uso e cobertura do solo com resolução de 30 x 30 m, foram obtidos em formato raster na plataforma MapBiomas. Os mapas temáticos com recorte no limite da bacia serão gerados utilizando ferramentas específicas através do software QGIS.

3.4 Mapeamento das áreas susceptíveis a inundações

Esta etapa teve como objetivo identificar áreas susceptíveis a inundação na área delimitada da bacia hidrográfica do rio Pardo. A metodologia adotada consistiu em vários procedimentos, os quais incluíram:

- Seleção dos fatores condicionantes à susceptibilidade a inundações,
- Reclassificação dos fatores quanto à susceptibilidade a inundações,
- Aplicação do método multicritério AHP (*Analytical Hierarchy Process*),
- Utilização de álgebra de mapas e
- Elaboração do mapa de susceptibilidade a inundações

As inundações, segundo Mira e Silva (2023), ocorrem quando a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio é superior à sua capacidade de drenagem, sendo influenciadas tanto por fatores naturais quanto antrópicos. Tais fatores impactam na capacidade de infiltração da água e no escoamento superficial.

Conforme Chicombo e Moreira (2024), os principais fatores responsáveis pela geração de inundações estão relacionados aos processos interativos entre a atmosfera, hidrosfera e litosfera e a característica geográfica da área inundada. Ainda segundo os autores, pode-se destacar como causas as condicionantes naturais a intensidade e a duração das precipitações, a morfologia dos canais fluviais e da sua planície de inundações, a condição topográfica, bem como a dinâmica de vertentes. Dentre as causas de origem antrópica, podem-se destacar as atividades de construção e urbanização, as práticas agrícolas, o desflorestamento, as mudanças do uso da terra e a manipulação dos canais de drenagem.

Os mapas de suscetibilidade à inundação, de acordo com Mira e Silva (2023), são extremamente importantes na compreensão dos eventos de inundação, por indicarem as áreas mais propícias de serem afetadas por esse fenômeno. Acrescentam ainda que o modelo de suscetibilidade à inundação serve para apresentar tendências das áreas mais susceptíveis a tais eventos, considerando o uso da terra pela sociedade.

Para Chicombo e Moreira (2024), o mapa de suscetibilidade pode ser usado para oferecer informações de alerta precoce de longo prazo para melhorar a gestão pública e preparação da sociedade civil. Permitindo esclarecer o público sobre as áreas altamente suscetíveis a inundações e subsidiar a criação e aprimoramento das políticas atuais de uso da terra para evitar danos futuros. A identificação de áreas propensas às inundações é vital para o gerenciamento da bacia hidrográfica, a fim de

se ter um desenvolvimento adequado e sustentável. Permite prever e prevenir as inundações onde elas ocorrem regularmente. O mapeamento tem o potencial de viabilizar operações de resgate, criar rotas e procedimentos de migração e planejar o futuro do uso da terra (Mahmoud e Gan, 2018 *apud* Chicombo e Moreira, 2024). Os mapas produzidos podem, ainda, auxiliar o planejamento urbano nas regiões suscetíveis (Tehrany *et al.*, 2015 *apud* Chicombo e Moreira, 2024).

3.4.1 Seleção dos fatores condicionantes à susceptibilidade a inundações

Nesta etapa foi realizada uma seleção de fatores condicionantes às inundações pela análise em quinze estudos cujo tema aborda a susceptibilidade a inundações considerando a aplicação do método AHP e uso de SIG para o mapeamento desses tipos de desastres hidrológicos. As referências foram provenientes de pesquisas no site de busca google e na plataforma google acadêmico, entre artigos, dissertações de mestrados e trabalhos de conclusão de cursos de graduação e pós-graduação (Chicombo; Moreira, 2024; Mira; Silva, 2023; Resende, 2023; Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2022; Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2023; Santos; Ferreira; Ventorini; Zacharias; Teixeira, 2022; Nascimento, 2022; Oliveira, 2021; Leal; Barbosa; Aquino, 2020; Pilger, 2020; Rodrigues, 2019; Correa, 2017; Nogueira, 2017; Resende; Marques; Oliveira, 2017; Santos et. al, 2010).

A partir da análise dos trabalhos foi verificado que os fatores declividade, hipsometria, uso e ocupação do solo e pedologia foram os fatores mais recorrentes, sendo considerados pelo menos dois deles em todos os estudos, conforme sintetizado no quadro 15. Pela recorrência, esses fatores foram utilizados neste trabalho e as suas justificativas estão sintetizadas no quadro 16.

Quadro 15 - Referências consultadas abordando estudos com principais fatores impactantes a inundações.

| Fatores | Autores, ano | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|--------------|----------------|---------------|----------------|------------------|--------------|-----------------|--------------------|-----------------------------|--|-------------------|
| | Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2023 | Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2022 | Chicombo; Moreira, 2024 | Resende; Marques; Oliveira, 2017 | Correa, 2017 | Nogueira, 2017 | Resende, 2023 | Oliveira, 2021 | Nascimento, 2022 | Pilger, 2020 | Rodrigues, 2019 | Santos et.al, 2010 | Leal; Barbosa; Aquino, 2020 | Santos ; Ferreira ; Ventorini; Zacharias; Teixeira, 2022 | Mira; Silva, 2023 |
| Declividade | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Hipsometria | x | | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Uso e Ocupação do Solo | x | x | | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Pedologia | x | x | x | x | x | | | | x | x | | | x | | |
| Precipitação | x | | | | | | | | | | x | x | | | |
| Densidade de drenagem | x | x | | | | | | | | | | | | x | |
| Distância entre corpos hídricos | x | | x | | | | | | | | | | | | |
| Densidade Urbana | | x | | | | | | | | | | | | | |
| Variabilidade espacial de precipitação | | x | | | | | | | | | | | | | |
| Índice Topográfico de umidade | | | x | | | | | | | | | | | | |
| Litologia | | | x | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Quadro 16 - Justificativas dos fatores impactantes à inundação utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

| Variáveis utilizadas para mapeamento da susceptibilidade a inundação (Magalhães et. al 2011) | | | | |
|--|---|--|---|--|
| Variáveis | Declividade | Hipsometria | Pedologia | Uso e Ocupação dos solos |
| Justificativa | Influencia diretamente no acúmulo de água no terreno. Áreas planas apresentam maiores probabilidades de sofrer inundação do que áreas escarpadas. | Influencia devido à probabilidade de inundação em áreas mais baixas e também devido à ação da lei da gravidade que direciona a água para as regiões mais baixas. | A definição dos tipos de solo existentes na região de estudo é necessária, pois cada um deles possui diferentes capacidades de infiltração e escoamento superficial da água | As áreas com maior impermeabilidade tendem a acumular mais água em superfície do que em solos com cobertura florestal por serem pouco compactados. |

Fonte: Adaptado de Pessoa Neto (2023)

3.4.2 Reclassificação dos fatores quanto à susceptibilidade a inundações

Os fatores selecionados na etapa anterior foram reclassificados seguindo um processo de associação de notas para posterior aplicação do método AHP. Foram atribuídos valores inteiros para as notas, compreendidos entre 1 e 10, tal que o valor 1 está relacionado às regiões menos suscetíveis à ocorrência de inundações e o valor 10, às mais suscetíveis. A reclassificação, segundo as notas atribuídas, foi realizada no QGIS e seguiu as notas proposta por Camprário (2017) para a classe de declividade, hipsometria, uso e ocupação dos solos e tipos de solos.

Para realizar esta etapa foi necessário converter as camadas no formato vetorial para o formato matricial, através de algoritmos específicos da ferramenta vetor do QGIS.

3.4.3 Aplicação do método multicritério AHP (*Analytical Hierarchy Process*).

Problemas ambientais que requerem análise espacial para alcançar um ou mais objetivos geralmente envolvem o uso de um considerável agrupamento de variáveis múltiplas em SIG, caracterizando assim uma análise multicritérios. (MALCZEWSKI, 2006 apud PIMENTA et. al., 2019). Dentre os vários métodos multicritério, o método estabelecido para o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Pardo levou em consideração a aplicação do método AHP, desenvolvida por Thomas L. Saaty em 1977.

Conforme Camprario (2017), o modelo AHP é baseado na lógica de comparação par a par, onde os diferentes fatores influentes são organizados hierarquicamente e comparados entre si, sendo atribuído um valor de importância relativa para cada relacionamento destes, de acordo com suas intensidades de predomínio.

De acordo com Santos et. al. (2010), a fase de escolha dos valores, com base na escala de comparadores, será considerada um dos momentos mais importantes de todo o processo, pois será neste instante, que se define o grau de importância de cada fator. Dessa forma, o autor propõe que sejam adotados um ou mais dos procedimentos abaixo:

- o pesquisador, ao comparar um impacto ambiental com o outro, pode, com base em sua experiência, e em visitas de campo, simplesmente definir a escala de importância.
- O pesquisador pode consultar estudos anteriores, por meio de um levantamento bibliográfico, que comprove sua tese de que um fator possui mais importância que o outro.
- Uma equipe multidisciplinar, trabalhando em conjunto, pode definir a escala que mais se aproxima da realidade, realizando visitas de campo, debates etc.

Optou-se pelo procedimento de que as comparações dos fatores a partir do levantamento bibliográfico são suficientes para a proposta deste trabalho.

Saaty (1977) *apud* Camprario (2017) sugere a utilização de uma escala de julgamento pré-definida para a atribuição dos pesos, tendo uma variação de 1 a 9, onde 1 representa igualdade de importância entre os critérios e 9 representa extrema importância de um critério sobre o outro, conforme apresentado no quadro 17. As posições da diagonal na matriz de comparação serão sempre 1, pois um elemento tem igual importância em relação a si mesmo. Para preencher os demais elementos da matriz, fazem-se os julgamentos e determina-se a intensidade de importância de acordo com a escala de Saaty (1977) para o método AHP. Para as comparações inversas, isto é, na parte inferior esquerda da matriz, colocam-se os valores recíprocos da parte superior direita da mesma (LEAL et. al., 2020) como apresentado no Quadro 18.

Após o preenchimento da Matriz de Comparação Pareada (MCP) os pesos podem ser obtidos por vários métodos (Leal et. al, 2020). Conforme Santos et al (2010) podem ser utilizados aplicativos computacionais específicos para determinar os pesos estatísticos para cada variável. Ainda segundo o autor pode-se obter estes valores de forma manual, apenas dividindo-se cada elemento pela somatória dos elementos da coluna a que ele pertence e fazendo-se uma média entre as colunas, determinando assim cada peso (Quadro 19).

Quadro 17 - Escala de julgamento de importância de Saaty para a correlação pareada entre os fatores.

| Valores | Descrição da importância | Justificativa |
|---------|--------------------------|--|
| 1 | Igual | Os dois fatores contribuem igualmente |
| 3 | Moderada | Um fator é moderadamente mais importante que outro |
| 5 | Forte | Um fator tem forte importância em relação ao outro |
| 7 | Muito forte | Um fator é fortemente importante em relação ao outro |
| 9 | Extrema | Fator de importância extrema |
| 2,4,6,8 | Valores intermediários | Condição intermediária entre duas definições |

Fonte: Adaptado de Pessoa Neto et. al. (2022).

Quadro 18 - Matriz de Comparação Pareada (MCP).

| Fatores | Fator 1 | Fator 2 | Fator 3 | Fator 4 | Fator 5 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Fator 1 | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/7 | 1/9 |
| Fator 2 | 3 | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/7 |
| Fator 3 | 5 | 3 | 1 | 1/3 | 1/5 |
| Fator 4 | 7 | 5 | 3 | 1 | 1/3 |
| Fator 5 | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 19 - MCP com valores dos pesos calculados.

| Fatores | Fator 1 | Fator 2 | Fator 3 | Fator 4 | Fator 5 | Peso |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Fator 1 | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/7 | 1/9 | 0,0348 |
| Fator 2 | 3 | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/7 | 0,0678 |
| Fator 3 | 5,00 | 3 | 1 | 1/3 | 1/5 | 0,1344 |
| Fator 4 | 7,00 | 5 | 3 | 1 | 1/3 | 0,2602 |
| Fator 5 | 9,00 | 7 | 5 | 3 | 1 | 0,5028 |

Fonte: Elaborado pelo autor

A verificação do resultado da matriz é feita por meio do cálculo do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC), conforme equações a seguir:

$$IC = \lambda_{\text{máx}} - n / n-1 \quad \text{Eq. 19}$$

Onde: IC = índice de consistência;

$\lambda_{\text{máx}}$ = autovalor máximo.

n = número de critérios adotados.

$$RC = IC / IR \quad \text{Eq. 20}$$

Onde: RC = Razão de consistência; IR = índice randômico

O Índice de Consistência (IC) é utilizado para obter uma boa estimativa em relação aos pesos estatísticos resultantes do AHP, sendo necessário verificar se o valor do $\lambda_{\text{máx}}$ está próximo do número de indicadores utilizados para o cálculo. Quanto ao cálculo da Razão de Consistência (RC), é preciso usar o valor do Índice

Randômico (IR), que é extraído da tabela de valores para matrizes quadradas de ordem n estabelecida pelo *Oak Ridge National Laboratory*, EUA, fornecido de acordo com o número de indicadores utilizados para o cálculo AHP. (Resende et. al. (2017). Conforme quadro 20, o valor do IR para este estudo é igual a 0,90, pois foram utilizados 4 indicadores.

Quadro 20 - Índices Randômicos (IR).

| Nº Variáveis | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Índice Randômico | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,51 |

Fonte: Adaptado de Leal et al (2020).

Para o presente trabalho, o método AHP foi implementado utilizando uma calculadora AHP online (***AHP Priority Calculator***) para realizar os julgamentos dos pesos diretamente na plataforma, disponibilizado gratuitamente no website ***AHP – OS (AHP online System)*** através do endereço: <https://bpmsg.com/ahp/>.

Utilizou-se a escala de comparadores de Saaty, conforme quadro 17, para a construção da matriz, determinando assim o julgamento dos pesos para cada fator inserido na ***AHP Priority Calculator*** (calculadora de prioridade).

A construção da Matriz de Comparação Pareada (MCP) para o estudo das áreas susceptíveis a inundação da bacia hidrográfica do rio Pardo consistiu, inicialmente, na definição da ordem de importância dos fatores para posicioná-los na matriz, da menos suscetível para a mais suscetível. A definição dessa importância e dos julgamentos dos pesos foi baseado no trabalho de Camprario (2019), Resende et. al (2017) e Santos et. al (2010).

Na janela de comando da ***AHP Priority Calculator*** é inserida a quantidade de fatores em ***“input number and names”***, conforme apresentada na figura 20.

Após preenchimento e execução da janela de comando anterior é apresentado a janela ***“AHP Criteria name”***, onde devem ser preenchidos as lacunas com os nomes dos fatores preponderantes (Figura 21).

Definidos os fatores, é realizada a comparação pareada na matriz, definindo qual fator é mais importante em relação ao outro, preenchendo de acordo com a escala de Saaty (1 a 9), conforme apresentado na figura 22.

Por fim o resultado das prioridades é fornecido com os pesos estatísticos para cada fator juntamente com o valor de razão de consistência, que deve ser um valor menor que 10%.

A figura 23 é um exemplo-modelo do resultado das prioridades com os pesos estatísticos fornecido diretamente na interface da plataforma, fornecendo também um arquivo no formato csv para necessidade de salvamento dos dados.

Os pesos calculados a partir da calculadora online após realização de todo o procedimento serão utilizados para elaboração do mapa de susceptibilidade a inundação.

Figura 20 - Interface da página da AHP Priority Calculator (Calculadora de prioridades) para geração da matriz pareada dos fatores preponderantes a inundação e cálculo dos pesos dos fatores.

AHP Priority Calculator

Language: [English](#) [Deutsch](#) [Español](#) [Português](#) [Türkçe](#)

AHP Criteria

Select number and names of criteria, then start pairwise comparisons to calculate priorities using the Analytic Hierarchy Process.

Select number of criteria:

Pairwise Comparison

3 pairwise comparison(s). Please do the pairwise comparison of all criteria. When completed, click *Check Consistency* to get the priorities.

With respect to AHP priorities, which criterion is more important, and how much more on a scale 1 to 9?

| | A - wrt AHP priorities - or B? | Equal | How much more? |
|---|--|------------------------------------|---|
| 1 | <input checked="" type="radio"/> Crit-1 <input type="radio"/> Crit-2 | <input checked="" type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 |
| 2 | <input checked="" type="radio"/> Crit-1 <input type="radio"/> Crit-3 | <input checked="" type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 |
| 3 | <input checked="" type="radio"/> Crit-2 <input type="radio"/> Crit-3 | <input checked="" type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 |

CR = 0% Please start pairwise comparison

Fonte: <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>.

Figura 21 - Janela de comando “AHP Criteria Names” (Nomes dos fatores preponderantes) para preenchimento dos fatores do mais ao menos preponderantes a inundação.

AHP Criteria Names

Please fill out

AHP priorities

Name of Criteria

1

2

3

4

max. 45 character ea.

AHP-OS author: Klaus D. Goepel, BPMSG. [Contact](#) Last update: Feb 11, 2022 Rev: 120

Fonte: <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>.

Figura 22 - Janela de comando “Pairwise Comparison” (Comparação pareada) para julgamento dos pesos entre os fatores.

Pairwise Comparison

6 pairwise comparison(s). Please do the pairwise comparison of all criteria. When completed, click *Check Consistency* to get the priorities.

With respect to *AHP priorities*, which criterion is more important, and how much more on a scale 1 to 9?

| | A - wrt AHP priorities - or B? | Equal | How much more? | | | | | | | |
|---|--|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 1 | <input checked="" type="radio"/> FATOR 1 <input type="radio"/> FATOR 2 | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 | <input checked="" type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 8 | <input type="radio"/> 9 |
| 2 | <input checked="" type="radio"/> FATOR 1 <input type="radio"/> FATOR 3 | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 | <input type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 4 | <input checked="" type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 8 | <input type="radio"/> 9 |
| 3 | <input checked="" type="radio"/> FATOR 1 <input type="radio"/> FATOR 4 | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 | <input type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 8 | <input checked="" type="radio"/> 9 |
| 4 | <input checked="" type="radio"/> FATOR 2 <input type="radio"/> FATOR 3 | <input type="radio"/> 1 | <input checked="" type="radio"/> 2 | <input type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 8 | <input type="radio"/> 9 |
| 5 | <input checked="" type="radio"/> FATOR 2 <input type="radio"/> FATOR 4 | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 | <input type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 4 | <input checked="" type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 8 | <input type="radio"/> 9 |
| 6 | <input checked="" type="radio"/> FATOR 3 <input type="radio"/> FATOR 4 | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 | <input checked="" type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 8 | <input type="radio"/> 9 |

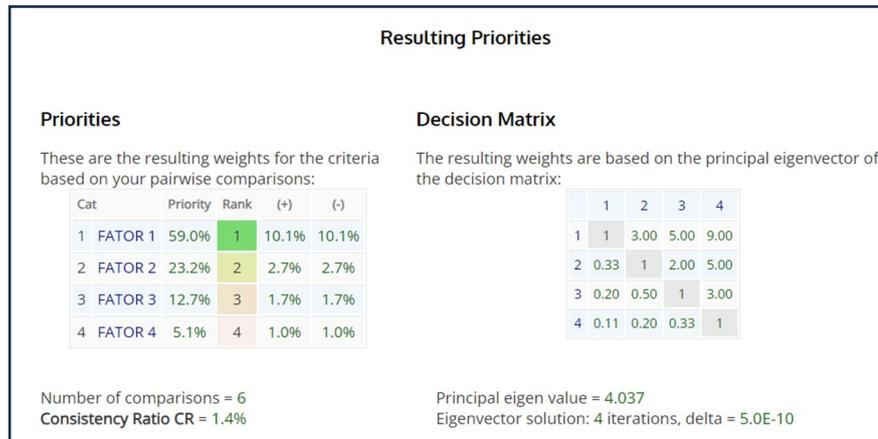
CR = 1.4% OK

dec. comma

AHP Scale: 1- Equal Importance, 3- Moderate importance, 5- Strong importance, 7- Very strong importance, 9- Extreme importance (2,4,6,8 values in-between).

Fonte: <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>.

Figura 23 - Resultado das prioridades fornecido diretamente na plataforma da AHP Priority Calculator.



Fonte: <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>.

3.4.4 Utilização de álgebra de mapas

Nessa etapa foi utilizada a função “Calculadora Raster” do QGIS, na qual os dados matriciais reclassificados dos fatores condicionantes à suscetibilidade a inundações foram associados com os pesos determinados pela calculadora **AHP Priority Calculator**. Como subsídio para utilização da referida função, foi aplicado o modelo matemático exibido na Equação 21.

$$Ms = F_1 * w_1 + F_2 * w_2 + F_3 * w_3 + F_4 * w_4 \quad \text{Eq. 21}$$

Onde: F = Raster dos Fatores; w = Peso do Fator

3.4.5 Elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações

O produto gerado por meio da álgebra de mapas foi reclassificado, de modo que os pixels que detinham valores compreendidos entre zero e dois, dois e quatro, quatro e seis, seis e oito e oito e dez representavam, respectivamente, as áreas de suscetibilidade à ocorrência de inundações consideradas como muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização morfométrica

Os resultados apresentados neste tópico e nos seguintes foram obtidos utilizando os processos de delimitação automática de bacias em SIG a partir do MDE (SRTM) da bacia hidrográfica do rio Pardo (MG/BA), com uso do complemento GRASS do QGIS e da ferramenta SAGA-GIS, como descrito no capítulo 3.

4.1.1 Características geométricas

A partir dos procedimentos executados no software QGIS, foram determinados os valores da área, perímetro e o comprimento do eixo da bacia, respectivamente a 32614,991 km², 2243,020 km e 514,303 km. Esses valores foram utilizados nas respectivas equações dos parâmetros morfométricos referentes à caracterização geométrica da bacia hidrográfica do rio Pardo e seus valores estão sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Característica geométrica da bacia hidrográfica do rio Pardo.

| Característica geométrica | Índice | Unidade | Valor |
|------------------------------------|---------------|-----------------|--------------|
| Área | A | km ² | 32614,991 |
| Perímetro | P | km | 2243,020 |
| Comprimento axial da bacia | La | km | 514,303 |
| Coefficiente de compacidade | Kc | - | 3,477 |
| Fator de forma | Kf | - | 0,123 |
| Índice de circularidade | Ic | - | 0,081 |
| Razão de alongação | Re | - | 0,396 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

O valor da área da BHRP calculada indica uma bacia de grande extensão. A área de uma bacia, segundo Tucci (2004), é fundamental para definir o potencial de geração de escoamento da bacia hidrográfica, uma vez que o seu valor multiplicado pela lâmina da chuva precipitada define o volume de água recebido pela bacia.

Um valor alto de Kc e baixo de Kf comprova que a bacia hidrográfica do rio Pardo, considerando as condições médias de precipitação, não estão sujeitas a enchentes, justificada por esses parâmetros apresentar valores afastado do unitário, conforme os valores de referência dos quadros 1 e 2.

A respeito do valor de Ic e Re, com valores menores que 0,50, conforme quadros 3 e 4, demonstra que a bacia em estudo possui forma bastante alongada, indicando o menor risco a inundações e cheias instantâneas. O índice de circularidade menor ou igual a 0,50 representa um nível de escoamento na bacia que não contribui na concentração de águas que possibilitem cheias rápidas (BACK, 2014). Ressalta-se que, apesar dos coeficientes Kf, Kc e Ic expressarem uma tendência através das relações geométricas, a fragilidade da bacia em termos de susceptibilidade a inundações não depende apenas desses fatores (BRITO NETO, R. L. et al, 2020).

Os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Pardo também foi estudado por Brito Neto *et al.* (2020), os valores dos parâmetros geométricos encontrados por estes autores tiveram resultados próximos aos obtidos neste presente trabalho. Os valores podem ser comparados verificando a tabela 1 e o quadro 21.

Quadro 21 - Valores dos parâmetros geométricos obtidos por Brito Neto et al. (2020)

| Morphometric parameters | | Value |
|-------------------------|------------------------------------|-------|
| | Area (km ²) | 32650 |
| | Axial length of drainage area (km) | 420 |
| Geometric | Perimeter (km) | 2154 |
| | Form factor – Kf | 0.185 |
| | Compactness index – Kc | 3.338 |
| | Roundness index – Ic | 0.088 |

Fonte: Brito Neto *et al.*, (2020).

Os autores utilizaram metodologia semelhante para obtenção dos parâmetros morfométricos a partir de um MDE, para isto foram selecionadas oito folhas MDE: 14S42_ZN, 14S405_ZN, 14S435ZN, 15S39_ZN, 15S42_ZN, 15S405_ZN,

15S435_ZN e 16S42_ZN através das imagens SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* - disponíveis gratuitamente no projeto TOPODATA da plataforma online do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com resolução espacial de 30 m. O software utilizado pelos autores para manipulação das imagens SRTM e obtenção do MDEHC foi ArcGIS® 10.2 da ESRI.

4.1.2 Características hidrográficas

O valor do comprimento do rio principal foi de 725,329 km e o valor do talvegue foi de 398,567 km. Os parâmetros da característica hidrográfica da BHRP calculados a partir dos valores acima são apresentados na Tabela 2. A rede de drenagem e a ordem dos canais, obtidas através do software SAGA, são apresentadas, respectivamente, nas figuras 24 e 25.

O critério de Stralher utilizado neste estudo para a hierarquização fluvial indicou a bacia como de ordem 5. A rede hidrográfica da bacia é composta por 883 canais, que juntos somam 7725,362 km, dos quais cerca de 77% consistem em canais de primeira ordem; 17,78 % de segunda ordem; 4,30% de terceira ordem e cerca de 1% para os canais de quarta e quinta ordem.

A ordem da rede de drenagem fornece informação sobre o grau de ramificação e permite inferir sobre o relevo da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980). A partir da definição da ordem da bacia pode-se definir outros indicadores das características do sistema de drenagem como a razão de bifurcação, a razão dos comprimentos e razão das áreas (HIPÓLITO; VAZ, 2017). A tabela 3 apresenta a quantidade de canais segundo sua ordem para a bacia em estudo.

Tabela 2 - Característica hidrográfica da bacia do rio Pardo

| Característica hidrográfica | Índice | Unidade | Valor |
|--|--------|------------------------|----------|
| Comprimento do canal principal | L | km | 725,329 |
| Comprimento do talvegue do canal principal | Ltalv | km | 398,567 |
| Comprimento total da rede de hidrográfica | Lt | km | 7725,362 |
| Densidade de drenagem | Dd | km/km ² | 0,236 |
| Densidade hidrográfica | Dh | canais/km ² | 0,027 |
| Sinuosidade do curso principal | Sn | - | 1,819 |
| Índice de sinuosidade | Is | % | 45,05 |
| Números de canais | N | - | 883 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 3 - Relação hierarquia, quantidade e extensão de canais da rede de drenagem.

| Ordem (Strahler) | Quantidade de canais | Extensão (km) | Comprimento médio dos canais (km) | % |
|------------------|----------------------|-----------------|-----------------------------------|------------|
| 1ª | 679 | 4290,683 | 6,319 | 76,90 |
| 2ª | 157 | 1646,447 | 10,487 | 17,78 |
| 3ª | 38 | 865,863 | 22,786 | 4,30 |
| 4ª | 8 | 197,04 | 24,630 | 0,91 |
| 5ª | 1 | 725,329 | 725,329 | 0,11 |
| Total | 883 | 7725,362 | 8,749 | 100 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resultados produzidos por Brito Neto et al. (2020) relacionados as características hidrográficas se mostraram próximos apenas para o comprimento do canal e o comprimento do talvegue, como podem ser vistos e comparados pela tabela 2 e o quadro 22. Os demais parâmetros quando comparados se mostram divergentes. Essa divergência pode ser justificada pelo algoritmo utilizado. A rede de drenagem obtida para o presente trabalho foi gerada por meio do algoritmo *Order Strahler* do software SAGA-GIS, enquanto Brito Neto et al. (2020) utilizou algoritmos do software ArcGIS®. Os complementos para delimitação de bacias utilizam algoritmos com funções para detalhar a rede de drenagem da bacia. A depender da escala e do objetivo de estudo pode ser dado um maior detalhamento da rede de drenagem e assim se obter um maior número de canais para uma certa bacia.

Quadro 22 - Valores dos parâmetros da rede de drenagem obtidos por Brito Neto et al. (2020)

| | | |
|------------------|---|-------|
| | Total length of the drainage network (km) | 14335 |
| | Main river length (km) | 807 |
| | Thalweg length (km) | 383 |
| | Sinuosity index (%) | 5.55 |
| | Total channels | 5312 |
| Drainage Network | 1 st Order | 6649 |
| | 2 nd Order | 3220 |
| | 3 rd Order | 1686 |
| | 4 th Order | 883 |
| | 5 th Order | 263 |
| | 6 th Order | 564 |
| | Drainage density – Dd (km/km ²) | 0.44 |
| | Hydrographic density – Dh (channels/km ²) | 0.16 |

Fonte: Brito Neto *et al.*, (2020).

Figura 24 - Rede de drenagem da BHRP

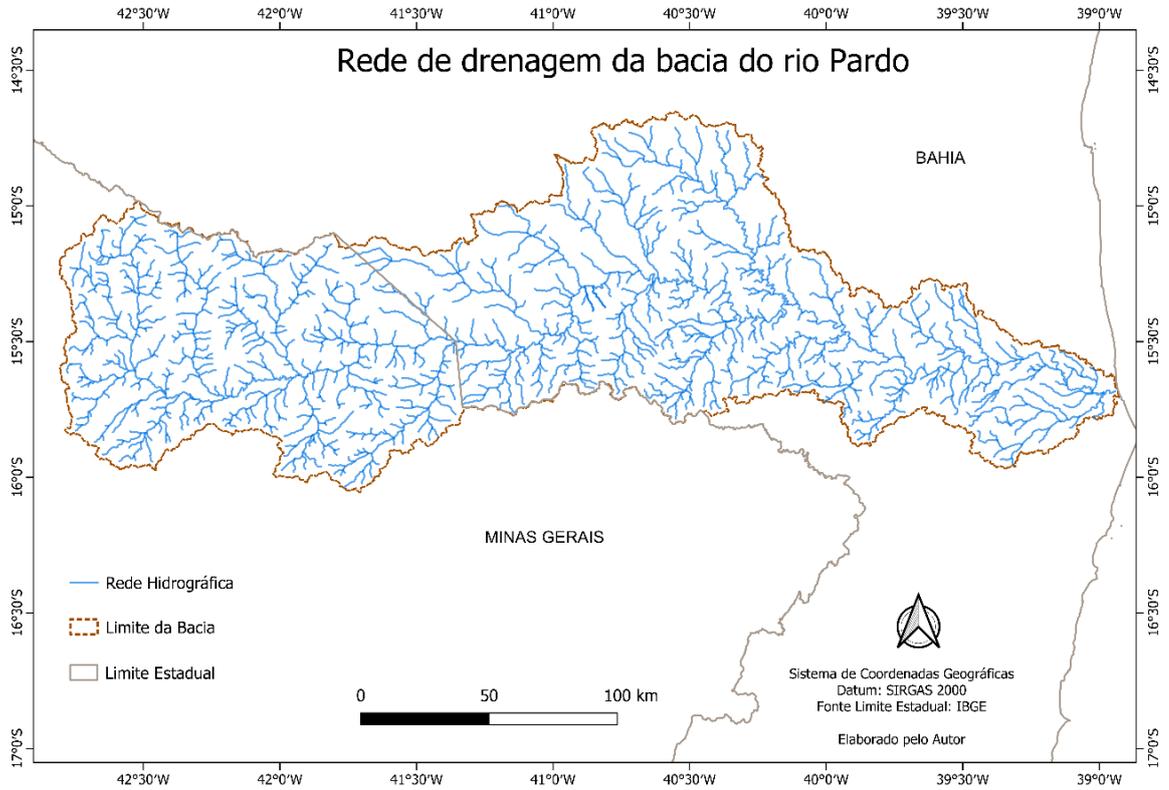
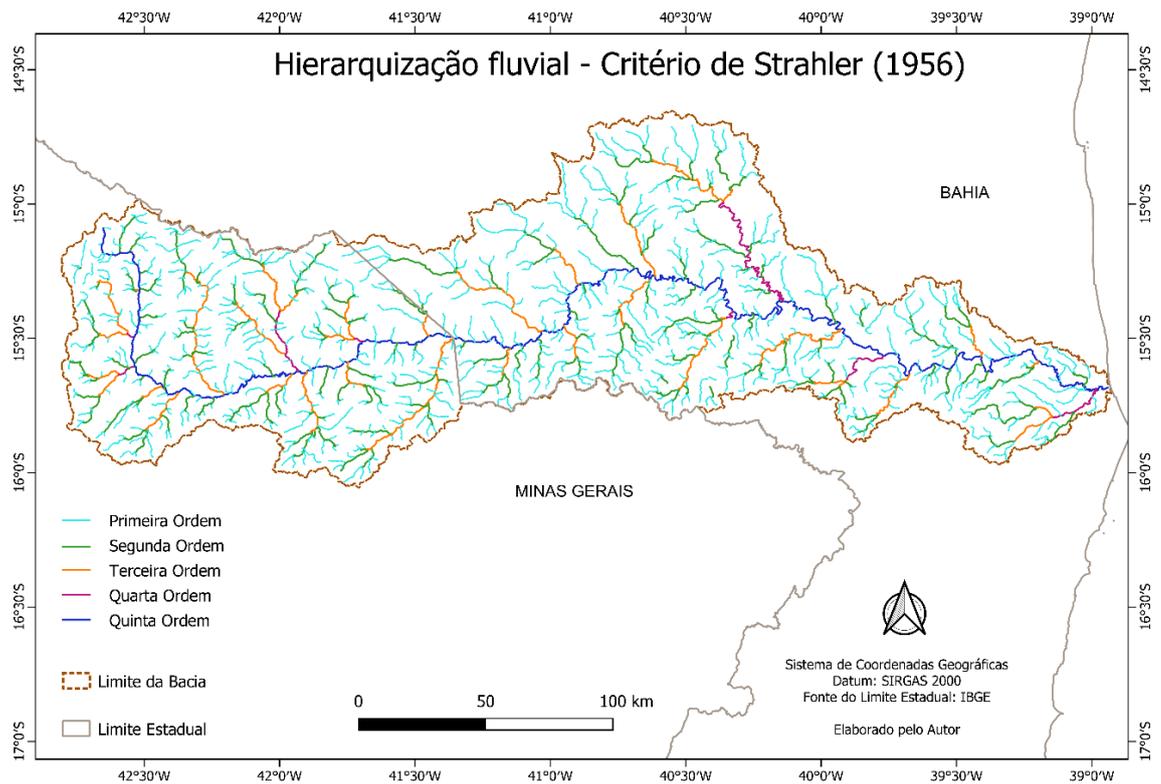


Figura 25 - Hierarquização fluvial da BHRP



O valor da densidade de drenagem (D_d) calculado permite classificar a bacia como de drenagem pobre, pois conforme os valores de referência do quadro 5, a bacia obteve um valor menor que $0,50 \text{ km.km}^{-2}$. Este indicador tende a ser alto em bacias com relevo acentuado e pouco permeáveis. Esse parâmetro pode indicar também a capacidade da bacia de gerar novos cursos d'água em função de características pedológicas, geológicas e climáticas da área. É um indicativo do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, e por esse índice pode-se ter uma ideia da velocidade a que a água deixa a bacia hidrográfica. Valores altos de densidade de drenagem refletem numa resposta rapidamente à chuva, enquanto valores baixos de densidade de drenagem refletem bacias pobremente drenadas, com baixa velocidade de resposta hidrológica (BACK, 2014). Quanto maior o valor da densidade, maior tendência ao escoamento superficial, menor infiltração e maior potencial a processos erosivos (VILLELA; MATTOS, 1975). Collischonn & Dornelles (2013) afirmam que em região com característica climática relativamente homogênea, a densidade de drenagem é função principalmente das características do solo e da litologia da bacia hidrográfica. Quando os solos e a litologia são mais permeáveis, a densidade de drenagem é mais baixa. Quando os solos são menos permeáveis ou são rasos, as rochas do subsolo são menos porosas e apresentam baixa permeabilidade, e a densidade de drenagem é mais alta.

O valor da densidade hidrográfica (D_h) informa que existe aproximadamente um rio para cada quatro quilômetros quadrados da bacia. A D_h é um indicador da capacidade da bacia de gerar novos canais em função das características pedológicas, geológicas e climáticas da área (BACK, 2014).

O valor da sinuosidade do curso principal (S_n) com valores entre 1 e 2, conforme o quadro 7, pode considerar indicativo de transição entre as formas retilíneas e tortuosas. Essa forma do rio principal ser sinuoso é corroborado pelo valor do seu índice de sinuosidade (I_s) com valores entre 40,01 e 50,00 %, conforme os valores de referência do quadro 6.

4.1.3 Características de relevo

As características do relevo de bacias hidrográficas são importantes, pois estão diretamente relacionadas ao risco de erosão do solo, tendo em vista que com a mecanização o relevo apresenta-se como um aspecto ambiental significativo por estar diretamente relacionado ao escoamento superficial e a velocidade da água, e consequentemente, ao transporte do solo, nutrientes, dejetos e agrotóxicos para os cursos de água (ALVES DIAS et al, 2020).

A tabela 4 apresenta as características do relevo da bacia em estudo. A maior altitude apresentada na área da bacia foi de 1765 metros e a menor altitude é de 0 metros. Esse valor de altitude mínima torna a amplitude altimétrica da área da bacia coincidente com sua altitude máxima. As maiores altitudes se encontram na serra geral, a noroeste da localidade serra nova, em Minas Gerais, e na porção sul da bacia, próximo a cidade de Berizal (MG), na serra do Anastácio. A menor altitude se encontra nas proximidades da foz do rio, o qual deságua no mar na cidade de Canavieiras, estado da Bahia. As altitudes média e mediana da bacia, obtidas automaticamente através de algoritmo específico no QGIS a partir do MDE, forneceu respectivamente valores iguais a 670 m e 802 m.

A altitude pode influenciar uma série de fatores meteorológicos e hidrológicos, como a quantidade de radiação, a temperatura, a evapotranspiração e a precipitação. Assim, grandes variações de altitude podem afetar o balanço de energia e o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica (BACK, 2014). Conforme Santos (2012), as grandes variações de altitude numa bacia provocam significativas diferenças na temperatura média, a qual, causa variações na evapotranspiração e precipitação anual.

Pode-se considerar que a bacia hidrográfica do rio Pardo em função da alta variação de altitude na bacia é sujeita a grandes diferenças de temperatura e precipitação.

Tabela 4 - Características de relevo da bacia hidrográfica do rio Pardo.

| Característica de relevo | Índice | Unidade | Valor |
|---------------------------------|---------------|----------------|--------------|
| Altitude máxima | Hmax | km | 1765 |
| Altitude mínima | Hmin | km | 0 |
| Altitude média | Hm | m | 670 |
| Altitude mediana | Hmd | m | 802 |
| Amplitude altimétrica | ΔH | m | 1765 |
| Declividade S1 | S1 | m/km | 1,262 |
| Declividade S2 | S2 | m/km | 1,160 |
| Declividade S3 | S3 | m/km | 0,971 |
| Declividade S4 | S4 | m/km | 1,304 |
| Índice de rugosidade | Ir | | 416,54 |
| Razão de relevo | Rr | | 0,003 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Comparando os valores dos parâmetros das características de relevo da tabela 4 com o quadro 23, onde apresenta os resultados dos parâmetros de relevo obtidos por Brito Neto *et al.* (2020), percebe-se que os resultados encontrados em ambos os estudos se apresentam muito próximos. No estudo de Brito Neto não foram obtidos os valores referentes ao índice de rugosidade (Ir) e razão de relevo (Rr). Mas utilizando as equações 17 e 19, pode-se, respectivamente, obter os valores de Ir e Rr. Sendo, portanto, o valor de Ir = 777,5 e Rr = 0,004. Este valor de Ir se apresentou divergente do obtido para a bacia para o presente trabalho. Esta divergência é principalmente influenciada pelo valor da densidade de drenagem, o qual se mostrou bem maior no estudo de Brito Neto *et al.* (2020). O valor de Rr se apresentou muito próximo ao do valor apresentado na tabela 6. O quadro 23 apresenta os valores dos parâmetros das características de relevo para a bacia do rio Pardo obtidos pelos autores.

Quadro 23 - Valores dos parâmetros da característica de relevo obtido por Brito Neto et al. (2020).

| | | | | |
|--------|--------------------------|----|--------|------|
| Relief | Maximum Altitude (m) | | 1767 | |
| | Minimum Altitude (m) | | 1 | |
| | Mean Altitude (m) | | 669.62 | |
| | Median Altitude (m) | | 810 | |
| | Altimetric amplitude (m) | | 1766 | |
| | Declivity (m/km) | S1 | | 1.32 |
| | | S2 | | 1.08 |
| S3 | | | 0.90 | |

Fonte: Brito Neto *et al.*, (2020).

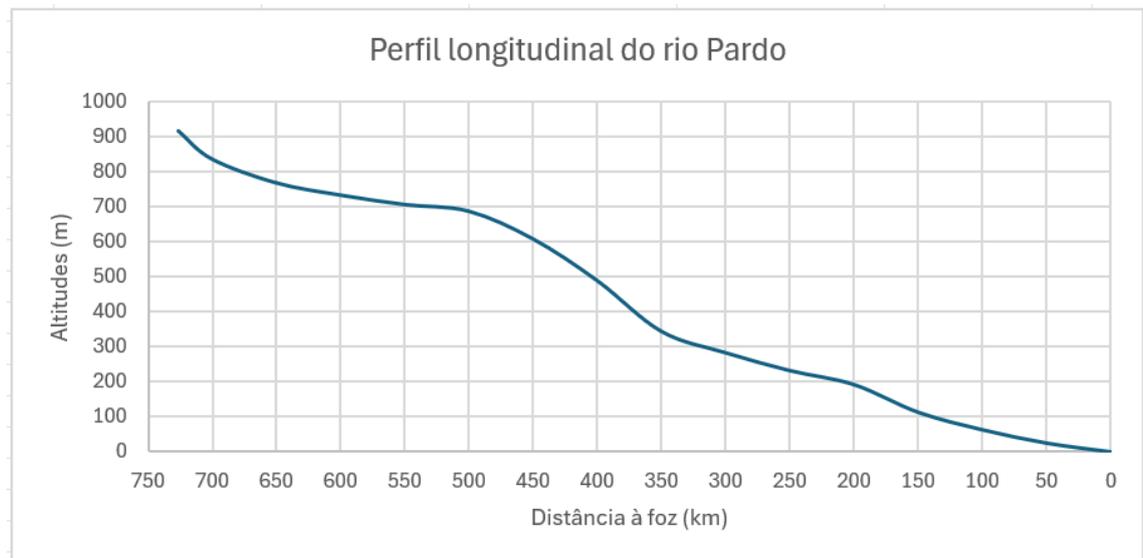
O perfil longitudinal foi construído com valores de altitudes com equidistâncias de 50 km a partir de procedimentos realizado no QGIS e posterior manuseio de planilha eletrônica Excel. A tabela 5 mostra os valores das distâncias e altitudes para construção do perfil longitudinal apresentado na figura 26.

Tabela 5 - Perfil longitudinal do rio principal

| Distância (km) | Altitude (m) |
|----------------|--------------|
| 0 | 0 |
| 50 | 25 |
| 100 | 63 |
| 150 | 113 |
| 200 | 192 |
| 250 | 232 |
| 300 | 283 |
| 350 | 344 |
| 400 | 489 |
| 450 | 608 |
| 500 | 687 |
| 550 | 706 |
| 600 | 733 |
| 650 | 768 |
| 700 | 836 |
| 726 | 916 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 26 - Perfil longitudinal do rio Pardo.



Fonte: Elaborado pelo Autor

A partir do perfil longitudinal juntamente com os dados apresentado na tabela 5 foram obtidos os valores das declividades de álveo S_1 , S_2 , S_3 e S_4 .

A declividade S_1 , foi obtida aplicando diretamente o valor da diferença entre a maior e menor altitude (916 m – 0 m) pela distância (726 km) entre esses dois pontos.

$$S_1 = 916 / 726\ 000 = 0,00262 \text{ m.m}^{-1}$$

Para o cálculo da declividade média S_2 foi obtido primeiramente o valor da área sob o perfil longitudinal representado na figura 26. Para isso, foram calculadas as áreas dos elementos trapezoidais apresentados na figura 27 - que somadas produziu o resultado da área sob o perfil. A figura 28 mostra o triângulo tal qual deve ter uma área igual a área sob o perfil da figura 26 (30.5826.000 m²), conforme a tabela 6. Dessa forma, juntamente com o valor de L, é aplicado o valor da área diretamente na equação 14:

$$S_2 = 2 \times A / L^2$$

$$S_2 = (2 \times 305826000) / (726\ 000)^2$$

$$S_2 = 0,001160 \text{ m.m}^{-1}$$

Outra forma é encontrar o valor da altitude H para qual a área é igual a área sob o perfil:

$$A_{\text{triângulo}} = (H \times L) / 2$$

$$H = (2 \times A_{\text{triângulo}}) / L ; A_{\text{triângulo}} = A_{\text{perfil}}$$

$$H = (2 \times 305826000) / 726\ 000$$

$$H = 842,5 \text{ metros.}$$

$$S_2 = H / L \rightarrow S_2 = 842,5 / 726\ 000 \rightarrow S_2 = 0,001160 \text{ m.m}^{-1}$$

Tabela 6 - Valores das distâncias e altitudes utilizadas para cálculo da área dos elementos trapezoidais.

| Distância (m) | Altitude (m) | Ai (m ²) |
|---------------|--------------|----------------------|
| 0 | 0 | - |
| 50000 | 25 | A15 = 625000 |
| 100000 | 63 | A14 = 2200000 |
| 150000 | 113 | A13 = 4400000 |
| 200000 | 192 | A12 = 7625000 |
| 250000 | 232 | A11 = 10600000 |
| 300000 | 283 | A10 = 12875000 |
| 350000 | 344 | A9 = 15675000 |
| 400000 | 489 | A8 = 20825000 |
| 450000 | 608 | A7 = 27425000 |
| 500000 | 687 | A6 = 32375000 |
| 550000 | 706 | A5 = 34825000 |
| 600000 | 733 | A4 = 35975000 |
| 650000 | 768 | A3 = 37525000 |
| 700000 | 836 | A2 = 40100000 |
| 726000 | 916 | A1 = 22776000 |
| | | SOMA = 305826000 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 27 - Elementos trapezoidais para cálculo da área sob o perfil longitudinal.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 28 - Área do triângulo equivalente a área sob o perfil.



Fonte: Elaborado pelo Autor

A declividade média S_3 foi calculada aplicando a equação 15 com auxílio da tabela 7. Esta declividade é calculada como a média harmônica ponderada da raiz quadrada das declividades dos diversos trechos retilíneos, tomando-se como peso a extensão de cada trecho.

Tabela 7 - Dados para cálculo da declividade S₃.

| Distância m | Altitude (m) | Li (m) | Di (m/m) | √Di | Li/√Di |
|---------------|--------------|--------|----------|---------------|----------|
| 0 | 0 | - | - | - | - |
| 50000 | 25 | 50000 | 0,0005 | 0,022361 | 2236068 |
| 100000 | 63 | 50000 | 0,00076 | 0,027568 | 1813691 |
| 150000 | 113 | 50000 | 0,001 | 0,031623 | 1581139 |
| 200000 | 192 | 50000 | 0,00158 | 0,039749 | 1257887 |
| 250000 | 232 | 50000 | 0,0008 | 0,028284 | 1767767 |
| 300000 | 283 | 50000 | 0,00102 | 0,031937 | 1565561 |
| 350000 | 344 | 50000 | 0,00122 | 0,034928 | 1431496 |
| 400000 | 489 | 50000 | 0,0029 | 0,053852 | 928476,7 |
| 450000 | 608 | 50000 | 0,00238 | 0,048785 | 1024900 |
| 500000 | 687 | 50000 | 0,00158 | 0,039749 | 1257887 |
| 550000 | 706 | 50000 | 0,00038 | 0,019494 | 2564946 |
| 600000 | 733 | 50000 | 0,00054 | 0,023238 | 2151657 |
| 650000 | 768 | 50000 | 0,0007 | 0,026458 | 1889822 |
| 700000 | 836 | 50000 | 0,00136 | 0,036878 | 1355815 |
| 726000 | 916 | 26000 | 0,00308 | 0,05547 | 468721,7 |
| SOMA = | | 726000 | | SOMA = | 23295833 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Conforme dados da tabela 7 e aplicando a equação 15, temos:

$$S_3 = (\sum Li / \sum Li/\sqrt{Di})^2$$

$$S_3 = (726000 / 23295833)^2$$

$$S_3 = 0,000971 \text{ m.m}^{-1}$$

Para a declividade S₄ ou S₁₅₋₈₅ foram excluídos os trechos correspondentes a 15% da extensão do rio principal junto à foz e 15% da extensão próxima à nascente. As distâncias da foz correspondentes às cotas de L_{15%} e L_{85%} foram obtidas conforme demonstrado abaixo:

$$L = 726\ 000 \text{ m} \rightarrow 100\% \quad ; \quad L = 726\ 000 \text{ m} \rightarrow 100\%$$

$$L_{15\%} = ? \rightarrow 15\% \quad ; \quad L_{85\%} = ? \rightarrow 85\%$$

$$L_{15\%} = 726000 \times 0,15 \quad ; \quad L_{85\%} = 726000 \times 0,85$$

$$L_{15\%} = 108900 \quad ; \quad L_{85\%} = 617100$$

A partir dos comprimentos a 15% e 85% do comprimento do rio, foi obtida, através de procedimentos no QGIS, as altitudes $H_{15\%}$ e $H_{85\%}$, respectivamente, a 71 metros e 741 metros, conforme figura 29. Assim, utilizando a equação 16, temos:

$$S_4 = (H_{85\%} - H_{15\%}) / (L_{85\%} - L_{15\%})$$

$$S_4 = (741 - 71) / (617,100 - 108,900)$$

$$S_4 = 670 / 508,200$$

$$S_4 = 0,000132 \text{ m.m}^{-1}$$

Os quatro valores calculados de declividade média de álveo indicam pequenas variações da declividade no percurso do canal principal, o que é evidenciado pela Figura 30. Observe que as variações são aproximadamente cerca de um metro a cada quilômetro. O valor mais elevado é de S_4 , o que indica maiores variações de declividade quando é desconsiderado os 15% dos comprimentos iniciais a partir da foz e da nascente do comprimento do canal principal. O valor de S_1 teve o valor próximo a S_4 , porém inferior. A declividade S_2 indicou uma declividade intermediária entre a declividade S_1 e S_3 . Conforme Vilela e Matos (1975), a declividade S_3 é o mais representativo de um curso d'água, pois considera o tempo de percurso da água ao longo da extensão do perfil longitudinal.

Figura 29 - Declividade S_4 .



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 30 - Declividades S₁, S₂, S₃ e S₄.

Fonte: Elaborado pelo Autor

A partir do perfil pode-se traçar algumas características a respeito da topografia do rio Pardo. A partir de sua foz até a distância de 350 km, o rio se apresenta com declividades moderadamente suaves com uma variação de altitude de 350 metros. A partir de então sofre uma declividade mais acentuada atingindo uma variação de altitude de 350 metros em uma extensão de 150 km. Segue novamente com uma declividade mais suave até as proximidades de sua nascente com uma variação de altitude de 100 metros em uma extensão de 200 quilômetros. Em seu último trecho apresenta uma declividade acentuada com uma variação de altitude de cerca de 100 metros em um pouco mais de 25 quilômetros. Nesse último trecho localizam as nascentes oriundas na serra da geral.

O Índice de rugosidade sendo um parâmetro que relaciona a disponibilidade do escoamento hídrico superficial com o potencial erosivo, de forma que, quanto maior o valor do I_r , maior será o risco de degradação da bacia quando as vertentes são íngremes e longas. Portanto, para a bacia do rio Pardo, o valor de I_r encontrado indica médio risco de degradação, conforme valores de referência do quadro 8.

A razão de relevo por sua vez permite comparar a altimetria das regiões, de forma que, quanto maiores seus valores, mais acidentado é o relevo predominante na

região, e ainda reflete a relação infiltração/deflúvio, demonstrando uma identificação com a densidade de drenagem (Campanharo, 2010). Pode-se então inferir que a partir do valor encontrado e conforme valores de referência do quadro 9, o relevo da bacia em estudo é predominantemente baixo.

O mapeamento da declividade e classificação do relevo da área da bacia, estão apresentados, respectivamente, na figura 31 e na tabela 8. A classe de declividade de maior área sendo a suave-ondulado e a de menor área a classe escarpado.

Figura 31 - Mapa das classes de declividade

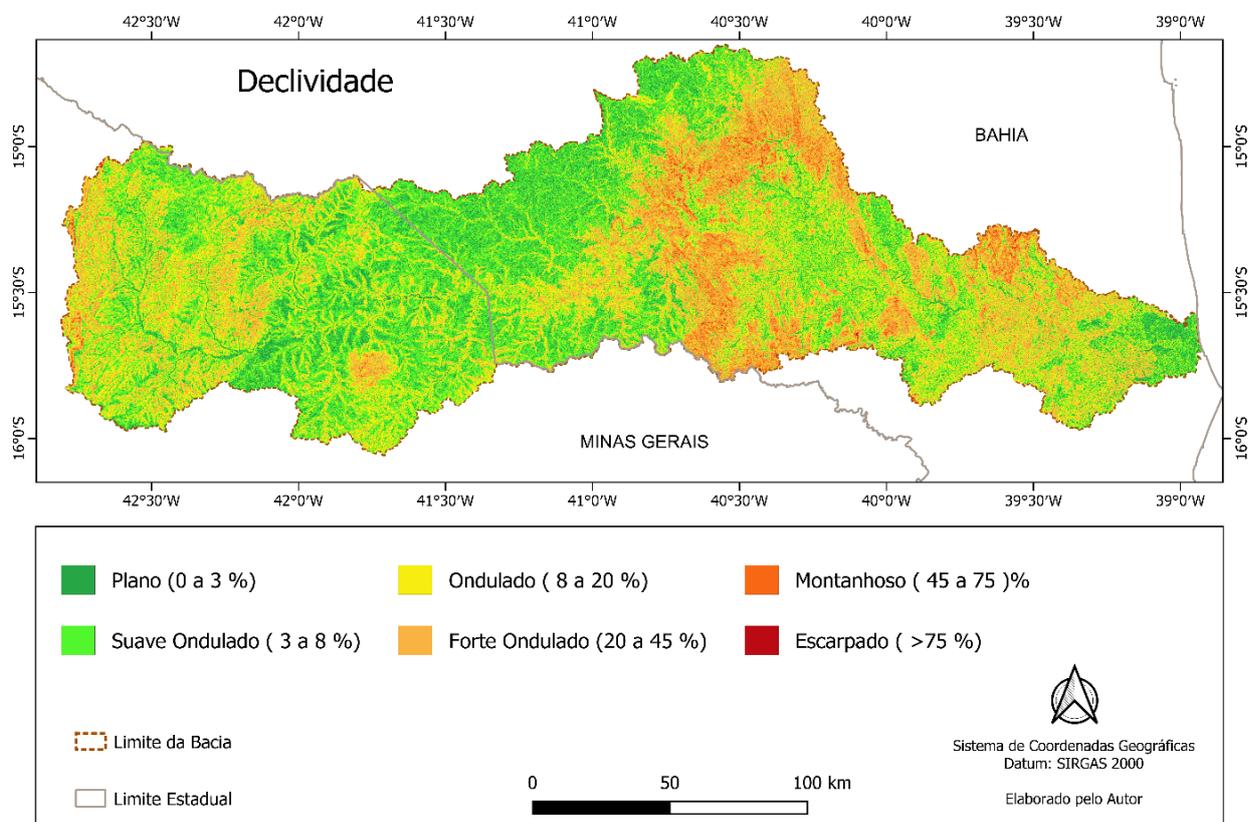


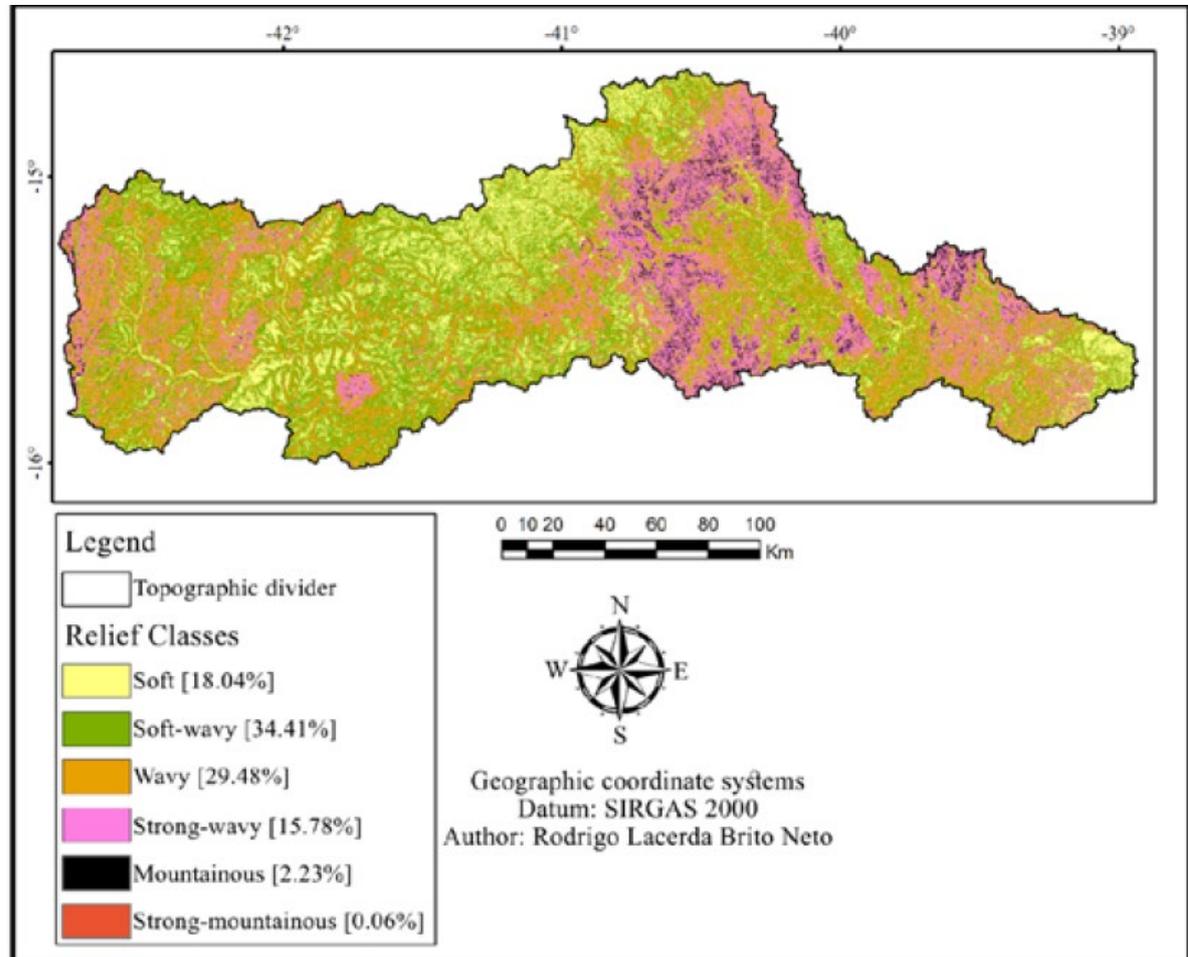
Tabela 8 - Classes de declividades, Áreas e porcentagem de Área.

| Classe de declividade | Declividade (%) | Área (km²) | Área (%) |
|------------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------|
| PLANO | 0 - 3 | 4273,14 | 13,17 |
| SUAVE-ONDULADO | 3 - 8 | 11037,63 | 34,01 |
| ONDULADO | 8 - 20 | 10198 | 31,42 |
| FORTE-ONDULADO | 20 - 45 | 5812,58 | 17,91 |
| MONTANHOSO | 45 - 75 | 1087,11 | 3,35 |
| ESCARPADO | Acima de 75 | 46,61 | 0,14 |
| | Total | 32455,07 | 100 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Dados de declividade da bacia hidrográfica do rio Pardo foram obtidos por Brito Neto et al. (2020). As classes de declividade encontradas para o relevo da bacia, segundo os autores, revelaram os seguintes valores: 34,41% da área está inserida na classe suave-ondulado, 29,48% na classe ondulado, 18,04% possui relevo suave, 15,78% como sendo forte-ondulado, 2,23% na classe montanhosa e 0,06% com relevo forte montanhoso (escarpado). Comparados esses valores ao da tabela 10, verifica-se que os valores são muito próximos, validando assim os resultados obtidos neste trabalho. A figura 32 apresenta o mapa de declividade gerado pelos autores e pode ser comparado com a da figura 31.

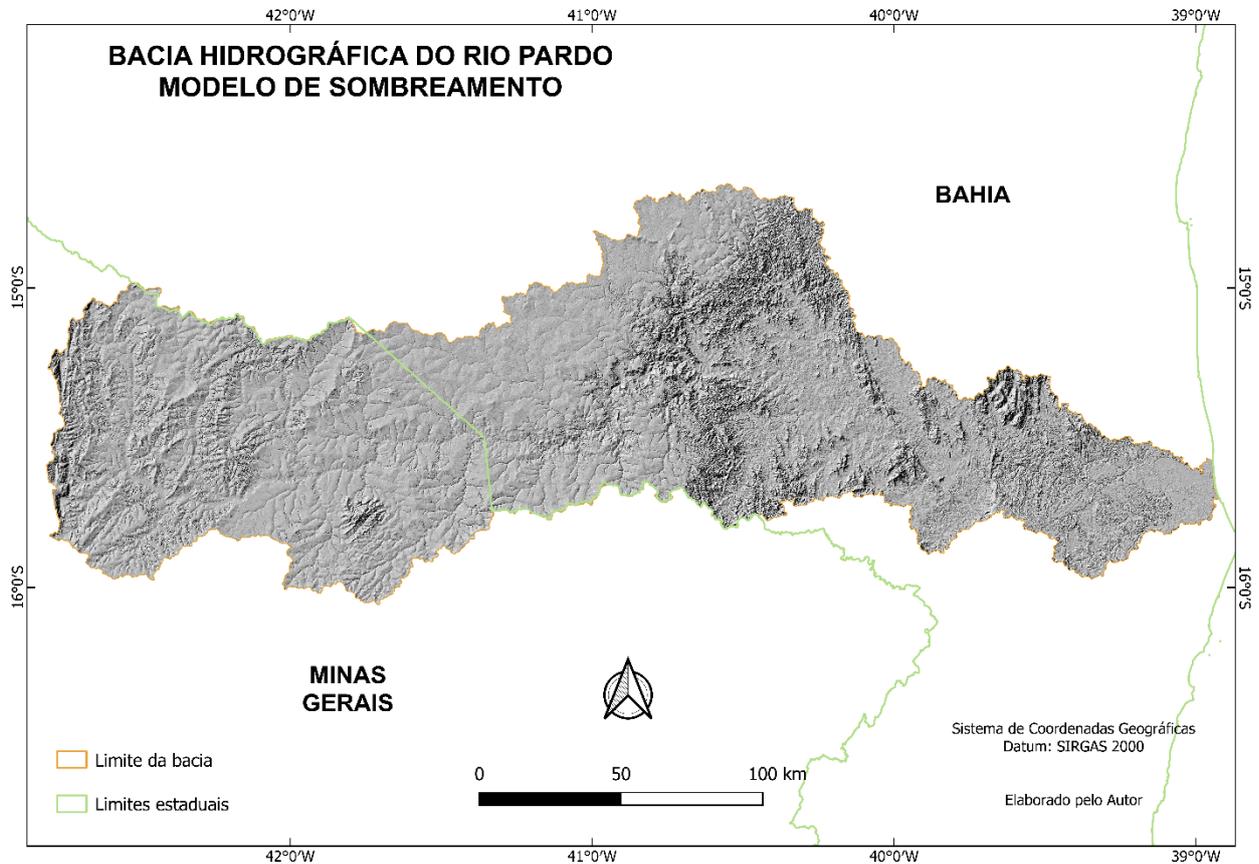
Figura 32 : Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Pardo gerado por Brito Neto et al. (2020).



Fonte: Brito Neto et. al. (2020)

Como forma de reforçar a identificação do relevo da área da bacia, foi elaborado o modelo de sombreamento do relevo da bacia (Figura 33). Para isto, utilizou o algoritmo **sombreamento** da ferramenta raster do QGIS, a partir do MDE. A função do Relevo Sombreado é produzir uma representação tridimensional da superfície do terreno em escala de cinza, considerando a posição relativa do Sol para sombreamento da imagem. O uso desta técnica melhora a visualização da declividade de uma certa área de estudo. É possível então a partir deste mapa identificar o aspecto do relevo de forma mais qualitativa.

Figura 33: Modelo de Relevo Sombreado aplicado a área da BHRP.

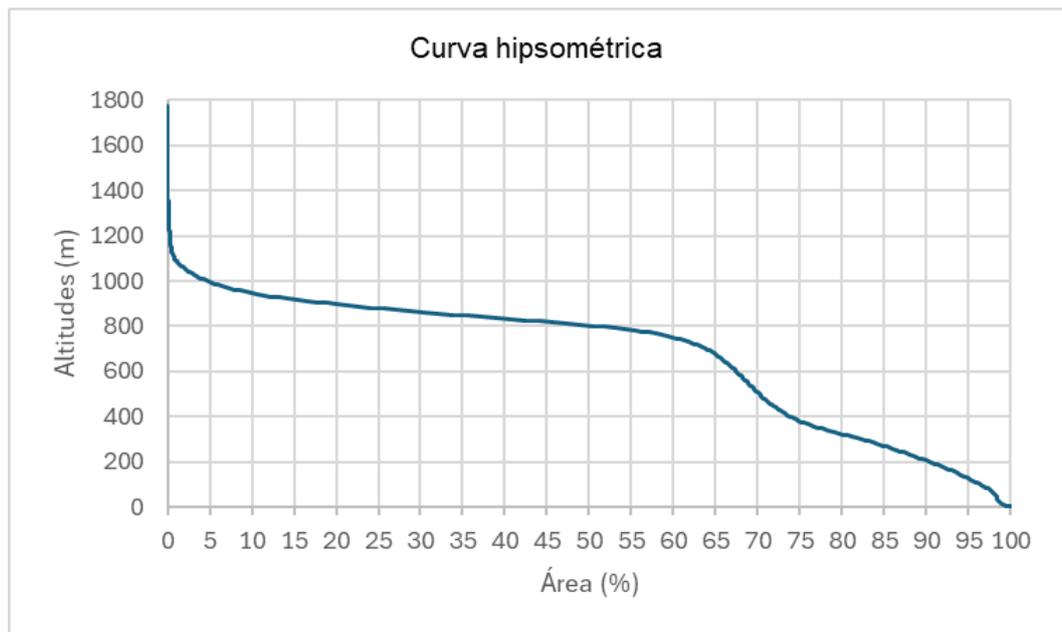


A declividade do terreno é fator determinante para velocidade do escoamento superficial e sub-superficial de uma bacia hidrográfica, controlando o tempo de duração que a água das precipitações leva para atingir e concentrar-se nos canais de drenagem. Quanto mais acentuado for o declive mais acelerado será o escoamento, contribuindo com a quantidade de material transportado das encostas, afetando os solos desprotegidos e depositando maiores quantidades de materiais na rede hidrográfica da bacia (MENDONÇA, 2013).

A construção da curva hipsométrica da bacia do rio Pardo é apresentada na figura 34. Verifica-se que as altitudes acima de 1000 metros se distribuem em menos de 5% da área da bacia. Cerca de 70% da área da bacia consiste em altitudes entre 400 e 1000 metros e 25% da área está abaixo de 400 metros. A altitude mediada

encontrada de 802 m, indica que 50% da área da bacia se encontra acima desta cota, e 50% se encontram abaixo da mesma.

Figura 34 - Curva hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Pardo.



Fonte: Elaborado pelo Autor

O mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Pardo está apresentado na figura 35. As cotas variam entre 0 e 1765 m, com amplitude altimétrica coincidindo com seu maior valor de altitude. As maiores altitudes ocorrem na porção oeste da bacia, nas vertentes da serra geral e nas proximidades do município de Berizal (MG). As menores altitudes ocorrem a leste da bacia, nas proximidades de sua foz, em Canavieiras (BA). A tabela 9 apresenta os valores, em área e percentagem, da bacia por classes hipsométrica.

Figura 35 - Mapa hipsométrico

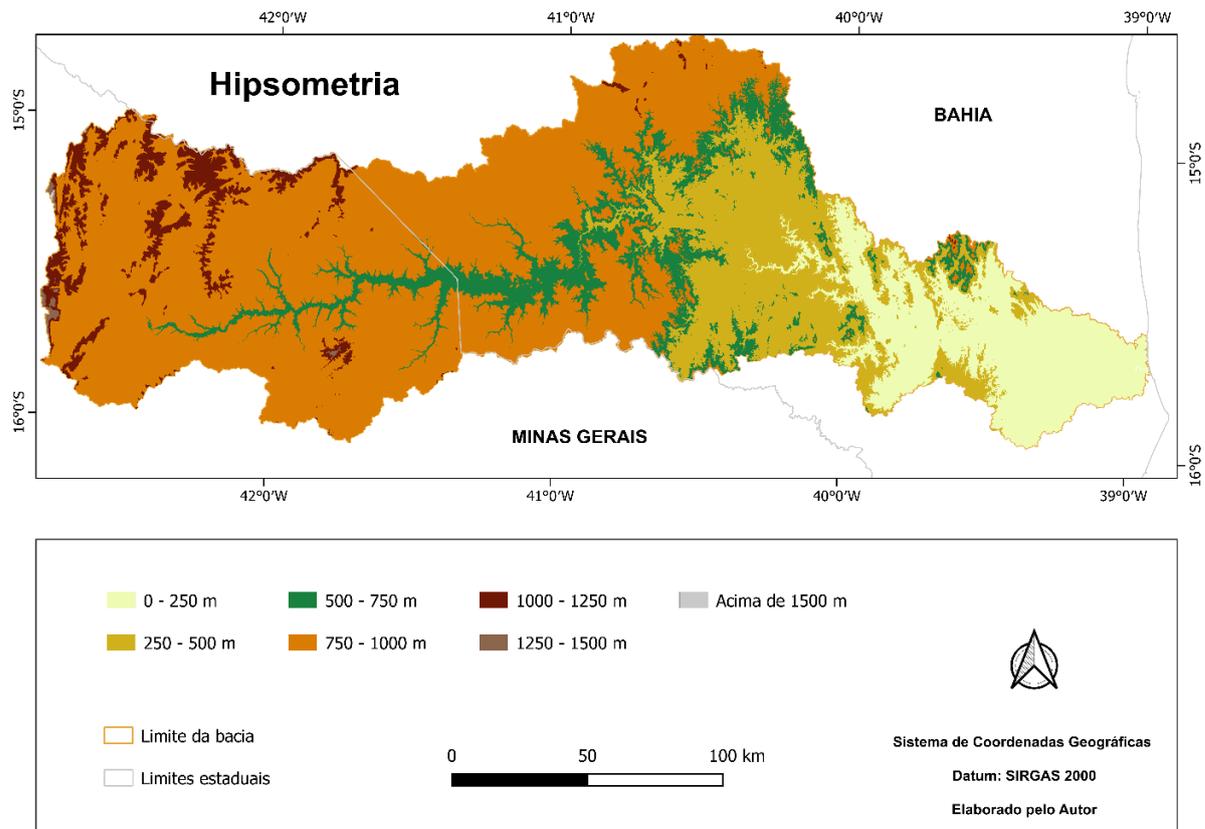


Tabela 9 - Classes de altitudes, área e Porcentagem de área para a BHRP.

| Classes de altitudes | Área (km ²) | Área (%) |
|----------------------|-------------------------|----------|
| 0 - 250 m | 4382,97 | 13,48 |
| 250 - 500 m | 5325,45 | 16,38 |
| 500 - 750 m | 3292,77 | 10,13 |
| 750 - 1000 m | 17991,92 | 55,33 |
| 1000 - 1250 m | 1455,95 | 4,48 |
| 1250 - 1500 m | 62,04 | 0,19 |
| Acima de 1500 m | 3,46 | 0,01 |
| Total | 32514,556 | 100 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os mapas hipsométricos permitem uma melhor identificação dos setores de maiores e menores altitudes de uma determinada área. A hipsometria do relevo tem grande importância para estudos de processos erosivos, principalmente os causados por escoamento superficial da água. A configuração topográfica de uma área de

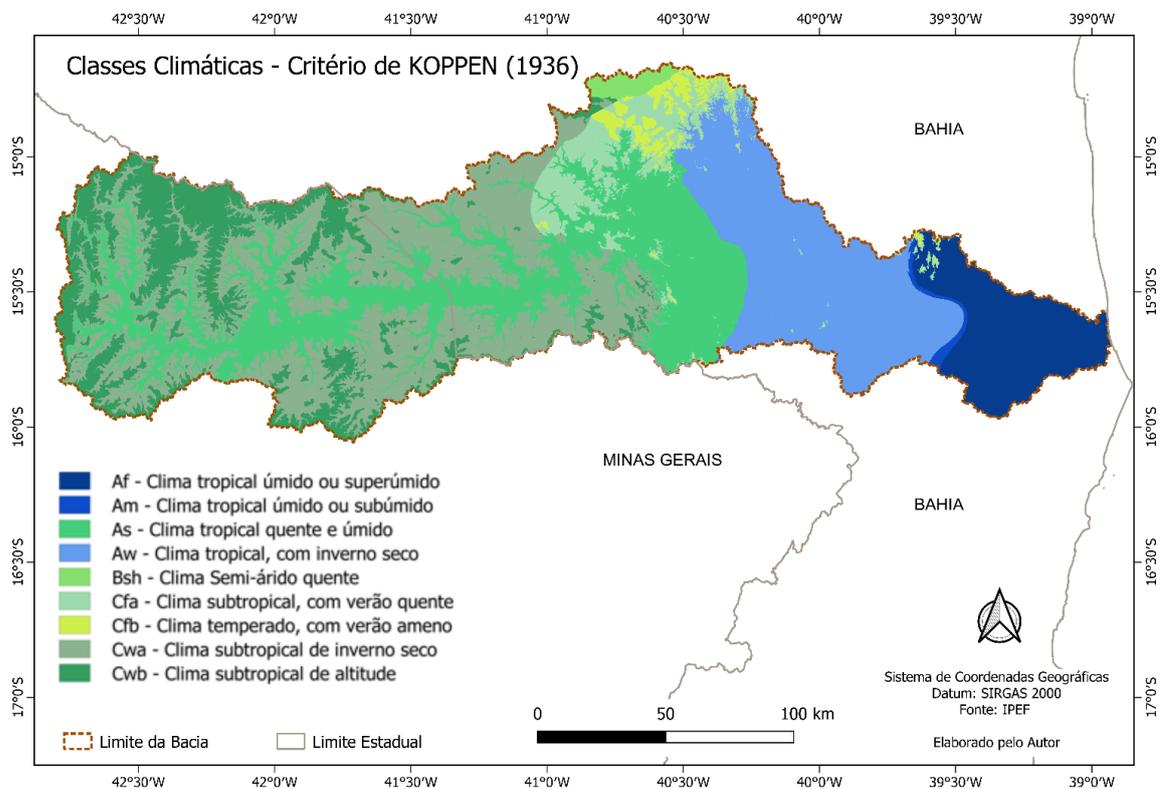
drenagem está estritamente relacionada com os fenômenos de erosão que se processam em sua superfície (MENDONÇA, 2013).

4.2 Caracterização ambiental

4.2.1 Clima

A classificação climática de Köppen leva em consideração os aspectos da vegetação de uma dada região (Silva Filho et. alli, 2021). Cada grande tipo climático é denotado por um código, constituído por letras maiúsculas e minúsculas, cuja combinação denota os tipos e subtipos considerados (WIKIPÉDIA, 2024). A área da bacia hidrográfica do rio Pardo, segundo a classificação de KÖPPEN (1948), estão distribuídas em nove classes climáticas (Figura 36): Af; Am; As; Aw; Bsh; Cfa; Cfb; Cwa; Cwb.

Figura 36 - Classes climáticas (Koppen -1936) para a BHRP.



As descrições de cada tipo seguem abaixo:

Af - Clima tropical úmido ou superúmido, sem estação seca, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 18°C. O total das chuvas do mês mais seco é superior a 60 mm, com precipitações maiores de março a agosto, ultrapassando o total de 1.500 mm anuais. Nos meses mais quentes (janeiro e fevereiro) a temperatura é de 24 a 25°C.

Am - Clima tropical úmido ou subúmido. É uma transição entre o tipo climático Af e Aw. Caracteriza-se por apresentar temperatura média do mês mais frio sempre superior a 18°C apresentando uma estação seca de pequena duração que é compensada pelos totais elevados de precipitação.

As – Clima tropical quente e úmido, com estação seca no inverno. É caracterizado pela ausência de chuvas de verão e sua ocorrência no "inverno" (que corresponde à estação chuvosa e não ao inverno propriamente dito), com índices pluviométricos por volta de 1.600 mm anuais.

Aw - Clima tropical, com inverno seco. Apresenta estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco). A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. As precipitações são superiores a 750 mm anuais, atingindo 1800 mm.

BSh – Clima Semi-árido quente. É caracterizado por escassez de chuvas e grande irregularidade em sua distribuição; baixa nebulosidade; forte insolação; índices elevados de evaporação, e temperaturas médias elevadas (por volta de 27°C). A vegetação característica desse tipo de clima é a xerófila (Caatinga).

Cfa - Clima subtropical, com verão quente. As temperaturas são superiores a 22°C no verão e com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco.

Cfb - Clima temperado, com verão ameno. Chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca e a temperatura média do mês mais quente não chega a 22°C. Precipitação de 1.100 a 2.000 mm. Geadas severas e freqüentes, num período médio de ocorrência de dez a 25 dias anualmente.

Cwa – Clima subtropical de inverno seco (com temperaturas inferiores a 18°C) e verão quente (com temperaturas superiores a 22°C).

Cwb - Clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno. A temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C.

O clima ajuda a contribuir no regime de chuvas necessárias a preservação de matas secundárias em estágio de regeneração. A preservação dessa vegetação contribui diretamente para o clima, tanto em micro quanto em macro escala. Sua manutenção é primordial como mantenedora de nascentes de diversos cursos d'água que alimentam bacias hidrográficas (Silva Filho *et. alli*, 2021).

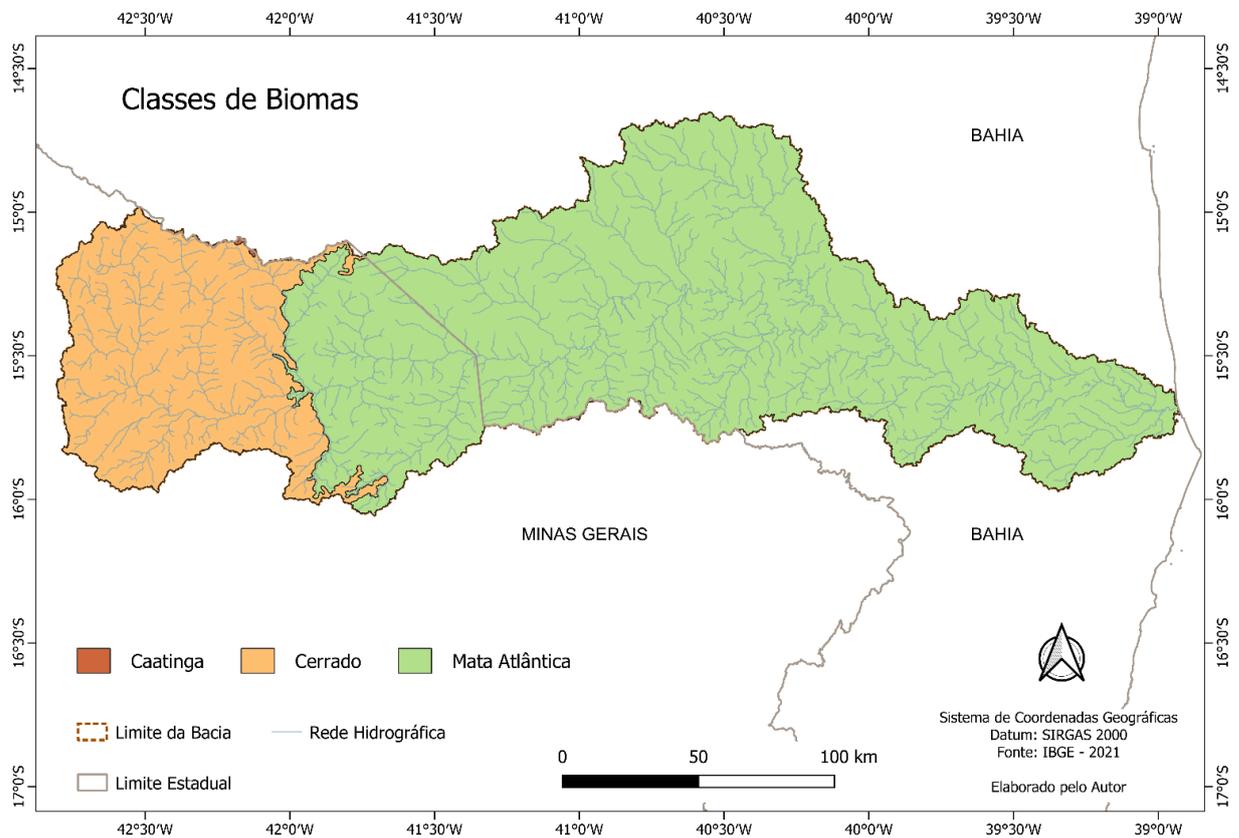
Em relação as mudanças climáticas, estas transformam de forma significativa a dinâmica dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas, trazendo vários desafios para a gestão e a sustentabilidade desses sistemas. O aquecimento global é uma das principais causas das mudanças climáticas, gerando o aumento da temperatura média global. O aumento das temperaturas, em muitas regiões, leva a um maior índice de evaporação e mudanças nos padrões de chuva, resultando em intensos períodos de seca e em eventos extremos de chuvas, como tempestades e inundações. Nos períodos de seca prolongada, a quantidade de água disponível nos rios e reservatórios diminui, comprometendo o abastecimento para consumo humano e agrícola. Por outro lado, as inundações intensas, que são mais frequentes devido ao aumento das chuvas, podem causar erosão dos solos, poluição dos corpos d'água e danos significativos às infraestruturas, além de sobrecarregar os sistemas de drenagem e esgoto, exacerbando problemas de qualidade da água e colocando em risco a saúde pública.

4.2.2 Classes de Biomas e tipos de Cobertura Vegetal

O termo Bioma representa uma área homogênea em relação às suas características vegetacionais, climáticas, pedológicas e altimétricas, disposta em escala regional e influenciada pelos mesmos processos de formação (NASCIMENTO & RIBEIRO, 2017).

A área da bacia hidrográfica do rio Pardo se insere em três classes de Biomas (Figura 37): Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga. Sendo a Mata Atlântica o bioma predominante na área da bacia, ocupando 24710,83 km², representando cerca de 76% da área, com maior parte inserida em território baiano. O Bioma Cerrado ocupa uma área de 7890,074 km², correspondendo a 24,19% e, considerando a área da BHRP, está completamente inserida em território mineiro. A Caatinga, ocupa na bacia apenas fragmentos, representada por uma pequena porção a noroeste da bacia, com apenas 14,083 km² de área, representando 0,04% da área da bacia.

Figura 37 - Classes de Biomas para a BHRP.



A Mata Atlântica representa uma exuberante floresta originada a partir do clima quente e úmido da faixa litorânea do Brasil. Com relação ao solo, geralmente são bastante rasos e úmidos, além de serem extremamente pobres em nutrientes e minerais. A vegetação da Mata Atlântica é constituída por formações florestais e

ecossistemas associados de restingas, manguezais e campos de altitude (NASCIMENTO & RIBEIRO, 2017).

O Cerrado é caracterizado por um clima marcado por um período chuvoso, representado pelas estações de primavera e verão (outubro a março), intercalado com um período de estiagem, no outono e inverno (abril a setembro). A vegetação do Cerrado representa um verdadeiro mosaico que varia desde fisionomias campestres, com predomínio de espécies herbáceas e arbustivo-herbáceas; perpassando por formações savânicas, com ocorrência de estratos arbóreos, arbustivo-herbáceo e árvores de pequeno porte espalhadas por um substrato gramíneo; até as formações florestais, nas quais espécies arbóreas definem um dossel contínuo. Dentre as atividades antrópicas que ameaçam esse bioma, o destaque é para a pecuária e agricultura (NASCIMENTO & RIBEIRO, 2017).

A caatinga é caracterizada pelo clima semiárido, com estação seca prolongada e estação chuvosa curta e irregularmente distribuída no tempo e no espaço. O total de chuvas geralmente não ultrapassa 800 mm anuais, oscilando espacialmente entre 450 a 800mm. Uma característica marcante da vegetação é seu caráter xerófilo (adaptação a pouca quantidade de água), com folhas reduzidas ou modificadas em espinhos para reduzir a perda de umidade por transpiração, raízes profundas para absorver água do solo e sistema de armazenamento de água no caule e raízes (que garante a suculência). Além disso, por apresentar predomínio de rochas cristalinas, o bioma Caatinga tem poucas nascentes e predominam rios intermitentes (NASCIMENTO & RIBEIRO, 2017).

A área da bacia mostra uma diversidade de tipos de vegetação, os quais foram identificados dezessete tipos de cobertura vegetal, incluindo as áreas antropizadas (Figura 38), conforme dados de vegetação na escala 1:250 000 obtidos por meio do IBGE. As descrições dos tipos de vegetação a seguir foram compiladas de MapBiomias (2022). A tabela 10 apresenta os tipos de cobertura vegetal, área ocupada em km² e percentual de área ocupada.

Figura 38 - Tipo de cobertura vegetal da área da BHRP, conforme dados do IBGE (2022).

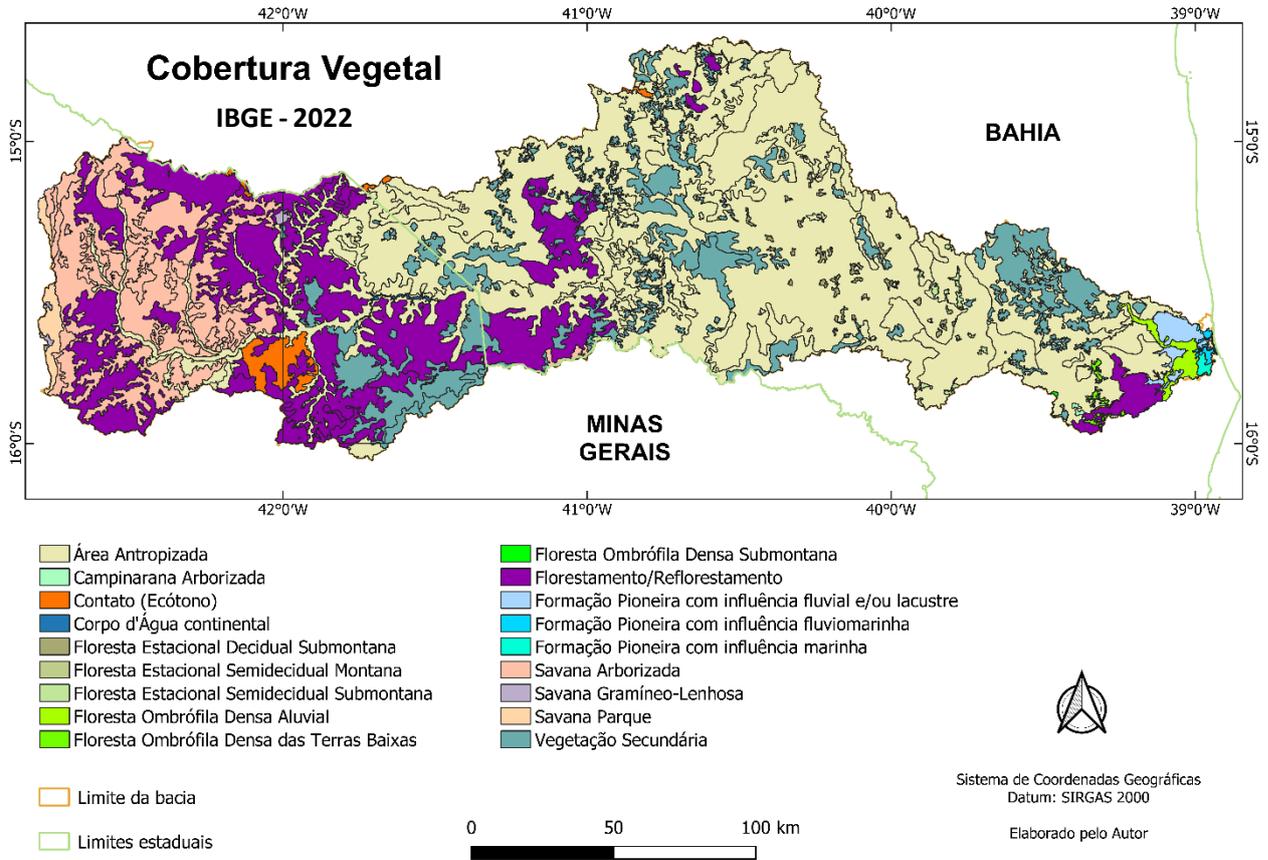


Tabela 10: Tipos de cobertura vegetal encontrada na bacia (IBGE (2022), área ocupada e percentual de área.

| Cobertura Vegetal | Área (km ²) | Área (%) |
|--|-------------------------|----------|
| Área antropizada | 17000 | 52,80 |
| Campinarana Arborizada | 10,32 | 0,03 |
| Contato (Ecótono) | 34,15 | 0,11 |
| Floresta Estacional Decidual Submontana | 136,45 | 0,42 |
| Floresta Estacional Semidecidual Montana | 3,38 | 0,01 |
| Floresta Estacional Semidecidual Submontana | 66,67 | 0,21 |
| Floresta Ombrófila Densa Aluvial | 173,18 | 0,54 |
| Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas | 55,7 | 0,17 |
| Floresta Ombrófila Densa Submontana | 3,35 | 0,01 |
| Florestamento/Reflorestamento | 6367 | 19,78 |
| Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre | 208,61 | 0,65 |
| Formação Pioneira com influência fluviomarinha | 34,11 | 0,11 |
| Formação Pioneira com influência marinha | 32,17 | 0,10 |
| Savana Arborizada | 3797,31 | 11,79 |
| Savana Gramíneo-Lenhosa | 36,27 | 0,11 |
| Savana Parque | 237,2 | 0,74 |
| Vegetação Secundária | 4000 | 12,42 |
| Total | 32195,87 | 100 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Áreas antropizadas: Neste tipo de cobertura vegetal estão evidenciadas as áreas com influências antrópicas onde surgem terrenos ocupados pela agricultura, agropecuária, pastagens e influências urbanas. É o tipo de cobertura predominante na área da bacia, ocorrendo em toda sua extensão e inserida completamente no bioma Mata Atlântica. Sua área é de aproximadamente os 17000 km², o que corresponde a mais de 50% da área.

Campinarana Arborizada: Este tipo de vegetação é constituído por arvoretas, geralmente das mesmas espécies, que ocorrem nos interflúvios tabulares e planícies fluviais, onde predominam acumulações arenosas. Inclui a fisionomia arborizada aberta de “Caatinga-Gapó”, estabelecida nas áreas das depressões e planícies que permanecem encharcadas na maior parte do ano. Surge na bacia no município de Belmonte em uma pequena área de aproximadamente 10,32 km².

Contato (Ecótono): São misturas florísticas entre tipos de vegetação com estruturas fisionômicas semelhantes como as Floresta Ombrófila/Floresta Estacional e os tipos de vegetação que apresentam estruturas fisionômicas diferentes como a Floresta Ombrófila/Savana (Cerrado). Encontra-se na área da bacia nas porções oeste e norte, respectivamente nos municípios de Taiobeiras e Tremedal, na transição dos biomas Cerrado e Mata atlântica, ocupando uma área de 34,150 km².

Floresta Estacional Decidual Submontana: É um tipo de vegetação do bioma Mata Atlântica. Ocorre em grandes altitudes e baixa temperatura. Esse ecossistema é caracterizado por duas estações, uma seca e outra chuvosa, a primeira mais prolongada. Ocorre na bacia entre os municípios de Potiraguá e Itambé, em território baiano, ocupando uma área de 136,45 km².

Floresta Estacional Semidecidual Montana: Consiste em uma formação florestal que reveste as áreas do relevo residual compreendido entre 600 e 2.000 m de altitude. Na área de estudo ocorre em uma pequena porção a sudoeste da bacia, no município de Potiraguá, com uma área de 3,38 km².

Floresta Estacional Semidecidual Submontana: Essa formação é enquadrada em áreas cuja altitude fica compreendida entre 100 e 600 m. Suas

principais características são as árvores emergentes decíduais, além de uma enorme quantidade de plântulas da regeneração arbórea. Ocupa na bacia uma área maior que a anterior, com cerca de 66,67 km². Estando inserida no bioma Mata atlântica, ocorre nos municípios de Potiraguá, Pau Brasil e Itapetinga, no estado da Bahia.

Floresta Ombrófila Densa Aluvial: É uma formação arbórea ribeirinha que ocupa as planícies recentes do Quaternário. Sua estrutura é de espécies de rápido crescimento, em geral de casca lisa, alcançando grandes alturas; o tronco é frequente em forma de botija e com raízes tabulares. Na área de estudo ocupa a porção leste da bacia com uma área de 173,18 km², também totalmente inserida no bioma Mata atlântica, ocorrendo nos municípios de Canavieiras, Belmonte e Santa Luzia, estado da Bahia.

Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas: Esta formação florestal, ocorre em locais de baixa altitudes, entre as cotas de 5 a 10 m. Ocupa geralmente as planícies quaternárias e os tabuleiros terciários. Ocorre também na porção leste a sudeste da bacia, nos municípios de Belmonte e Canavieiras, com área superior a 55,7 km².

Floresta Ombrófila Densa Submontana: Ocupa os relevos dissecados montanhosos e os planaltos com solos profundos compreendidos entre 100 e 600 m de altitude. São compostas por árvores com alturas em torno de 25m, uma submata de plântulas da regeneração arbórea, algumas palmeiras e muitas lianas lenhosas. Na área da bacia ocupa uma pequena área de aproximadamente de 3,35 km² situado nos municípios baianos de Belmonte e Mascote.

Florestamento/Reflorestamento: Ocorre na bacia em maior área em Minas Gerais, abrangendo todos os municípios mineiro que contempla a bacia do rio Pardo e nos municípios baianos encontra-se em Candido Sales, Vitoria da Conquista, Barra da choça, Encruzilhada e Belo Campo e mais a leste da bacia nos municípios de Canavieiras e Belmonte. Ocupa uma área de aproximadamente 6367 km², inserida tanto no bioma Cerrado como na Mata atlântica.

Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre: Correspondem às áreas permanentemente inundadas de influência aluvial ocorrendo sob a forma herbácea com alturas maior que de 2m. Ocorre na porção leste da bacia nas proximidades da foz do rio Pardo. Ocupando uma área de 208,61 km², ocorrendo nos municípios de Belmonte e Canavieiras.

Formação Pioneira com influência fluviomarinha: Formação composta por comunidade arbórea, exclusiva de ambientes salobros, cuja regeneração é problemática quando o manguezal é destruído. Ocorre ao longo dos cursos dos rios que sofrem constante influência das marés. Na área da bacia ocorre no município de Canavieiras, na porção bem próxima da foz do rio pardo, com área ocupada de aproximadamente 34,11 km².

Formação Pioneira com influência marinha: Ocorre exclusivamente nas áreas que estão sob a constante influência marinha, revestindo as praias, as dunas e os cordões litorâneos. Ocorre totalmente no município de Canavieiras ocupando uma área de 32,17 km².

Savana Arborizada: Savana pode ser definida como sendo uma vegetação xeromorfa com fisionomias diversas, da Arbórea Densa à Gramíneo-Lenhosa. A área aproximada desse tipo de vegetação ultrapassa os 3797,31 km².

Savana Gramíneo-Lenhosa: É o tipo de savana com uma formação campestre entremeada de plantas lenhosas anãs. Sua composição florística varia de acordo com a posição geográfica que ocupa. Ocorre em uma pequena área no município de São João do Paraíso, Minas Gerais, com uma área de aproximadamente 36,27 km².

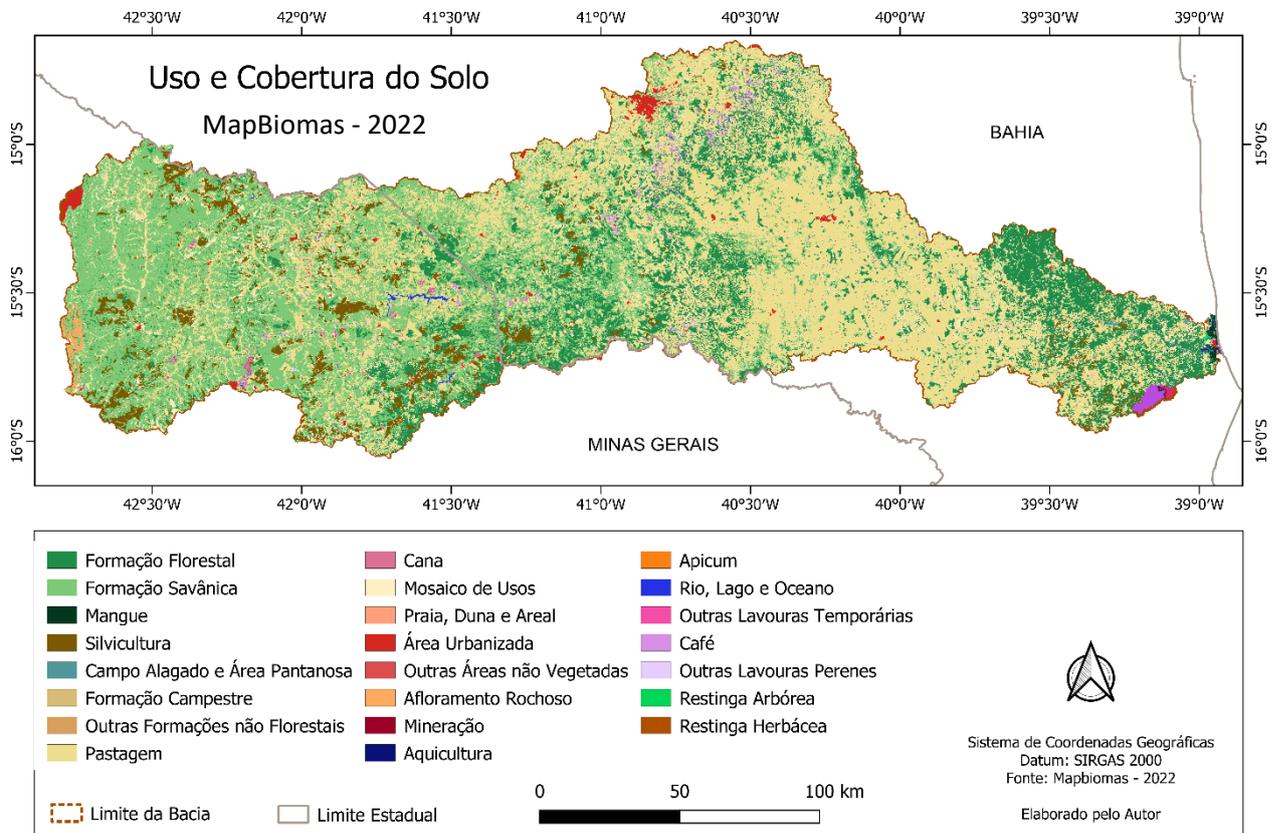
Savana Parque: Tipo de Savana essencialmente campestre, natural ou antrópica. Encontra-se na área da bacia totalmente inserida no bioma Mata atlântica, no município de São João do Paraíso. No bioma Cerrado encontra-se nas regiões das nascentes da Serra Geral nos municípios de Rio Pardo de Minas e Santo Antonio do Retiro. Ocupando uma área total na bacia de 237,2 km².

Vegetação Secundária: A Vegetação Secundária surge com o abandono da terra, após o uso pela agricultura, pecuária ou pelo reflorestamento. Neste tipo de vegetação, são incluídas todas as comunidades secundárias. Ocorre na bacia no bioma mata atlântica nos estados de minas gerais e bahia. Sua área ocupada é superior a 4000 km².

4.2.3 Uso e cobertura dos solos

A distribuição as classes de uso e cobertura dos solos está apresentada na figura 39. O uso da terra que ocupa maior proporção é a pastagem, resultando em um elevado grau de antropização da bacia.

Figura 39 - Mapa de Uso e Cobertura dos Solos, conforme dados de Mapbiomas (2022).



Segundo Brito Neto et. Al (2020), a cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio Pardo mudou ao longo dos anos com a agricultura e sendo a classe florestal a que apresentou maior variação entre os períodos analisados. Nos anos de 2001 a 2016 houve aumento de mais de 4 % na área destinada à agricultura e uma redução cerca de 5 % na área florestal. Com pequenas alterações, as classes de formações naturais não florestais, áreas sem vegetação e água sofreram aumentos de 0,49%, 0,45% e 0,04%, respectivamente.

A tabela 11 apresenta as classes de uso e cobertura da bacia em estudo. As classes mais representativas são: Pastagem (36,53%), Formação Savânica (29,87%), Formação Florestal (17,94%), mosaico de usos (8,67%) e Silvicultura (4,48%), correspondendo a mais de 97% das classes de uso e cobertura encontrada na área da bacia. As demais classes somam menos que 3%. Serão descritas em seguidas apenas as classes de maior representatividade.

Tabela 11 – Classes de uso e cobertura dos solos, área e porcentagem de área.

| Classes de Uso e Cobertura | Área (km²) | Área (%) | |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------------|------|
| Cana | 0,01 | Somam menos que 3 % | |
| Outras Formações não Florestais | 0,02 | | |
| Praia, Duna e Areal | 0,03 | | |
| Apicum | 0,06 | | |
| Aquicultura | 1,39 | | |
| Mineração | 1,75 | | |
| Restinga Arbórea | 7,41 | | |
| Restinga Herbácea | 7,45 | | |
| Outras Lavouras Perenes | 23,57 | | |
| Mangue | 26,15 | | |
| Outras Lavouras Temporárias | 38,18 | | |
| Campo Alagado e Área Pantanosa | 40,42 | | |
| Outras Áreas não Vegetadas | 52,55 | | |
| Rio, Lago e Oceano | 79,06 | | |
| Afloramento Rochoso | 87,09 | | |
| Formação Campestre | 110,5 | | |
| Área Urbanizada | 156,94 | | |
| Café | 183,02 | | |
| Silvicultura | 1458,4 | | 4,48 |
| Mosaico de Usos | 2818,26 | | 8,67 |
| Formação Florestal | 5834,83 | 17,94 | |
| Formação Savânica | 9712,43 | 29,87 | |
| Pastagem | 11879,26 | 36,53 | |
| Total | 32518,78 | 100 | |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Pastagem: É a área destinada ao pastoreio de gado, composta por forragens perenes ou pela melhoria de pastagens naturais. Nesses locais, o solo é coberto por vegetação de gramíneas e/ou leguminosas, cuja altura pode variar de decímetros a metros. A atividade predominante é a pecuária, que combina ciência e tecnologia para a produção de animais domésticos com fins econômicos, incluindo a criação e manejo de animais de grande, médio e pequeno porte (IBGE, 2013). Essa área ocupa 11.879,26 km², representando mais de 36% da totalidade da bacia.

Formação Savânica: Nesse tipo de cobertura vegetal predominam as gramíneas, arbustos e árvores esparsas e uma variedade de plantas adaptadas às condições de seca. Esse tipo de ecossistema geralmente ocorre em regiões com clima sazonal, apresentando uma estação chuvosa e outra seca. Na bacia em estudo ocupa a segunda maior área, com 9712,43 km², o qual corresponde a cerca de 30% da área da bacia.

Formação Florestal: são os tipos de cobertura vegetal com predomínio de dossel contínuo. Consideram-se florestais as formações arbóreas com porte superior a 5 metros de altura, incluindo-se aí as áreas de Florestas Ombrófilas, Estacionais e Mistas, além de Savanas e Campinaranas Florestadas e Manguezais, conforme o Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013). Na bacia ocupa uma área de 5834,83 km², correspondendo a 17,94% da área da bacia.

Mosaico de usos: São áreas caracterizadas por ocupação mista de atividades agrícolas, pastagem e/ ou silvicultura associadas ou não a remanescentes florestais, na qual não se pode individualizar seus componentes na escala adotada. Ocupa na bacia uma área de 2818,26 km², correspondendo a 8,67 % da área da bacia.

Silvicultura: Envolve ações de planejamento, manejo e cultivo de florestas, garantindo sua proteção e conservação como fonte de matéria-prima para a indústria madeireira, de papel e celulose, além do consumo familiar. Essa atividade também atua como um agente de proteção e embelezamento da paisagem. Na bacia, essa atividade ocupa uma área de 1.458,4 km², o que representa apenas 4,48% da área total de estudo.

4.2.4 Pedologia

Segundo o Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015) define solo como o material mineral e/ou orgânico inconsolidado na superfície da terra que serve como meio natural para o crescimento e desenvolvimento de plantas terrestres.

De acordo com o GAMA ENGENHARIA E RECURSOS HÍDRICOS (2013), a caracterização dos solos de bacias hidrográficas objetiva a identificação das unidades predominantes na região e a apresentação de informações detalhadas que permitam o conhecimento deste recurso e orientem as formas de manejo mais adequadas. O solo assim como a água são recursos naturais indispensáveis para atividades como agricultura e pecuária, porém, a depender da forma como são explorados esses recursos podem sofrer degradação.

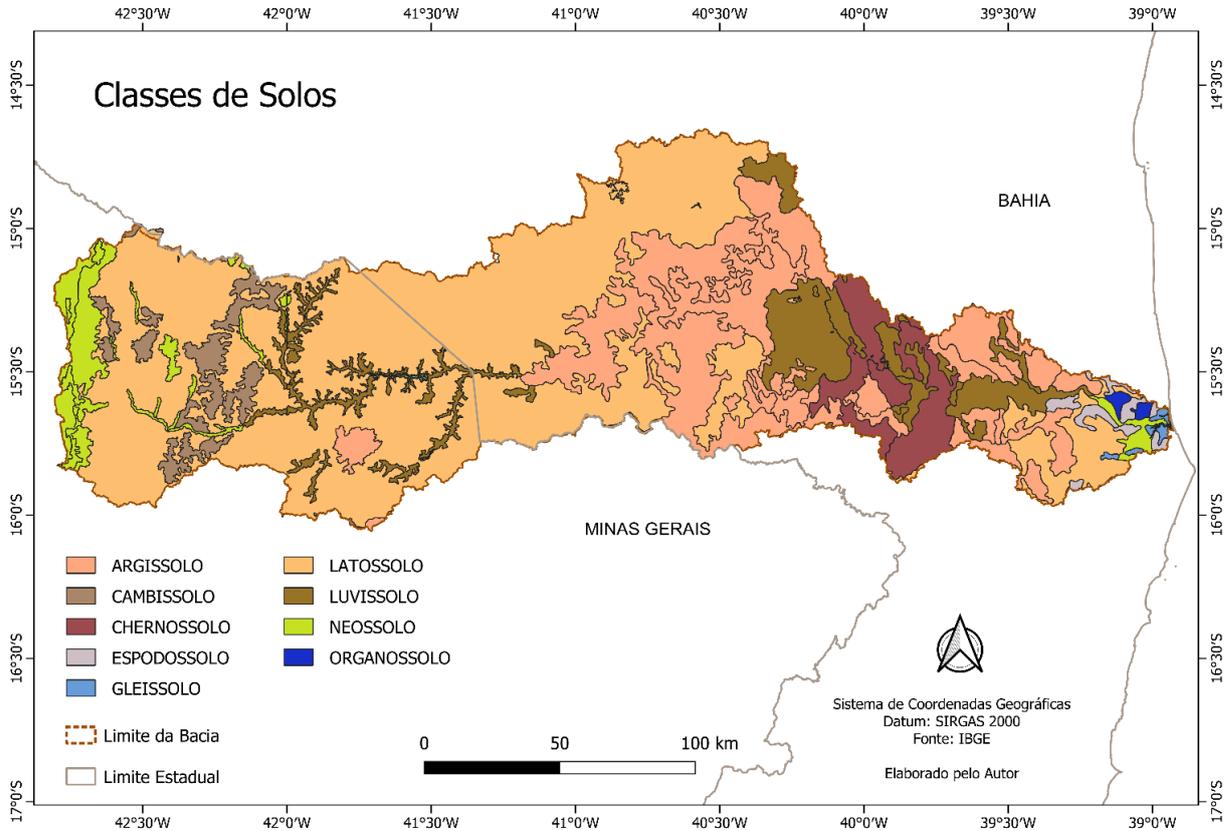
Foram identificadas na bacia nove (9) tipos de solos, conforme dados obtidos pelo IBGE (2023). A tabela 12 apresenta os tipos de solos, a área ocupada por cada tipo de solo e seu percentual de área ocupada na bacia em estudo. As unidades pedológicas da área da bacia do rio Pardo estão representadas na Figura 40. Em seguida são descritos os tipos e suas características a partir da compilação das informações do Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Santos et. al, 2018), Manual Técnico de Pedologia e do trabalho desenvolvido pelo GAMA ENGENHARIA E RECURSOS HÍDRICOS (2013) na porção mineira da bacia.

Tabela 12: Tipos de solos, área e percentagem de área.

| Tipos de solos | Área (km²) | Área (%) |
|-----------------------|------------------------------|-----------------|
| Argilossolos | 7169 | 22,09 |
| Cambissolos | 1097 | 3,38 |
| Chernossolos | 1618 | 4,99 |
| Espodossolos | 300,56 | 0,93 |
| Gleissolos | 102 | 0,31 |
| Latossolos | 17544,23 | 54,06 |
| Luvissolos | 3158 | 9,73 |
| Neossolos | 1381,72 | 4,26 |
| Organossolos | 82,23 | 0,25 |
| Total | 32452,74 | 100 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 40 - Classes de Solos



Argilossolos: Os Argilossolos é o tipo de solos mais predominante na bacia, possuindo uma área de 7169 km², correspondendo a 22,09 %. Estão presentes em maior parte na região central da bacia. Ocorre também na porção leste da bacia nos municípios de Belmonte, Canavieiras, Mascote, Camacan, Potiraguá e Pau Brasil. Na porção oeste ocorre em uma pequena área abrangendo os municípios de Berizal, Cural de Dentro e norte de Santa Cruz de Salinas.

Cambissolos: Na área da bacia ocupa uma área de 1097 km², correspondendo apenas a 3,38 % da área da bacia em estudo. Ocorre numa faixa com direção aproximadamente Norte-Sul na porção do alto curso da bacia.

Chernossolos: Sua ocorrência na bacia abrange uma área de 1618 km², aproximadamente 5 % da área da bacia. Surge nos municípios de Itapetinga, Maiquinique, Itarantim, Pau Brasil e Potiraguá, no baixo curso da bacia.

Espodossolos: Sua ocorrência na bacia está limitada na porção leste da bacia no baixo curso, nas proximidades da foz do rio Pardo. Surge nos municípios de Mascote, Belmonte e Canavieiras. Esta classe de solos abrange uma área de 300,56 km², correspondendo cerca de 1% da área da bacia.

Gleissolos: Abrange uma área de aproximadamente 102 km², o que corresponde apenas 0,31 % da área da bacia. Surge nas proximidades da foz do rio Pardo, em grande parte no município de Canavieiras.

Latossolos: Os Latossolos compreendem a maior área da bacia com 17544,23 km², representando cerca de 54 % da área total da bacia hidrográfica. Estão presentes na área das nascentes a norte e sul do alto curso da bacia, abrangendo grande parte na porção oeste, seguindo até a porção central. Ocorre também em menor área na porção leste da bacia, nos municípios de Belmonte, Canavieiras e Mascote, na região do baixo curso da bacia.

Luvissolos: Sua ocorrência na bacia se dá nas margens do rio Pardo e afluentes na porção do alto-médio curso da bacia já na sua parte mineira e nos municípios baianos de Candido Sales e Encruzilhada e sul de Vitória da conquista. Ocorre também na porção norte da bacia em território baiano, nos municípios de Planalto e Nova Canaã. A maior área de Luvissolos na bacia ocorre em seu médio-baixo curso da bacia entre os municípios de Macarani e Santa Luzia. A área de ocorrências apresenta 3158 km², correspondendo a 9,73 % da área de estudo.

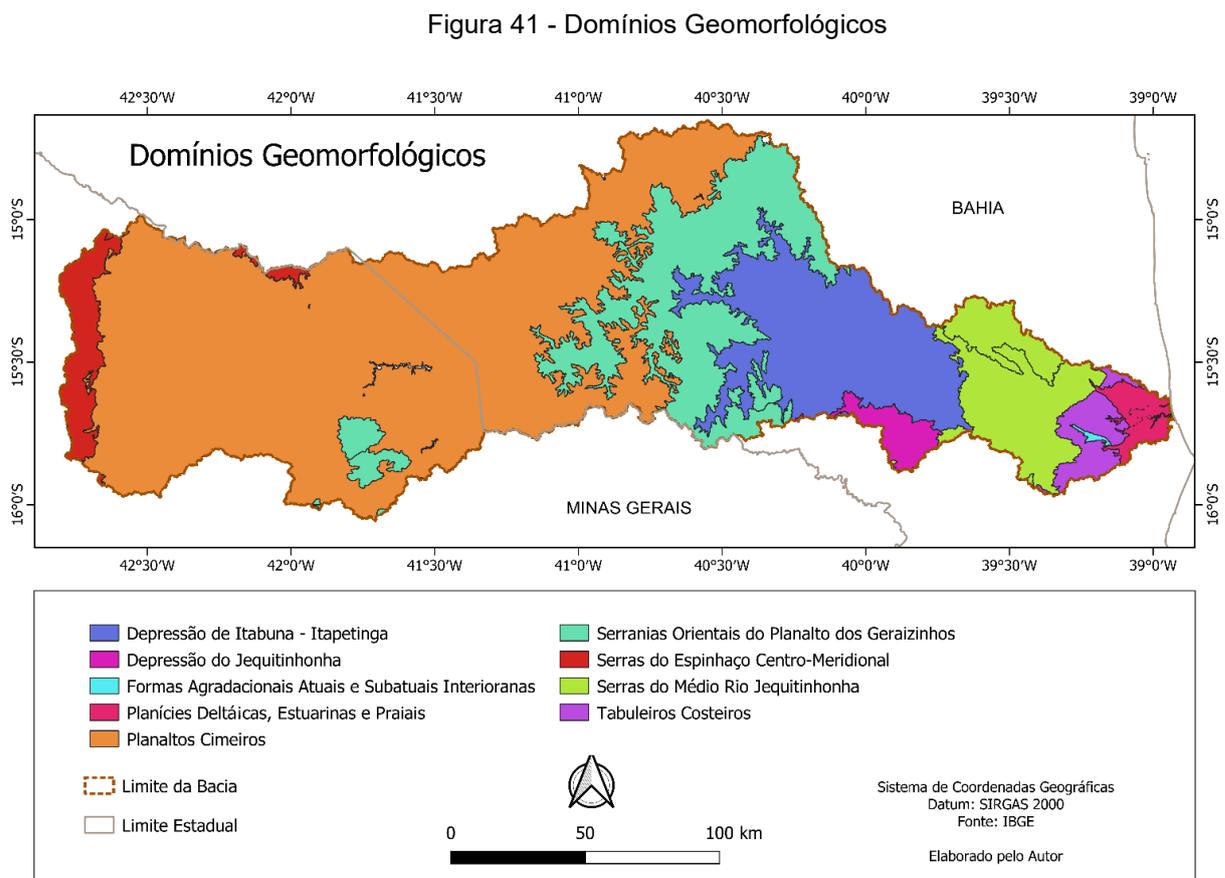
Neossolos: Na área da Bacia ocorre em duas porções extremas. Surgindo no trecho superior do alto curso da bacia, envolvendo toda a faixa associada a Serra do Espinhaço e nos vales fluviais do rio Pardo e seus afluentes. Na porção leste ocorre nas planícies fluviais, no município de Canavieiras. Sua área de abrangência é de 1381,72 km², correspondendo a 4,26 % da área da bacia.

Organossolos: Sua ocorrência na bacia se limita a uma pequena área a norte do município de Canavieiras. Sua área de abrangência é de 82,23 km², correspondendo a 0,25 % da área da bacia.

4.2.5 Geomorfologia

Para a compartimentação geomorfológica da área da bacia hidrográfica do rio Pardo foram consideradas as regiões geomorfológicas, definidas pelo IBGE (2009) como compartimentos inseridos nos conjuntos litomorfoestruturais que, sob a ação dos fatores climáticos pretéritos e atuais, lhes conferem características genéticas comuns, agrupando feições semelhantes, associadas às formações superficiais e às fitofisionomias, em consonância com algumas regiões classicamente reconhecidas. De acordo com GAMA ENGENHARIA E RECURSOS HÍDRICOS (2013), a geomorfologia da bacia possui uma forte interação com as características geológicas.

Dessa forma, foram identificados 9 domínios geomorfológicos na bacia hidrográfica do rio Pardo (Figura 41), conforme dados obtidos do IBGE.



As características de cada domínio geomorfológico serão descritas a seguir com base nas informações compiladas de BRASIL (1981), GAMA ENGENHARIA E RECURSOS HÍDRICOS (2013) e do Manual Técnico de Geomorfologia, publicado em 2009 pelo IBGE.

Depressão Itabuna-Itapetinga: Trata-se de uma faixa caracterizada por um modelado de relevo montanhoso e ondulado. Surgem, na maioria das vezes, como grupos de elevações residuais, geralmente dissecados, em colinas e morros convexo-concavos, eventualmente rochosos (FRANCO et. al, 2012). Ocupa uma área de 4445 km², correspondendo a 13,65 % da área da bacia.

Depressão do Jequitinhonha: A depressão do Baixo Jequitinhonha são áreas rebaixadas, que acompanham o vale do rio Jequitinhonha e de alguns de seus afluentes. O relevo é aplainado a pouco ondulado. As altitudes variam de 400m a 150m (FREITAS, 2017). Na área da bacia em estudo encontra-se na porção a sul do município de Potiraguá e porção central de Itarantim. Ocupa uma área de 486 km², representando cerca de 1,5 % da área da bacia.

Formas Agradacionais Atuais e Subatuais Interioranas: Se estendem por uma estreita faixa no município de Canavieiras, acompanhando os vales de rios afluentes do rio Pardo (BRASIL,1981). Ocupa uma área de aproximadamente 30 km², correspondendo a menos de 1% da área de estudo.

Planícies Deltaicas, Estuarinas e Praiais: Conforme (BRASIL, 1981), engloba modelados de origem marinha, fluviomarinha coluvial e eólica que traduzem as etapas de evolução do litoral e dos cursos inferiores dos rios. Tem grande expressão areal nas planícies deltaicas do rio Pardo. Na área da bacia encontra-se quase que totalmente no município de Canavieiras e uma pequena parte em Belmonte. Apresenta uma área de 452,8 km², representando cerca de 1,4 % da área.

Planalto Cimeiro: Compreende feições de relevo e formações superficiais que se individualizam principalmente em consequência de sua evolução morfogenética. Apresenta-se como a maior unidade geomorfológica da área da bacia com 17640, 86 km², o que corresponde a cerca de 54 % da área da bacia.

Serranias Orientais do Planalto dos Geraizinhos: Esta unidade estende-se a leste e sudeste do setor meridional dos Planaltos dos Geraizinhos, representando um nível intermediário entre aqueles planaltos e a Depressão de Itabuna-Itapetinga, prolongando-se, ao sul, até o limite da bacia. Ocupa uma área de 5349,15 km², correspondendo a 16,42 % da área da bacia.

Serra do Espinhaço Centro-Meridional: Segundo GAMA ENGENHARIA E RECURSOS HÍDRICOS (2013), é caracterizada por um conjunto de cristas, picos e colinas fortemente onduladas, que se encontram alinhadas na direção Norte-Sul. Esta unidade, na bacia, encontra-se a norte de São João do Paraíso e mais expressivo no extremo oeste da bacia, separando a Bacia do rio Pardo da Bacia do São Francisco. Ocupa uma área de 1057,8 km², representando 3,25 % da área da bacia.

Serras do Médio Jequitinhonha: Esta unidade abrange os relevos montanhosos entremeados por áreas relativamente planas. Faz parte das serras e maciços pré-litorâneas descritas no mapeamento geomorfológico da folha SD.24 Salvador (BRASIL, 1981). Na área da bacia, ocorre numa faixa abrangendo os municípios de Belmonte, Camacan, Mascote, Potiraguá, Canavieiras e Pau Brasil. Abrange uma área de 2438,66 km², correspondendo a aproximadamente 7,5 % da área da bacia.

Tabuleiros Costeiros: Na área da bacia encontra-se numa faixa que vai da porção sul de Belmonte a oeste do município de Canavieiras, numa direção norte-sul. Apresenta uma área de 669,74 km², representando 2,06% da área.

4.2.6 Geologia

A litoestratigrafia da área da Bacia do Rio Pardo é bastante diversificada, sendo composta por diversas formações e tipos litológicos formados ao longo de quase toda a escala do tempo Geológico, com idades que vão do período Arqueno (3300 Milhões de anos) até a idade holocênica (10 000 anos). A tabela 13 apresenta uma síntese das formações e tipos litológicos presentes na bacia e distribuídas ao longo da escala

do tempo geológico. O Tempo Geológico está dividido em intervalos que possuem um significado em termos de evolução da Terra. A Escala do Tempo Geológico está dividida em graus hierárquicos cada vez menores da seguinte forma: éons, eras, períodos, épocas e idades.

Tabela 13: Distribuição das unidades litoestratigráfica presente na bacia hidrográfica do rio Pardo na escala do tempo geológico.

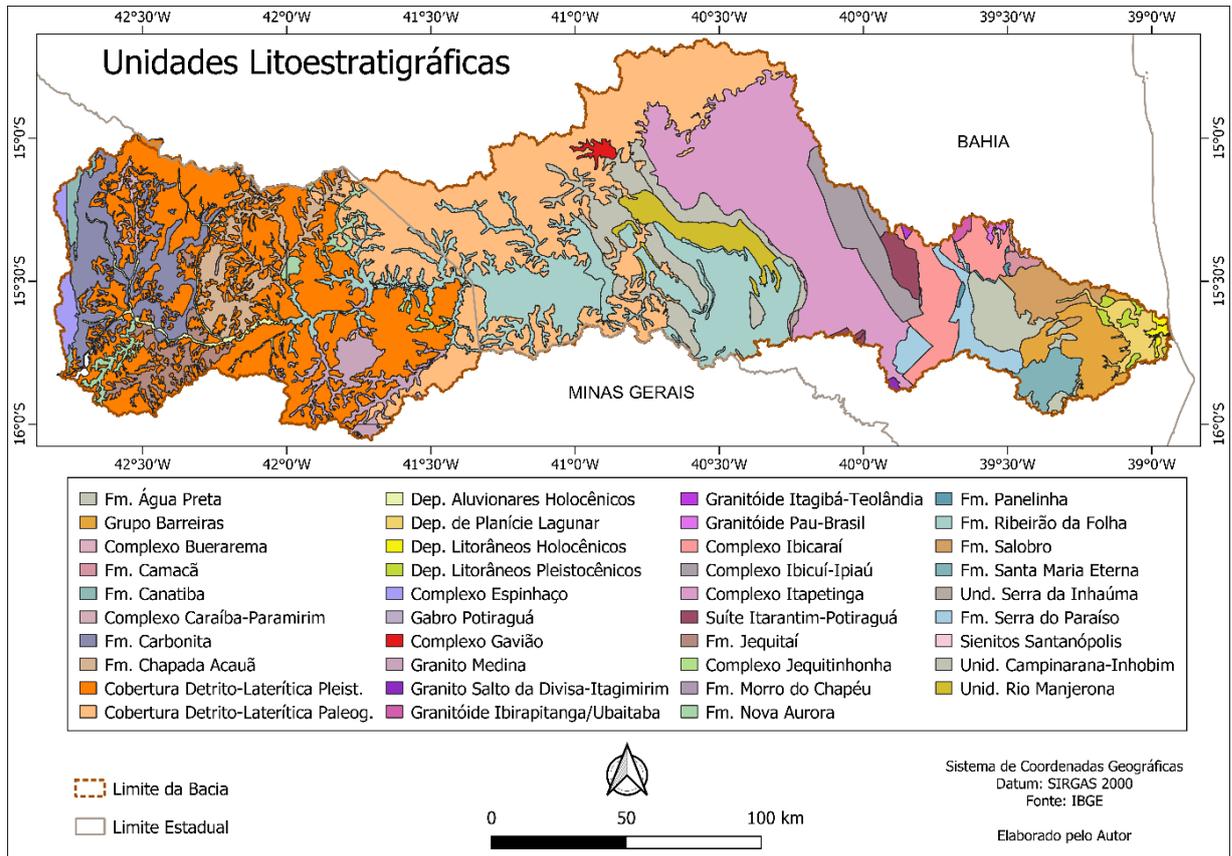
| ÉON | ERA | PERÍODO | IDADE (Milhões de anos) | Unidades Presentes na BHRP | |
|--------------------|-------------------|-------------|-----------------------------------|----------------------------|---|
| FANEROZOICO | CENOZOICO | QUATERNÁRIO | HOLOCENO | 0,01 - Recente | Depósitos litorâneos; Depósitos aluvionares; Depósito de planície lagunar |
| | | | PLEISTOCENO | 1,75 - 0,01 | Coberturas detrito-lateríticas; Depósitos litorâneos Pleistoceno; |
| | | TERCIÁRIO | NEÓGENO | 23,5 - 1,75 | Grupo Barreiras |
| | | | PALEÓGENO | 65 - 23,5 | Coberturas detrito-lateríticas |
| | MESOZOICO | CRETÁCEO | | 145 - 65 | - |
| | | JURÁSSICO | | 203 - 145 | - |
| | | TRIÁSSICO | | 250 - 203 | - |
| | PALEOZOICO | PERMIANO | | 295 - 250 | - |
| | | CARBONÍFERO | | 360 - 295 | - |
| | | DEVONIANO | | 420 - 360 | - |
| | | SILURIANO | | 435 - 420 | - |
| | | ORDOVICIANO | | 500 - 435 | - |
| CAMBRIANO | | 543 - 500 | Granito Medina; Formação Salobro; | | |
| NEPROTEROZOICO III | | 650 - 543 | - | | |
| PROTEROZOICO | NEOPROTEROZOICO | CRIOGENIANO | | 850 - 650 | Formação Camacã; Formação Água Preta; Formação Carbonita; Formação Chapada - Acauã; Formação Ribeirão da Folha; Complexo Jequitinhonha; Formação Jequitaí; Suíte Alcalina Itarantim – Potiraguá Corpo Gabro-anortosítico Potiraguá |
| | | TONIANO | | 1000 - 850 | Granito Salto da Divisa - Itagimirim; Unidade Serra Inhaúma; Formação Canatiba; Formação Nova Aurora; Unidade Rio Manjerona; Formação Serra do Paraíso; Formação Santa Maria Eterna; Formação Panelinha |
| | MESOPROTEROZOICO | ESTENIANO | | 1200 - 1000 | Formação Morro do Chapéu |
| | | ECTASIANO | | 1400 - 1200 | - |
| | | CALIMINIANO | | 1600 - 1400 | - |
| | PALEOPROTEROZOICO | ESTATERIANO | | 1800 - 1600 | Complexo Espinhaço |
| | | OROSIRIANO | | 2050 - 1800 | - |
| | | RIACIANO | | 2300 - 2050 | Sienitos Santanópolis - São Félix - Anuri; Granitóide Pau-Brasil; Granitóide Itajibá-Teolândia; Complexo Buerarema |
| | | SIDERIANO | | 2500 - 2300 | Granitóide Ibirapitanga - Ubaitaba; Complexo Itapetinga |
| | ARQUEANO | NEOARQUEANO | | 2800 - 2500 | Complexo Ibicuí-Ipiaú; Complexo Caraíba |
| MESOARQUEANO | | 3200 - 2800 | Complexo Ibicaraí | | |
| PALEOARQUEANO | | 3600 - 3200 | Complexo Gavião | | |

Fonte: Elaborado pelo Autor

O mapa da figura 42 apresenta a distribuição espacial destas rochas na área da bacia. Serão descritas de forma sucinta cada uma destas unidades, a começar por aquelas de maior idade geológica. As informações foram obtidas principalmente do livro Geologia da Bahia – Pesquisa e atualização - Volumes 1 e 2 (2012) e do mapa

geológico da folha SD.24 Salvador da cartografia oficial da CPRM publicado no ano de 2003.

Figura 42 - Mapa das Unidades Litoestratigráficas da BHRP.



A partir dos dados obtidos, de uma maneira geral, predominam os sedimentos clásticos da unidade denominada cobertura detrito-laterítica do paleógeno, correspondendo a mais de 19% da superfície da bacia, seguido pelos sedimentos clásticos da unidade cobertura detrito-laterítica do pleistoceno, com mais de 18%. Ocorre ainda uma ampla variedade de rochas ígneas, metamórficas e metassedimentares (pelitos, arenitos, siltitos, quartzitos) que somadas cobrem aproximadamente 52%. Sendo o proterozóico com o maior número de unidades litológicas na bacia.

4.3 Mapeamento das áreas susceptíveis a inundações

4.3.1 Seleção dos fatores condicionantes a inundação

Para o mapeamento das áreas susceptíveis a inundação na área da bacia hidrográfica do rio Pardo foi utilizada os fatores declividade, hipsometria, pedologia e uso e ocupação do solo.

Declividade: As classes do fator declividade foi subdividido em seis classes distintas, conforme estabelecido pela Santos et.al. (2018), sendo estas: 0-3% (terreno plano), 3-8% (terreno suavemente ondulado), 8-20% (terreno ondulado), 20-45% (terreno fortemente ondulado), 45-75% (terreno montanhoso) e maior que 75% (terreno fortemente montanhoso).

Hipsometria: O fator hipsometria foi subdividido em intervalos constantes de 250m entre as altitudes, variando de altitudes com valores 0 a altitudes acima de 1500 metros, totalizando 7 classes distintas.

Pedologia: O fator pedologia foi subdividido em nove classes distintas, conforme estabelecido no 1º nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos elaborado pela Santos et.al. (2018), sendo estas: ARGISSOLOS, CAMBISSOLOS, CHERNOSSOLOS, ESPODOSSOLOS, GLEISSOLOS, LATOSSOLOS, LUVISSOLOS, NEOSSOLOS e ORGANOSSOLOS.

Uso e ocupação dos solos: O fator uso e ocupação do solo apresentou 23 classes distintas: Cana; Outras Formações não Florestais; Praia, Duna e Areal; Apicum; Aquicultura; Mineração; Restinga Arbórea; Restinga Herbácea; Outras Lavouras Perenes; Mangue; Outras Lavouras Temporárias; Campo Alagado e Área Pantanosa; Outras Áreas não Vegetadas; Rio, Lago e Oceano (Corpos d'água); Afloramento Rochoso; Formação Campestre; Área Urbanizada; Café; Silvicultura; Mosaico de Usos; Formação Florestal; Formação Savânica e Pastagem.

Para uma melhor atribuição de notas, algumas classes foram agrupadas em uma única classe de forma que o fator uso e ocupação ficou subdividida nas seguintes classes: **Agropecuária** (incluídas Cana, Café Outras lavouras perenes e Outras

lavouras temporárias, Pastagem, Silvicultura, Mosaico de usos); **Formação Natural não florestal** (incluídas Apicum, Restinga Herbácea, Campo Alagado e Área Pantanosa, Outras Formações não Florestais, Afloramento Rochoso e Formação Campestre); **Área não vegetada** (Praia, Duna e Areal; Mineração; Área Urbanizada; Outras Áreas não Vegetadas); **Formação Florestal**; **Formação Savânica**; **Mangue**; **Restinga Arbórea**; **Corpos d'água** (Aquicultura ; Rio, Lago e Oceano)

4.3.2 Reclassificação dos fatores quanto à susceptibilidade a inundações

Com os fatores condicionantes à inundação definidos, foram atribuídas notas as classes representantes destes, de acordo com seu grau de influência ao evento inundação. A tabela 14 apresenta as notas atribuídas as classes de cada fator.

Tabela 14 - Ponderação das classes dos fatores condicionantes a inundação

| Fator | Classes | Ponderação |
|--------------------------|--------------------------------|------------|
| Declividade | 0 - 3 % | 10 |
| | 3 - 8 % | 7 |
| | 8 - 20 % | 5 |
| | 20 - 45 % | 4 |
| | 45 - 75 % | 3 |
| | > 75 % | 1 |
| Hipsometria | 0 - 250 m | 10 |
| | 250 - 500 m | 9 |
| | 500 - 750 m | 8 |
| | 750 - 1000 m | 6 |
| | 1000 - 1250 m | 3 |
| | 1250 - 1500 m | 2 |
| | acima de 1500 m | 1 |
| Pedologia | GLEISSOLOS | 10 |
| | ORGANOSSOLOS | 9 |
| | LUVISSOLOS | 7 |
| | CHERNOSSOLOS | 6 |
| | ARGISSOLOS | 5 |
| | LATOSSOLOS | 5 |
| | NEOSSOLOS | 3 |
| | CAMBISSOLOS | 2 |
| | ESPODOSSOLOS | 1 |
| Uso e ocupação dos solos | Corpos d'água | 10 |
| | Mangue | 9 |
| | Área Não Vegetada | 8 |
| | Agropecuária | 7 |
| | Formação Natural Não Florestal | 3 |
| | Restinga Arbórea | 2 |
| | Formação Savânica | 1 |
| | Formação Florestal | 1 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

4.3.3 Aplicação do método multicritério AHP

Na janela “AHP Criteria name”, foram preenchidas as lacunas com os nomes dos fatores preponderantes (Figura 43). O preenchimento dos nomes dos fatores na tabela de prioridades AHP teve a seguinte ordem: Declividade, Hipsometria, Pedologia e Uso e Ocupação dos Solos.

Figura 43 - Preenchimento dos nomes dos fatores preponderantes a inundação.

AHP Criteria Names

Please fill out

| AHP priorities | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Name of Criteria | |
| 1 | Declividade |
| 2 | Hipsometria |
| 3 | Pedologia |
| 4 | Uso e Ocupação dos Solos |
| max. 45 character ea. | |
| <input type="button" value="OK"/> | |

AHP-OS author: Klaus D. Goepel, BPMSG. [Contact](#) Last update: Feb 11, 2022 Rev: 120

Fonte: <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>.

A figura 44 é o resultado da comparação entre os quatros fatores, retornando 6 tipos de comparações pareadas, que devem ser julgados fazendo a seguinte pergunta: “qual fator é mais importante e quanto importante é esse fator em relação ao outro numa escala de 1 a 9?

Na linha 1, 2,e 3 o fator declividade é mais importante, respectivamente, que hipsometria, pedologia e uso e ocupação dos solos. Sendo, respectivamente, três, sete e três vezes mais importante.

Na linha 4 e 5 o fator hipsometria é mais importante, respectivamente, que pedologia e Uso e ocupação dos solos. Sendo, respectivamente, dois e três vezes mais importante.

Na linha 6 o fator Uso e ocupação dos solos é mais importante que pedologia. Sendo três vezes mais importante.

A figura 44 apresenta os julgamentos dos fatores conforme sua importancia ao evento inundação. A tabela 15 apresenta a matriz de prioridade dos fatores atribuídos as notas a partir do julgamento dos fatores de cada linha pelo fator de cada coluna.

Figura 44 - Julgamento das notas dos fatores.

| | A - wrt AHP priorities - or B? | | Equal | How much more? | | | | | | | |
|---|--|---|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | <input checked="" type="radio"/> Declividade | <input type="radio"/> Hipsometria | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 | <input checked="" type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 8 | <input type="radio"/> 9 |
| 2 | <input checked="" type="radio"/> Declividade | <input type="radio"/> Pedologia | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 | <input type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input checked="" type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 8 | <input type="radio"/> 9 |
| 3 | <input checked="" type="radio"/> Declividade | <input type="radio"/> Uso e Ocupação dos Solos | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 | <input checked="" type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 8 | <input type="radio"/> 9 |
| 4 | <input checked="" type="radio"/> Hipsometria | <input type="radio"/> Pedologia | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 | <input type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 4 | <input checked="" type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 8 | <input type="radio"/> 9 |
| 5 | <input checked="" type="radio"/> Hipsometria | <input type="radio"/> Uso e Ocupação dos Solos | <input type="radio"/> 1 | <input checked="" type="radio"/> 2 | <input type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 8 | <input type="radio"/> 9 |
| 6 | <input type="radio"/> Pedologia | <input checked="" type="radio"/> Uso e Ocupação dos Solos | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 | <input checked="" type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 8 | <input type="radio"/> 9 |

Fonte: <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>.

Tabela 15 - Matriz de comparação para obtenção dos pesos das variáveis.

| Fatores | Declividade | Hipsometria | Pedologia | Uso e Ocupação dos Solos |
|--------------------------|-------------|-------------|-----------|--------------------------|
| Declividade | 1 | 3 | 7 | 3 |
| Hipsometria | 0,33 | 1 | 5 | 2 |
| Pedologia | 0,14 | 0,2 | 1 | 0,33 |
| Uso e Ocupação dos Solos | 0,33 | 0,5 | 3 | 1 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Após preencher as seis comparações pareadas e executar a calculadora, o valor de CR é obtido (Figura 45). Para que o valor de CR esteja dentro do permitido, seu valor deve ser inferior a 10%.

Figura 45 - Valor de CR após realização dos julgamentos das notas

| A - wrt AHP priorities - or B? | | Equal | How much more? |
|--------------------------------|---|-------------------------|--|
| 1 | <input checked="" type="radio"/> Declividade <input type="radio"/> Hipsometria | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 |
| 2 | <input checked="" type="radio"/> Declividade <input type="radio"/> Pedologia | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input checked="" type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 |
| 3 | <input checked="" type="radio"/> Declividade <input type="radio"/> Uso e Ocupação dos Solos | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 |
| 4 | <input checked="" type="radio"/> Hipsometria <input type="radio"/> Pedologia | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 |
| 5 | <input checked="" type="radio"/> Hipsometria <input type="radio"/> Uso e Ocupação dos Solos | <input type="radio"/> 1 | <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 |
| 6 | <input type="radio"/> Pedologia <input checked="" type="radio"/> Uso e Ocupação dos Solos | <input type="radio"/> 1 | <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 |

CR = 2.7% OK

Calculate Download (.csv) dec. comma

Fonte: <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>.

A figura 46 apresenta os pesos resultantes para os fatores com base em suas comparações pareadas.

Figura 46 - Resultados dos pesos para cada fator

| Cat | | Priority | Rank |
|-----|--------------------------|----------|------|
| 1 | Declividade | 53.2% | 1 |
| 2 | Hipsometria | 25.4% | 2 |
| 3 | Pedologia | 5.8% | 4 |
| 4 | Uso e Ocupação dos Solos | 15.6% | 3 |

Fonte: <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>.

A tabela 16 apresenta a matriz de prioridade dos fatores e o peso calculado para cada fator.

Tabela 16 - Matriz pareada com resultado dos pesos de cada fator.

| Fatores | Declividade | Hipsometria | Pedologia | Uso e Ocupação dos Solos | Pesos |
|--------------------------|-------------|-------------|-----------|--------------------------|-------|
| Declividade | 1 | 3 | 7 | 3 | 0,532 |
| Hipsometria | 1/3 | 1 | 5 | 2 | 0,254 |
| Pedologia | 1/7 | 1/5 | 1 | 1/3 | 0,058 |
| Uso e Ocupação dos Solos | 1/3 | 1/2 | 3 | 1 | 0,156 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Pela tabela 14 é possível verificar que o fator de maior contribuição para a ocorrência de inundações foi a declividade, representando 53,2% do peso total, seguido pela hipsometria com 25,4 % e uso do solo com 15,60%. A menor influência constatada foi do fator pedologia, o qual contribui com apenas 5,8% do peso total.

A veracidade de representação dos pesos para o processo de mapeamento a inundações foi estimada por meio do cálculo da razão de consistência (RC), sendo obtido como resultado um valor de 2,7%. Um RC menor que 10% indicam que os pesos calculados são aceitáveis e o modelo construído é consistente.

4.3.4 Utilização de álgebra de mapas

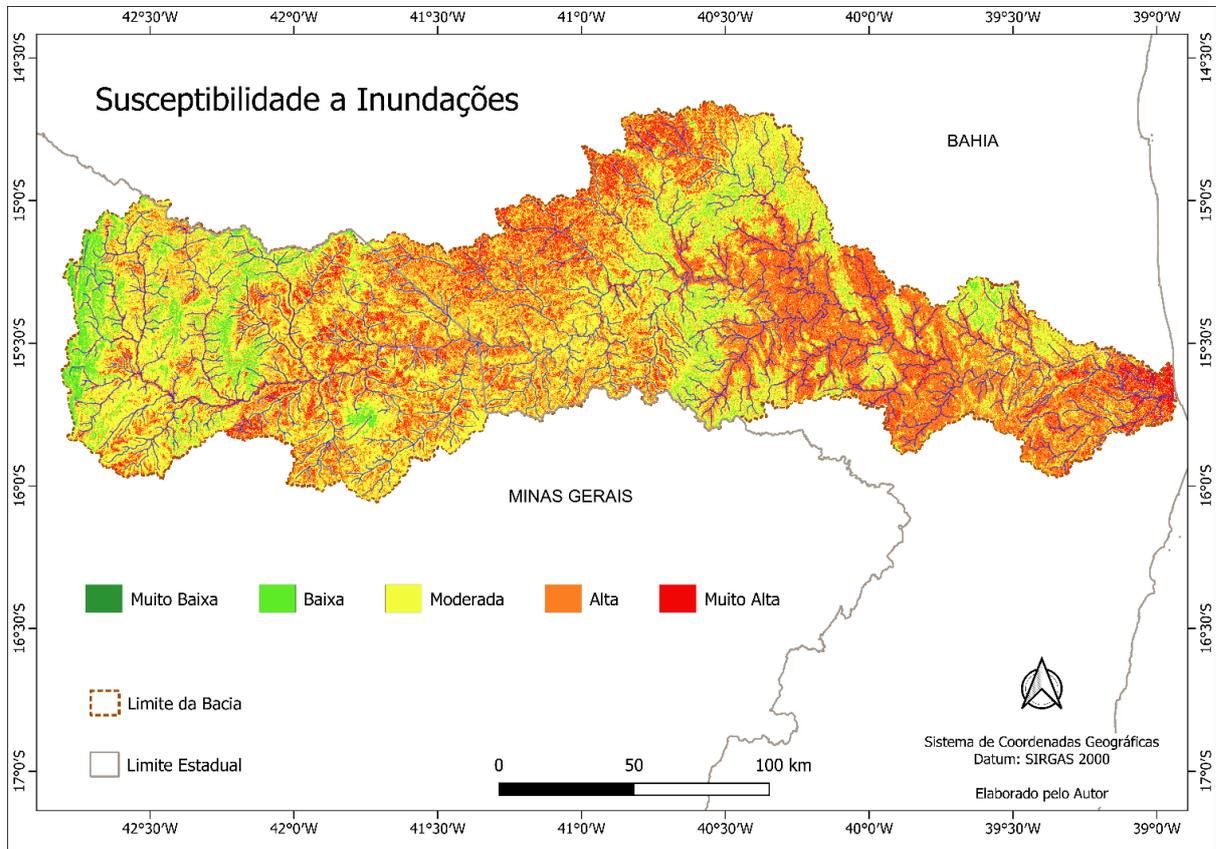
Para a álgebra de mapas utilizou-se os pesos dos fatores obtidos anteriormente aplicando-os a seguinte fórmula:

$$\text{Susceptibilidade a Inundação} = 0,058 \text{ (Pedologia)} + 0,156 \text{ (Uso e Ocupação do Solo)} + 0,254 \text{ (Hipsometria)} + 0,532 \text{ (Declividade) Eq.}$$

4.3.5 Mapa de susceptibilidade a inundações

Após realização da álgebra dos mapas foi gerado um arquivo raster das áreas susceptíveis a inundações. As células desse arquivo raster contêm valores que variam de 1 a 10, onde os valores mais próximos de 1 são referentes às áreas com menor susceptibilidade a inundações e os valores mais próximos de 10, com maior susceptibilidade. O mapa da figura 47 foi dividido em cinco categorias, como área de muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta susceptibilidade a inundações.

Figura 47 - Mapa de susceptibilidade a inundações



A área da bacia obteve os seguintes indicadores em relação a área susceptíveis a inundação: Muito Alta (49,2%), Alta (35,9%), Moderada (9,5%), Baixa (5,4%) e muito baixa (0,02%). As categorias alta a muito alta correspondem a mais de 85% da área, mostrando-se que a bacia teria forte tendência a ser inundada em eventos extremos de precipitação.

O fator declividade, dentre os quatro fatores preponderantes ao risco inundação, é o que mais contribui ao risco inundação na bacia, com peso maior que 53%, como pode ser verificado na seção anterior. A inclinação do terreno tem forte influência na velocidade com que a água se move. Dessa forma, nas áreas com menor declividade, as águas escoam de forma mais lenta, favorecendo o acúmulo por mais tempo. Em contraste, em áreas com maior declividade, a água tende a escoar mais rapidamente, reduzindo a probabilidade de acúmulo excessivo. Então, é de se esperar

que as áreas de alta a muito alta susceptibilidade a inundação coincidam com as áreas de menores declividades.

A partir do mapa de susceptibilidade pode-se verificar que as áreas que possuem declividades planas (0 – 3%) e suave-ondulados (3 – 8%) estão mais susceptíveis a inundações (cores laranjas a vermelhas). Estas duas classes de declividades estão presentes por toda a área da bacia, desde as de menores altitudes, como no caso das áreas próximas a foz, até as de maiores altitudes, como nas áreas mais a oeste da bacia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos, de uma forma geral, possibilitaram compreender os aspectos morfométricos e ambientais da bacia hidrográfica do rio Pardo, além de fornecerem importantes informações para estudos futuros.

Espera-se com este estudo poder contribuir para a disseminação do conhecimento da bacia, principalmente na porção de domínio do estado da Bahia, o qual se apresenta escassa de informação quando relacionada a sua porção inserida no estado de Minas Gerais. O estudo aqui desenvolvido, no entanto, não pretende esgotar as informações sobre a bacia e sim servir de complemento e oferta de produtos cartográficos que auxiliem em outras pesquisas sobre a bacia.

A utilização do QGIS possibilitou a obtenção das características da bacia hidrográfica em estudo a partir do Modelo Digital de Elevação (SRTM) através dos complementos GRASS e SAGA-GIS favorecendo a rápida extração de informações sem a necessidade de entrar em plataformas, adquirir o dado e importar para o software.

A partir da determinação dos parâmetros morfométricos referentes à caracterização geométrica, foi possível demonstrar que a região estudada apresenta formato alongado e em condições médias de precipitação, possui baixa propensão à enchentes. Apesar disso, a combinação de alguns fatores como a declividade, hipsometria, solos e uso e ocupação mostra que 85% da área da bacia possui alta susceptibilidade a inundações.

No que concerne as características hidrográficas, a bacia foi identificada como de nível 5, segundo critério de Strahler. O canal principal pode ser classificado como sinuoso e com pequenas variações na declividade média.

Em relação ao relevo, verifica-se a presença de altitudes que variam desde 0 m, próxima a sua foz, a 1765 m, apresentando uma amplitude de 1765 metros. A maior parte da área total (55,33%) está representada pela classe altimétrica que varia de 750 m a 1000,00 m. Sendo que 50% da área da bacia se encontra acima da cota de

802 m. As maiores declividades da bacia se encontram classificadas como suavemente onduladas, correspondendo mais que 34% da área.

A partir deste estudo foi possível identificar as áreas mais susceptíveis a ocorrência de inundação no perímetro da bacia hidrográfica do rio Pardo, aplicando o método de processo analítico hierárquico (AHP).

6 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES, G., LEONARDO, J., & SPAROVEK, G., 2013: Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (6), 711-728. 2013.

ALVES DIAS, AMANDA; SABÓIA DE AQUINO, CLÁUDIA MARIA; DE AMORIM DOS SANTOS, FRANCÍLIO. Caracterização ambiental e análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Itaueira, Piauí, Brasil. *GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeducacionais*, vol. 11, 2020.

BACK, Á.J. Bacias hidrográficas: classificação e caracterização física (com o programa HidroBacias para cálculos). Florianópolis: Epagri, 2014, 162p.

BENINI, S. Uso de sistemas de informação geográfica na análise ambiental em bacias hidrográficas. Tupã: ANAP, 2015. 139 p.

BICCA, C. E. Sistema de informação geográfica - SIG aplicado. Indaial: UNIASSELVI, 2022. 195 p.

BOULOMYTIS, V.T.G. Gestão sustentável de bacias hidrográficas: cenários do Brasil e da Austrália. São Paulo, SP : EDIFSP, 2021 176 p.

BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD.24 Salvador; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1981. Levantamento de recursos naturais; 624 p.

BRASIL. Folha SD.24 Salvador: potencial dos recursos hídricos / IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. Levantamento de recursos naturais; v.24. 236 p.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos: Ministério da Integração nacional e desenvolvimento Regional. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 28 Nov. 2023.

BRITO NETO, Rodrigo Lacerda et al. Morphology of pardo river watershed at the border of the states of Bahia and Minas Gerais. 2020.

CALIJURI, M. L.; et al. Fundamentos de sistemas de informação geográfica. Vicososa: 2001. 3a ed.

CAMANA, J. C. Modelos Digitais de Elevação: Aplicação em Bacias Hidrográficas. 2016. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

CÂMARA, G.; DAVIS.C.; MONTEIRO, A.M.; D'ALGE, J.C. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos, INPE, 2001 (2a. edição, revista e ampliada)

CAPRARIO, JAKCEMARA. Desenvolvimento de um instrumento para o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações urbanas. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2017.

CHICOMBO, T. F.; MOREIRA, A. A. M. Mapeamento de suscetibilidade às inundações com base na análise multicritério (ahp): estudo de caso do distrito de chókwe, em moçambique. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 25, n. 99, p. 301–319, 2024. DOI: 10.14393/RCG259970390. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/70390>. Acesso em: 13 jun. 2024.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

COLLISCHONN, W; DORNELLES, F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. 1. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013. v. 1. 336p.

CORREA, D.L. Análise Da Susceptibilidade A Inundações Na Bacia Hidrográfica Do Rio Uraim, Paragominas-PA. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Pós-graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 2017.

CUNHA, J.S.; OLIVEIRA, G. G.; ANDRADE, M. L. Estudo socioambiental da bacia do Rio Pardo: irrigação, monoculturas e crise hídrica -Relatório de Pesquisa. Cadernos do CEAS: Revista Crítica de Humanidades, Salvador, n. 246, jan./abr., p. 227-247, 2019. DOI: <https://doi.org/10.25247/2447-861X.2019.n246.p227-247>. Acesso em 02 de Março de 2024

CUNHA, J.S.; LIMA, A. J. R. Gestão da água do Rio Pardo. CEAS, 2021. Disponível em: <https://observatorioriopardo.com.br/index.php/2022/12/05/cartilha-gestao-da-agua-do-rio-pardo/>. Acesso em 06 de Março de 2024.

DO CARMO, MAX. Rio Pardo: Como proteger a bacia hidrográfica?. Nossa Cidade. Cândido Sales, BA. 24 de março de 2017. Disponível em: <https://cidadenossa.blogspot.com/2017/03/rio-pardo-como-protoger-bacia.html>. Acesso em: 28 de Outubro de 2023.

FERREIRA, Nilson Clementino. Apostila de Sistemas de Informações Geográfica. Goiânia: Instituto Federal de Educação Tecnológica de Goiás, 2006.

FITZ, P. R. Geoprocessamento sem complicação. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

FRANCO, GUSTAVO & SOUZA, CRISTIANO & BETIM, LUIZA & MARQUES, EDUARDO ANTONIO & GOMES, RONALDO & CHAGAS, CÉSAR. (2012). Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do rio Almada (BA). 20. 071-094. 10.5433/2447-1747.2011v20n3p071.

FREIRE, C. C; OMENA, S. P. F. Princípios de Hidrologia Ambiental. Universidade Federal de Alagoas/Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

GAMA ENGENHARIA E RECURSOS HÍDRICOS. Fase I - Diagnóstico integrado do meio físico-biótico, antrópico e das disponibilidades e demandas hídricas. Maceió: Gama, 2013. 728 p.

HAMADA, E; GONÇALVES, R. R. V. Introdução ao geoprocessamento: princípios básicos e aplicação. Embrapa Meio Ambiente, 2007. 52 p.

HIPÓLITO, J.R; VAZ, A.C. Hidrologia e recursos hídricos. - 3ª ed. - Lisboa : IST Press, 2017. - XVII, 796 p.

HOLANDA, Fabrício Pinto de; PAIVA, Carlos Fernando Kelly Lisboa. Geoprocessamento aplicado à análise socioambiental no alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim –

PA. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Tecnologia em Geoprocessamento). Ananindeua – PA, Universidade Federal do Pará, 2022.

IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico: inventário das formações florestais e campestres: técnicas e manejo de coleções botânicas: procedimentos para mapeamentos. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro, 2012. 267 p. (Manuais técnicos em geociências, n. 1). Disponível em: biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf. Acesso em: 29 jun. 2024.

IBGE. Manual Técnico de Pedologia. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. 430 p. ISBN 978-85-240-4359-8. URL: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2024.

IBGE. Manual Técnico de Uso da Terra. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. 170 p. ISBN 978-85-240-4307-9. URL: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 26 Agosto de 2024.

INEMA. Regiões de Planejamento e Gestão das Águas. Disponível em: <https://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/rpgas/>. Acesso em: 28 Nov. 2023.

BARBOSA, JOHILDO & MASCARENHAS, JURACY & CORREA GOMES, LUIZ & DOMINGUEZ, JOSÉ & SOUZA, JAILMA. (2012). Geologia da Bahia - Pesquisa e Atualização. v.1 & v.2.

LEAL, F.C.B.S., BARBOSA, I.M.B.R., AQUINO, J.T. Mapeamento de áreas vulneráveis à inundação com uso do SIG e da análise multicritério: o caso da Bacia Hidrográfica do rio Una em Pernambuco. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 9, p. 20-40, 2020.

.

LIMA, M. R. Principais classes de solos do Brasil. In: CURSO DE SOLOS PARA PROFESSORES DO ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO, 33., Curitiba, 2016. Material Didático... Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2016. p. 1-28. Disponível em: <<https://issuu.com/solonaescola/docs/solosbrasil>>. Acesso em: 28 jul. 2024

LONGLEY, Paula; GOODCHILD, Michael; MAGUIRE, David; RHIND, David. Sistemas e Ciência da Informação Geográfica. 3ª ed. Bookman, Porto Alegre, 2013, 540p

MENDONÇA, P. R. *Características Hidrogeomorfológicas Das Bacias Hidrográficas Dos Rios Santa Maria Do Rio Doce E Santa Joana/ES*. Programa de pós-graduação em geografia. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES. 2013.

MEURER, C. C. B. S.; ALBANO, J. A.; NOARA, C. T. Análise e gestão de bacias hidrográficas. Indaial: Uniasselvi, 2013.

MIRA, I. R. C.; SILVA, M. L. . Mapeamento da suscetibilidade à inundação na Bacia do Alto-Médio Rios Mogi Guaçu e Pardo - MG. CADERNO DE GEOGRAFIA , v. 33, p. 782-810, 2023.

NASCIMENTO, Daniella Aurora do. Suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema. 2022. 62f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

NASCIMENTO, DIEGO TARLEY & RIBEIRO, SARAH. (2017). *Biomass Brasileiros e Defesa da Vida*.

NOGUEIRA, T.P.N. Mapeamento da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do ribeirão da Fábrica, município de Patos de Minas MG. Uberlândia, 2017. 123f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental), Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais. 2017.

OLIVEIRA, Everton Bregonci de. SIG aplicado ao mapeamento da suscetibilidade à inundação no município de Serra - ES. Instituto Federal do Espírito Santo, Santa Teresa, 2021.

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R.; BARBOSA, I. M. B. R. Mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. **Boletim de Geografia**, v. 40, p. 277-296, e63948, 16 dez. 2022.

PESSOA NETO, A. G., SILVA, S. R. DA, & BARBOSA, I. M. B. R. (2023). Mapeamento das Áreas Suscetíveis a Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Duas Unas, em Pernambuco. *GEOGRAFIA (Londrina)*, 33(1), 265–284. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2024v33n1p265>.

PIMENTA, L. B., BELTRÃO, N. E. S., GEMAQUE, A. M. DA S., & AMADOR TAVARES, P. (2019). Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. *Interações (Campo Grande)*, 20(2), 407–420. <https://doi.org/10.20435/inter.v20i2.1856>.

PILGER, IRINETE OTTO. Delimitação de áreas suscetíveis à inundação no município de Santa Teresa –ES utilizando SIG. Monografia de Pós-graduação *Lato Sensu* em Educação e Gestão Ambiental. Instituto Federal do Espírito Santo. Santa Teresa, 2020.

PIROLI, E. L. Água e bacias hidrográficas: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas. São Paulo: Editora UNESP, 2022, 141 p.

PORTO, M. F. A. e PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados [online]*. 2008, v. 22, n. 63.

PORTOCARRERO, H; CONCEIÇÃO, R. S; COSTA, V. C. Geoprocessamento. Volume único–Rio de Janeiro, RJ : Fundação Cecierj, 2018. 372 p.;

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A. de. Construção de modelo no qgis e utilização do método de processo analítico hierárquico - ahp para mapeamento de riscos à inundação na área urbana de paracatu - mg. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 18, n. 61, p. 01–18, 2017.

RODRIGUES, PAULO RICK SOARES. Análise espacial de suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Tucunduba - Belém, PA. Trabalho de Conclusão de Graduação - Engenharia Ambiental e Energias Renováveis, Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

SAMPAIO, N.; VARGAS, M. A. M. As Paisagens do Rio Pardo Desvendadas pela Comunidade Ribeirinha no Sudoeste da Bahia: Conversações entre o Percebido e o Vivido. *Ateliê Geográfico*, v. 4, n. 4, 2011.

SANTOS, A.R.; LOUZADA, F.L.R.O.; EUGENIO, F.C. ARCGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 184 p.

SANTOS, D. B., VIDOTTO, M. L., BERTINATTO, R., MARCON, G. R. S. FRIGO, E. P. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio São José, Cascavel, PR. Artigo científico. Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava-PR, v.5, n.2, p. 7-18, 2012.

SANTOS, S. et al. Os sistemas de informação geográfica na modelação hidrológica (2006). Disponível em: https://docplayer.com.br/6214510-Os-sistemas-de-informacao-geografica-na-modelacao-hidrologica.html#google_vignette.pdf. Acesso em 20 de nov de 2023.

SANTOS, THIAGO & BARBOSA RIBEIRO FERREIRA, ANDRÉ & VENTORINI, SILVIA & ZACHARIAS, ANDRÉA & TEIXEIRA, ANA. (2022). Análise multicriterial de decisão aplicada às áreas suscetíveis a inundação na bacia do córrego do lenheiro – São João Del-Rei, Minas Gerais. *Geographia*. 24. 10.22409/GEOgraphia2022.v24i53.a47218.

SANTOS, H.G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 531 p. ISBN 978-85-7035-817-2. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>. Acesso em 20 de jul. de 2024.

SILVA FILHO, A. L. DA, SANTOS JUNIOR., W. M. DOS, COSTA, V. C. DA, & MARQUES FILHO, J. DA P. (2021). Classificação climática de köppen aplicada em unidades de conservação: estudo de caso no Parque Estadual do Mendanha (pem) e na área de proteção ambiental Gericinó-Mendanha (APAGM). *Humboldt - Revista De Geografia Física E Meio Ambiente*, 1(3).

TUCCI. C. E. M. 2004. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: ABRH – EPUSP.

VILLELA, S.M., MATTOS, A. A Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WIKIPÉDIA. Classificação climática de köppen-geiger. Flórida: Wikimedia Foundation, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Classifica%C3%A7%C3%A3o_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen-Geiger&oldid=68225833. Acesso em: 4 jul. 2024.

ZANETTI, Sidney Sara et al. AVALIAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA ANÁLISE ESPACIAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: Avaliação Modelo Digital de Terreno. **Cadernos de Geociências**, v. 15, 2022.