



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**FELIPE DOS SANTOS SILVA DINIZ**

**IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE NASCENTES NO  
MUNICÍPIO DE ALAGOINHA, PARAÍBA, COM USO DE GEOTECNOLOGIAS**

**AREIA  
2023**

**FELIPE DOS SANTOS SILVA DINIZ**

**IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE NASCENTES NO  
MUNICÍPIO DE ALAGOINHA, PARAÍBA, COM USO DE GEOTECNOLOGIAS**

Trabalho de graduação apresentado à Coordenação do Curso de Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

**Orientador(a):** Prof. Dr. Guttemberg da Silva  
Silvino

**AREIA  
2023**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

D585i Diniz, Felipe dos Santos Silva.

Identificação e caracterização morfométrica de nascentes no Município de Alagoinha, Paraíba, com uso de geotecnologias / Felipe dos Santos Silva Diniz. - Areia:UFPB/CCA, 2023.

56 f. : il.

Orientação: Guttemberg da Silva Silvino.  
TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Hidrologia. 3. Recursos Hídricos.  
4. Geoprocessamento. I. Silvino, Guttemberg da Silva.  
II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(02)

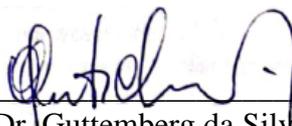
**FELIPE DOS SANTOS SILVA DINIZ**

**IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE NASCENTES NO  
MUNICÍPIO DE ALAGOINHA, PARAÍBA, COM USO DE GEOTECNOLOGIAS**

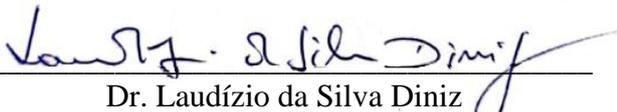
Trabalho de graduação apresentado à  
Coordenação do Curso de Agronomia, do  
Centro de Ciências Agrárias, da Universidade  
Federal da Paraíba, em cumprimento às  
exigências para obtenção do título de  
Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: 08/11/2023.

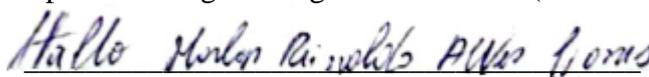
**BANCA EXAMINADORA**



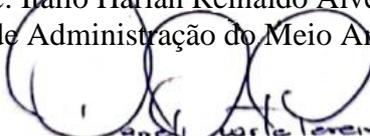
Prof. Dr. Guttemberg da Silva Silvino  
Universidade Federal da Paraíba – DSER/CCA/UFPB



Dr. Laudízio da Silva Diniz  
Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA)



Msc. Itallo Harlan Reinaldo Alves Gomes  
Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA-PB)



Prof. Dr. Daniel Duarte Pereira  
Universidade Federal da Paraíba – DFCA/CCA/UFPB

A Deus, a minha família e aos amigos que conquistei ao longo desta jornada, DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ser minha fortaleza e o meu guia durante os momentos de dificuldade.

A meu pai Laudivan e a minha mãe Ediclebia por sempre terem me dado tudo do bom e do melhor, sendo fontes de amor e sabedoria ao longo de toda a minha vida, me moldando a pessoa que sou hoje.

Aos meus irmãos Davi e Gabriel pela amizade, pelo companheirismo e pelo apoio durante todos esses anos de estudo.

Aos meus avôs, as minhas avós, aos meus tios, as minhas tias, aos meus primos e primas por proporcionarem momentos de alegria e serem motivo de muito orgulho.

A minha namorada Cananda por me apoiar e me proporcionar imensa felicidade a cada dia que passa.

A Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, por ter me fornecido vasto conhecimento ao longo desta caminhada.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas oportunidades em projetos de iniciação científica.

Ao Professor e Orientador Guttemberg da Silva Silvino, pelo conhecimento e sabedoria repassado a mim durante todas as aulas, estágios e pesquisas realizadas.

Aos amigos Diogo Vieira, Jose Erivan, Vinicius Costa, André Oliveira, Lucas Medeiros, Jose Rayan, Eryadison Bonifácio, Bruna Thalia, Franklin Correia, Ítalo Luis, Guimarim Toledo e ademais amigos e colegas que conquistei durante a minha jornada como estudante de agronomia.

A todos os professores por contribuírem no meu desenvolvimento profissional.

## RESUMO

O Geoprocessamento tem se mostrado uma ferramenta primordial no estudo dos recursos naturais, principalmente nas bacias hidrográficas. O presente estudo teve por objetivo a utilização de Geotecnologias para realizar a caracterização morfométrica das microbacias inseridas no município de Alagoinha-PB, bem como identificar os pontos de nascentes a fim de avaliar as condições em que esses ambientes se encontram. Os dados foram obtidos por meio do SIG - Sistema de Informação Geográfica, a partir do Software livre QGIS versão 3.14 e com uso do MDEs - Modelos Digitais de Elevação das imagens do Sensor SRTM de resolução espacial de 30m e do Sensor ALOS PALSAR de resolução espacial de 12,5m. Foram geradas para a área de estudo: as microbacias hidrográficas, a rede de drenagem e as junções representativas das nascentes. Dos resultados obtidos foi possível verificar que as microbacias estudadas apresentaram, em sua maioria, formato alongado, tendo boa densidade de drenagem, uma densidade hidrográfica mediana, com cotas altimétricas variadas e são compostas por rios principais retos até rios muito sinuosos. Das nascentes inseridas no município, sete (07) foram selecionadas para visitas *in loco*, no sentido de validação e verificação dos aspectos ambientais. O uso do SIG e das Imagens SRTM e ALOS PALSAR se mostraram como ferramentas fundamentais na geração dos resultados para área de estudo, podendo auxiliar na tomada de decisão pelos órgãos gestores, para a manutenção e preservação das microbacias em outros municípios.

**Palavras-Chave:** hidrologia; recursos hídricos; geoprocessamento.

## ABSTRACT

Geoprocessing has proven to be a fundamental tool in the study of natural resources, especially in river basins. The objective of the present study was to use Geotechnology to carry out the morphometric characterization of the micro-basins located in the municipality of Alagoinha-PB, as well as to identify the points of springs to evaluate the conditions in which these environments are found. The data were obtained through the GIS - Geographic Information System, using the free software QGIS version 3.14 and using MDEs - Digital Elevation Models of images from the SRTM Sensor with a spatial resolution of 30m and the ALOS PALSAR Sensor with a spatial resolution of space of 12.5m. The following were generated for the study area: the hydrographic micro-basins, the drainage network and the junctions representing the springs. From the results obtained, it was possible to verify that the micro-basins studied had, for the most part, an elongated shape, having good drainage density, a medium hydrographic density, with varying elevations and are composed of straight main rivers to very sinuous rivers. Of the springs located in the municipality, seven (07) were selected for on-site visits, in order to validate and verify environmental aspects. The use of GIS and SRTM and ALOS PALSAR Images proved to be fundamental tools in generating results for the study area and can assist in decision-making by management bodies for the maintenance and preservation of micro-basins in other municipalities.

**Keywords:** hydrology; water resources; geoprocessing.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Mapa de localização do município de Alagoinha-PB.....	20
Figura 2 -	Distribuição da precipitação média mensal do município de Alagoinha durante os anos 1962 e 2017.....	21
Figura 3 -	Mapa de declividade do município de Alagoinha-PB.....	30
Figura 4 -	Mapa hipsométrico do município de Alagoinha-PB.....	30
Figura 5 -	Mapa pedológico do município de Alagoinha-PB.....	31
Figura 6 -	Diferença entre as redes de drenagem geradas pelas imagens SRTM e ALOS PALSAR.....	32
Figura 7 -	Diferença entre as redes de drenagem geradas pelas imagens SRTM e a fornecida pela AESA.....	34
Figura 8 -	Diferença entre a rede de drenagem gerada pelas imagens ALOS PALSAR e a fornecida pela AESA.....	34
Figura 9 -	Pontos representativos de nascentes geradas através de imagens SRTM (resolução 30m).....	35
Figura 10 -	Pontos representativos de nascentes geradas através de imagens ALOS PALSAR (resolução 12,5m).....	35
Figura 11 -	Microbacias inseridas no município de Alagoinha-PB.....	36
Figura 12 -	Tendência das microbacias a enchentes de acordo com o fator de forma.....	37
Figura 13 -	Tendência das microbacias a enchentes de acordo com o coeficiente de compacidade.....	38
Figura 14 -	Classificação do formato da bacia de acordo com o índice de circularidade.....	38
Figura 15 -	Classificação da drenagem das microbacias.....	40
Figura 16 -	Classificação da densidade hidrográfica das microbacias.....	41
Figura 17 -	Classificação do índice de sinuosidade do canal principal das microbacias.....	43
Figura 18 -	Nascentes selecionadas para a validação <i>in loco</i> .....	43
Figura 19 -	Localização da nascente 01.....	44
Figura 20 -	Localização da nascente 02.....	45
Figura 21 -	Cultivo de capim elefante na localização da nascente 03.....	45
Figura 22 -	Poço artesiano próximo a nascente 03.....	46

Figura 23 - Localização da nascente 04.....	46
Figura 24 - Localização da nascente 05.....	47
Figura 25 - Local inacessível em que possivelmente está localizado a nascente 6.....	48
Figura 26 - Localização da nascente 07.....	49
Figura 27 - Percentual dos parâmetros em relação ao peso dos atributos.....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Classificação do fator de forma.....	23
Tabela 2 -	Classificação do coeficiente de compacidade.....	24
Tabela 3 -	Classificação do formato da bacia de acordo com o índice de circularidade.....	24
Tabela 4 -	Classificação da densidade de drenagem elaborada por Villela e Mattos (1975).....	25
Tabela 5 -	Classificação da densidade hidrográfica elaborada por Lollo (1995).....	26
Tabela 6 -	Classificação do índice de sinuosidade por Christofolletti (1980).....	28
Tabela 7 -	Parâmetros macroscópicos analisados.....	29
Tabela 8 -	Classificação das nascentes de acordo com o somatório dos pesos.....	29
Tabela 9 -	Classificação dos canais identificados pelas imagens SRTM que estão inseridos no município de Alagoinha-PB.....	33
Tabela 10 -	Classificação dos canais identificados pelas imagens ALOS PALSAR que estão inseridos no município de Alagoinha-PB.....	33
Tabela 11 -	Variáveis geométricas das 13 microbacias inseridas no município de Alagoinha-PB.....	36
Tabela 12 -	Classificação do Kf, Kc, Dh, Dd e Is segundo a literatura e Lollo (1995); Villela e Mattos (1975) e Chirstofolletti (1980).....	39
Tabela 13 -	Variáveis da rede de drenagem das 13 microbacias inseridas no município de Alagoinha-PB.....	40
Tabela 14 -	Variáveis de relevo das 13 microbacias inseridas no município de Alagoinha-PB.....	42
Tabela 15 -	Classificação do grau de preservação das nascentes de acordo com os parâmetros analisados.....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas
CCA	Centro de Ciências Agrárias
Cm	Coeficiente de Manutenção
Ct	Coeficiente de Torrencialidade
Cmáx	Cota Máxima
Cmín	Cota Mínima
Dd	Densidade de Drenagem
Dh	Densidade Hidrográfica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fr	Frequência de Rios
GRASS	Geographic Resources Analysis Support System
Hm	Amplitude Altimétrica Máxima
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ic	Índice de Circularidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Ir	Índice de Rugosidade
Is	Índice de Sinuosidade
JAXA	Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial
Kc	Coeficiente de Compacidade
Kf	Fator de Forma
L	Comprimento Total dos Canais
LabTGeo	Laboratório de Topografia e Geoprocessamento
Lc	Comprimento do Canal Principal
Lt	Comprimento do Talvegue
Lx	Comprimento Axial da Bacia Hidrográfica
MDE	Modelo Digital de Elevação
N	Número Total de Canais de Primeira Ordem
NASA	Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço
NGA	Agência Nacional de Informação Espacial
Nt	Número Total de Canais

P	Perímetro
Rr	Relação de Relevo da Bacia
SAGA	Sistema de Análises Geocientíficas Automatizado
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRC	Sistema de Referência de Coordenadas
SRTM	Missão Topográfica de Radar Embarcado
TOPODATA	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
UFPB	Universidade Federal da Paraíba

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
2.1	GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS .....	14
2.2	IMAGENS SRTM E ALOS-PALSAR .....	15
2.3	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO .....	16
2.4	BACIAS E MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS .....	16
2.5	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA .....	17
2.6	NASCENTES .....	18
2.7	MARCOS LEGAIS: LEI FEDERAL 9433 E LEI DA POLÍTICA AGRÍCOLA .....	18
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>19</b>
3.1	OBTENÇÃO DOS DADOS .....	19
3.2	ÁREA DE ESTUDO .....	20
3.3	PROCESSAMENTO DOS DADOS .....	21
3.4	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA .....	22
<b>3.4.1</b>	<b>Parâmetros geométricos.....</b>	<b>22</b>
3.4.1.1	Área da bacia hidrográfica (A) .....	22
3.4.1.2	Perímetro da bacia hidrográfica (P).....	22
3.4.1.3	Comprimento axial da bacia hidrográfica ( $L_x$ ) .....	22
3.4.1.4	Comprimento do talvegue ( $L_t$ ).....	23
3.4.1.5	Forma da bacia.....	23
3.4.1.5.1	<i>Fator de forma (<math>K_f</math>).....</i>	<i>23</i>
3.4.1.5.2	<i>Coefficiente de compacidade (<math>K_c</math>) .....</i>	<i>24</i>
3.4.1.5.3	<i>Índice de circularidade (<math>I_c</math>) .....</i>	<i>24</i>
<b>3.4.2</b>	<b>Parâmetros da rede de drenagem.....</b>	<b>24</b>
3.4.2.1	Densidade de drenagem (Dd) .....	25
3.4.2.2	Comprimento total dos rios/canais (L) .....	25
3.4.2.3	Comprimento do rio/canal principal ( $L_c$ ).....	25
3.4.2.4	Ordem dos cursos d'água .....	25
3.4.2.5	Coefficiente de torrencialidade (Ct).....	26
3.4.2.6	Coefficiente de manutenção (Cm) .....	26
3.4.2.7	Frequência de rios (FR) .....	26
3.4.2.8	Densidade hidrográfica (Dh) .....	26
3.4.2.9	Número total de canais .....	27
3.4.2.10	Número total de canais de 1ª ordem .....	27
<b>3.4.3</b>	<b>Parâmetros do relevo.....</b>	<b>27</b>
3.4.3.1	Cota máxima e mínima ( $C_{máx}$ e $C_{mín}$ ).....	27
3.4.3.2	Amplitude altimétrica máxima da bacia (Hm) .....	27
3.4.3.3	Índice de sinuosidade ( $I_s$ ) .....	27
3.4.3.4	Índice de rugosidade (Ir).....	28
3.4.3.5	Relação de relevo da bacia (Rr).....	28
3.5	VALIDAÇÃO DAS NASCENTES.....	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As geotecnologias têm sido um importante meio de mapeamento dos recursos naturais presentes nas mais diversas localidades. Entretanto o uso exaustivo desses recursos naturais ocasiona efeitos negativos a qualidade de vida, a fauna e a flora, entre outros recursos, que diminuem gradativamente a cada dia. Foi por meio das geotecnologias, com o auxílio do sensoriamento remoto, que se tornou possível o perfeito conhecimento de alguns recursos naturais, representados pelo solo, pela vegetação e pela água que é o recurso primordial para a manutenção da vida. Isso possibilitou uma melhoria do potencial de uso das terras para que a sua exploração ocorra de maneira sustentável (FRANCISCO et al., 2018).

O ciclo hidrológico, em sua representatividade global, é caracterizado como um sistema fechado em que a quantidade de água existente é constante, sendo diferente apenas na forma física em que está presente no planeta (sólida, líquida ou gasosa) (JÚNIOR, 2022). A qualidade da água segundo Boretti e Rosa (2019), é uma grande problemática no mundo de hoje com uma população acima de 7,0 bilhões de pessoas e que continua crescendo a cada ano que passa, isso ocorre principalmente pela incapacidade da população de resguardar um acesso sustentável a quantidades de água de qualidade adequada.

De acordo com Telles e Costa (2010), “Os mananciais mais acessíveis utilizados para as atividades sociais e econômicas da humanidade são os volumes de água estocados nos rios e lagos de água doce”. Porém, visto que os mananciais de superfície possuem limitações em seu uso e disponibilidade, as águas subterrâneas serão, ou já estão sendo encarregadas de fornecer água para o abastecimento da população quando necessárias (JÚNIOR e BORANGA, 2003).

Com o rápido deterioramento ambiental, devido a ação antrópica como o desflorestamento ilegal para a implantação de atividades agrícolas e pecuárias, deposição de dejetos industriais no meio ambiente, entre outros, diversos problemas ambientais relacionados a questões hidro morfológicas vêm ocorrendo nas áreas de influência de bacias hidrográficas. Essa degradação ambiental ocasiona problemas como o aumento da perda do solo pela erosão, inundações e secas severas, modificando assim o ambiente da bacia hidrográfica (GHOSH e GOPE, 2021).

Segundo Raiol et al., (2022) as bacias hidrográficas, “são partes cruciais da geografia ambiental, elas podem indicar ou definir áreas para gestão de recursos hídricos”. Sendo assim, todas as informações das características da bacia hidrográfica são de elevada importância para que ocorra um controle e um monitoramento adequado acerca desses recursos hídricos.

O sensoriamento remoto por meio de SIG's tem a capacidade de obter uma visão abrangente de extensas áreas de uma só vez (RUDRAIAH et al., 2008), a sua utilização para análises dos parâmetros morfométricos são essenciais para a compreensão sobre as dinâmicas existentes na bacia, norteadas pelas características físicas geológicas, de relevo e de drenagem (CAIXETA et al., 2023). Além disso, como as nascentes são fontes primordiais de água, elas devem ser preservadas para que a sua quantidade seja mantida. Essa preservação se dá por diversas maneiras, sendo uma delas a manutenção da vegetação no seu entorno auxiliando nos processos de movimentação da água, como a infiltração e a percolação (TEIXEIRA e RIZZATTI, 2022).

Levando em consideração essas problemáticas acerca da degradação ambiental dos recursos hídricos, este trabalho teve por objetivo a utilização de geotecnologias para realizar a caracterização morfométrica das microbacias atuantes no município de Alagoinha-PB, além de através de coordenadas, localizar nascentes inseridas afim de avaliar as condições em que esses recursos se encontram.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS**

O geoprocessamento tem sido bastante utilizado em diversas áreas do conhecimento, ele é compreendido como a utilização de técnicas matemáticas e computacionais que tem a finalidade de tratar dos dados advindos de objetos ou fenômenos geográficos previamente identificados (MOREIRA, 2005).

Essas técnicas permitem que as informações contidas nesses objetos ou fenômenos possam ser extraídas para eventuais análises que sejam consideradas pertinentes, as técnicas de mapeamento têm se mostrado como uma grande ferramenta de demonstração desses dados, obtidos em sua grande maioria por meio de imagens de satélite advindas de diversas missões espaciais, as técnicas que são utilizadas no geoprocessamento dependem das ferramentas que compõem os sistemas de informações geográficas (SIG).

O SIG (Sistema de informações geográficas) ou GIS (Geographic information System) em inglês, é um sistema de computador para capturar, armazenar, verificar e demonstrar dados relacionados a posições na superfície da terra (NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY, 2023). Segundo Fitz (2008), “Em um SIG a introdução de dados se dá pela confecção de planilhas de dados, do uso de sistemas de posicionamento por satélite e dos processos de digitalização e vetorização”, o processo de digitalização de uma imagem irá produzir um produto em formato

matricial (Raster) que poderá ser apresentado em diferentes formatos como BMP, TIFF, JPEG, entre outros, já o processo de vetorização é caracterizado pelo transporte das informações de uma imagem ao formato vetorial, os arquivos vetoriais e matriciais são imprescindíveis na utilização de SIG.

Atualmente existem diversos SIG's disponíveis no mercado para o uso dos consumidores, alguns apresentam licença de uso gratuito, outros não, um exemplo de SIG gratuito é o QGIS, ele é um aplicativo profissional GIS livre de código aberto disponível para a comunidade geral, seja ela profissional ou acadêmica, impulsionado por voluntários (QGIS, s.d.). Segundo Lago (2021), “o uso do SIG no Brasil teve início em meados da década de 1970, no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE”, e desde então vem sendo utilizado nas mais variadas pesquisas e em diversos setores do mercado, ao exemplo do setor agropecuário.

## 2.2 IMAGENS SRTM E ALOS-PALSAR

A Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) foi uma missão espacial que teve o objetivo de mapear toda a superfície terrestre por meio de projeto internacional chefiado pela National Geospatial Intelligence Agency (NGA) e pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), foi realizado no dia 11 de setembro do ano 2000. Ao longo dos seus 10 dias de operação, essa missão foi capaz de obter a mais completa base de dados da topografia terrestre em alta resolução até aquele momento (NASA, 2016). Cerca de 80% da superfície da terra foi coletada pela SRTM durante sua operação. Segundo Sun et al. (2023), “O SRTM empregou radares tanto nas bandas X e C, empregando radar de abertura sintética (SAR) e técnicas de interferometria (30) para a geração de um MDE de alta resolução”.

O Alos (Advanced Land Observing Satellite) foi o maior satélite desenvolvido no Japão. Foi lançado pela agência de exploração espacial japonesa (JAXA) no ano de 2006, o Alos carregou em si três instrumentos de sensoriamento remoto o PRISM, o AVNIR-2, e o PALSAR (ROSENQVIST et al., 2007). O PALSAR diferentemente do PRSM e do AVNIR-2 que são radiômetros, é um radar de abertura sintética que opera na banda L, que o permite obter imagens tanto diurnas como noturnas em diferentes condições atmosféricas (EMBRAPA, 2018). O Alos desde o seu lançamento serviu e contribuiu enormemente para a cartografia, a observação regional, o monitoramento de desastres e para a pesquisa de recursos ambientais (JAXA, s.d.), devido a essa missão ter sido um sucesso a JAXA planejou o lançamento de mais três missões, o Alos-2 lançado em maio de 2014, Alos-3 onde ocorreu erros no seu lançamento em março de 2023 e o Alos-4 durante a JFY 2023.

Dentre os inúmeros trabalhos realizados que utilizaram modelos digitais de elevação provenientes de diversas missões espaciais, o ALOS PALSAR é uma opção a ser considerada, visto que o mesmo disponibiliza imagens em uma resolução de 12,5m bastante detalhada.

### 2.3 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

A obtenção de dados referentes a elevação de terrenos segundo Diban et al. (2023), “é essencial para diversas aplicações de engenharia incluindo pontes, sistemas hidráulicos, barragens, entre outros”. São esses dados que permitem a criação do modelo digital de elevação. O modelo digital de elevação (MDE) ou digital elevation model (DEM) é um modelo que tem por objetivo representar as feições do relevo terrestre o mais fidedignamente de acordo com a realidade, entre as feições do terreno pode-se citar a rede de drenagem, a pedoforma, os divisores de água, a declividade, entre outros (SILVA et al., 2013).

A qualidade de um modelo digital de elevação é primordial para as suas diversas aplicações e é afetada durante as diferentes etapas do processamento, desde a coleta das elevações até a interpolação implementada para reamostragem, sendo influenciado pela inclinação do terreno e pela cobertura do solo (POLIDORI e HAGE, 2020). O MDE além de ser uma representação matemática de caráter topográfico, serve como suporte ao desenvolvimento de linhas de pesquisa e de políticas públicas relacionadas a problemáticas relacionadas a questões ambientais, como as mudanças climáticas por exemplo (SILVA et al., 2022).

Atualmente devido ao aumento do interesse em relação as características quantitativas acerca da topografia terrestre, para a exemplificação das dinâmicas dos sistemas que ocorrem na terra, os modelos digitais de elevação se tornaram um instrumento fundamental de fornecimento de dados espaciais acerca da superfície terrestre mundial, nacional, regional e local (OKOLIE e SMIT, 2022).

### 2.4 BACIAS E MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS

Bacias Hidrográficas são regiões territoriais topograficamente delimitadas onde cursos de água ou sistemas de drenagem direcionam o percurso de todo o volume de água superficial gerado ou pelas nascentes ou pelas chuvas (GARDON, 2021). Essa definição é reforçada por Matos et al. (2003), onde o mesmo apontou que “as bacias de contribuição, de drenagem, hidrológica, hidrográfica ou de recepção referem-se à área do terreno na qual toda a precipitação pluviométrica tombada é drenada para as diferentes secções do curso d’água”.

Nas bacias hidrográficas conforme observou Neto et al. (2016), ocorrem diversos processos de natureza hidrológica, como a percolação, infiltração e a drenagem, em diferentes escalas e frequências ao longo do tempo, esses processos são influenciados diretamente pelas características físicas locais e pelas condições climáticas prevalentes da região. Dentre as características físicas que influenciam esses processos, a geologia, o tipo de solo, a vegetação predominante, a declividade e a rede de drenagem são os mais relevantes.

As sub-bacias ou microbacias hidrográficas segundo Silva (2015, p. 58), “são termos que estão associados à relação de pertinência. Ou seja, uma determinada bacia contém sub-bacias, e também pode ser considerada uma sub-bacia de uma bacia maior que a contém”, ou seja, uma bacia interliga-se a outra subsequente de ordem hierárquica superior (ANDREOLI e CARNEIRO, 2005). É devido as diferentes dimensões que uma bacia hidrográfica pode ter que na maioria dos estudos relacionados a esse tema, quando se busca identificar a bacia da região é necessário pontuar o local do exutório, é essa divisão da bacia em microbacias que permite uma melhor aquisição dos dados da paisagem mais detalhados com mais facilidade (PANZA et al., 2020).

## 2.5 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

As características de uma bacia hidrográfica podem ser classificadas como de caráter topográfico, hidrográfico, geomorfológico, térmico e geológico bem como a cobertura da superfície terrestre abrangente pela bacia, essas características desempenham funções essenciais no comportamento hidrológico (GARCEZ e ALVAREZ, 1988).

As características da bacia hidrográfica no geral podem ser compiladas em três principais classes que se destacam das demais devido a sua importância para com o fluxo hidrológico, são elas o caráter topográfico, geométrico e hidrográfico, é por meio dessas características que diversas práticas ligadas as atividades do meio rural são identificadas e potencializadas (DONEGÁ et al., 2021).

A caracterização morfométrica, análise morfométrica ou caracterização física de uma bacia hidrográfica busca por meio da utilização de fórmulas matemáticas fornecer dados acerca das características inerentes a bacia, Fenta et al. (2017) observou que a análise morfométrica é um importante aspecto da caracterização de bacias hidrográficas, envolve a quantificação de atributos da paisagem, a exemplo da elevação do terreno e da rede de drenagem presente na bacia.

A utilização de modelos digitais de elevação por meio de sistemas de informações Geográficas é uma prática de extrema importância aos trabalhos e as pesquisas voltadas a

temática da atuação das bacias hidrográficas, proporcionando uma maior precisão, rapidez e automatização na extração das informações necessárias para a realização da caracterização morfométrica (SILVA et al., 2022). Fornecendo dados de utilidade acadêmica e pública no geral, que podem elucidar eventuais dúvidas acerca das dinâmicas hidrológicas locais e regionais.

## 2.6 NASCENTES

As nascentes segundo Leal et al. (2017) “consistem em um afloramento do lençol freático que dão origem aos fluxos d’água formadores da rede de drenagem”, geralmente são descritas como sendo um ponto em que água advinda de aquíferos ou lençóis freáticos, fluem para a superfície da terra no momento em que tanto a superfície do terreno como uma rocha impermeável cruzam com o lençol freático (TALOOR et al., 2020).

As nascentes têm importância fundamental no fornecimento de água doce de qualidade para a população humana como a de inúmeras espécies de animais, as águas minerais tão consumidas atualmente quase em sua totalidade são advindas de nascentes, que necessitam de cuidados para sua manutenção, principalmente neste momento de crise hídrica que inúmeros países estão sofrendo neste século.

As nascentes de acordo com Souza et al. (2019) podem ser de duração efêmera (intermitentes) em que há fluxo de água durante o período chuvoso ou de duração contínua (perenes) em que há fluxo contínuo de água na superfície do solo, e são consideradas segundo a legislação brasileira como áreas de preservação permanente (APP) que devem ser preservadas em um raio de no mínimo 50m do seu ponto de nascedouro, segundo o art. 4º da lei federal 12.727 de 2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa (BRASIL, 2012).

## 2.7 MARCOS LEGAIS: LEI FEDERAL 9.433 E LEI DA POLÍTICA AGRÍCOLA

Diversas leis do âmbito federal têm como papel nortear a população e a política acerca do tema ambiental e agrícola, entre elas pode-se citar a lei nº 8.174 de 30 de janeiro de 1991 que dispõe sobre os princípios de política agrícola e a lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 do qual institui a política nacional de recursos hídricos.

A lei nº 8.174 estabelece atribuições ao conselho nacional de política agrícola, onde, entre outras obrigações o mesmo deve orientar na identificação das propriedades a serem estabelecidas no plano de diretrizes agrícolas, opinar sobre a política de garantia dos preços mínimos e assessorar o ministério quanto ao volume mínimo de cada produto no estoque regulador e estratégico (BRASIL, 1991).

A lei 9.433 cria a política nacional dos recursos hídricos que se baseia em diversos fundamentos, o principal sendo o domínio público da água existente no país, e estabelecendo a bacia hidrográfica como sendo uma unidade territorial de implementação dessa política, que visa entre outros objetivos o incentivo e promoção da captação, preservação e aproveitamento das águas fluviais, bem como a utilização racional e integrada dos recursos hídricos existentes (BRASIL, 1997).

### **3 METODOLOGIA**

O presente trabalho foi desenvolvido nas dependências do Laboratório de Topografia e Geoprocessamento (LabTGeo) situado no Laboratório de Solos e Engenharia Rural (DSER) do Centro de Ciências Agrárias (CCA), pertencente a Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Areia, Paraíba, Brasil.

#### **3.1 OBTENÇÃO DOS DADOS**

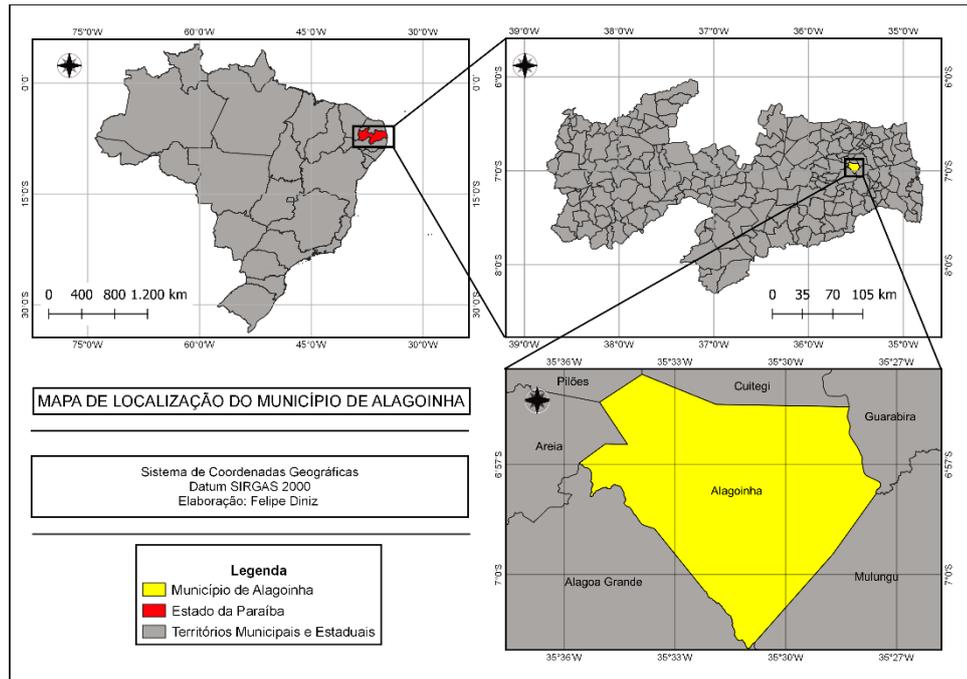
Os dados necessários para a elaboração das informações foram obtidos através de bancos de dados localizados em endereços eletrônicos na internet. Os arquivos matriciais com resolução espacial de 30,0 m advindos do SRTM foram retirados do banco de dados geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) ligado ao INPE, subordinado ao Ministério da Ciência e Inovação. Os arquivos de resolução espacial de 12,5 m advindos do Alos foram fornecidos pelo Centro Ativo de Distribuição de Arquivos da Instalação de Satélites do Alasca, pertencente a Universidade do Alasca Fairbanks. Ambos os dados foram disponibilizados de forma gratuita para a comunidade.

Estes arquivos matriciais forneceram modelos digitais de elevação do município de Alagoinha, sendo elementos necessários para a geração de quaisquer informações que advieram de dados altimétricos, nos qual estão inclusas as redes de drenagem.

Os arquivos vetoriais utilizados foram obtidos em endereços eletrônicos de instituições públicas, entre elas o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Agência Executiva de Gestão das Águas (AES/A) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), que disponibilizaram os arquivos referentes as delimitações dos territórios municipais do estado da Paraíba, os principais reservatórios e redes de drenagem presentes no estado e o mapa de solos do estado da Paraíba, respectivamente.

### 3.2 ÁREA DE ESTUDO

O município de Alagoinha-PB (Figura 1) está localizado na unidade Geoambiental do Planalto da Borborema, situado no Brejo Paraibano na Mesorregião do Agreste Paraibano e na região metropolitana de Guarabira. Limita-se ao norte com os municípios de Pilões, Cuitegi e Guarabira. Ao leste com os municípios de Guarabira e Mulungu; ao sul com os municípios de Mulungu e Alagoa Grande e ao oeste com os municípios de Alagoa Grande, Areia e Pilões.



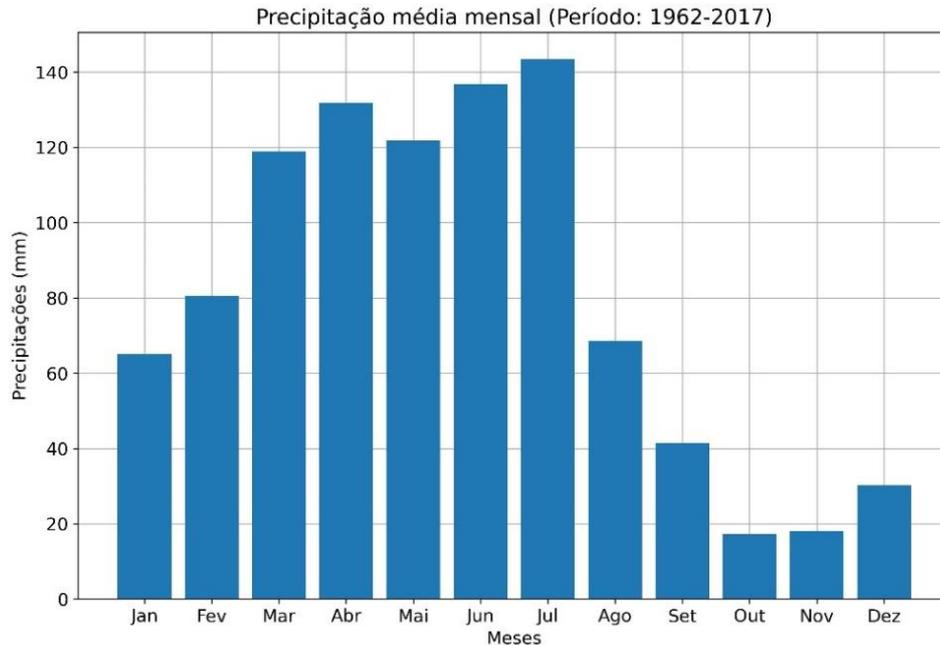
**Figura 1:** Mapa de localização do município de Alagoinha-PB.

**Fonte:** Autor (2023); Adaptado do IBGE (2022).

A região no qual o município está localizado, era habitada pelo povo indígena potiguara, tendo posteriormente sido habitada por colonizadores entre os anos 1864 a 1870. Foi reconhecido como Distrito de Paz de Alagoinha no ano de 1921 e apresentado como um Distrito de Guarabira nos anos seguintes, tendo a sua emancipação declarada no dia 03 de dezembro de 1953 com grande amparo da população (GOVERNO MUNICIPAL DE ALAGOINHA, s.d.). Segundo o censo demográfico do IBGE (2022), Alagoinha apresenta uma população de cerca de 13.725 habitantes, com uma densidade demográfica de 123,25 habitantes por km<sup>2</sup>, tem uma área territorial de 111,361km<sup>2</sup>, sendo 1.319 hectares de áreas plantadas.

De acordo com o Serviço Geológico do Brasil (SGB, 2005), “o município está inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Mamanguape, tendo como principais tributários os riachos Mumbuca e Poções, sendo a barragem Tauá o principal corpo de acumulação”, e é esse mesmo rio Tauá que abastece o município.

O município apresenta uma precipitação média anual estimada em 974,1 mm (período de 1962 a 2017) segundo dados obtidos de um posto pluviométrico localizado próximo ao município, o seu período mais chuvoso encontra-se nos meses de março a julho (**Erro! Fonte d e referência não encontrada.**), em que cerca de 55% da precipitação média anual ocorre.



**Figura 2:** Distribuição da precipitação média mensal do município de Alagoinha durante os Anos 1962 e 2017.  
**Fonte:** Posto pluviométrico.

### 3.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS

O sistema de Informação Geográfica utilizado neste trabalho foi o QGIS em sua versão 3.14.16 denominado “Pi” acompanhado pelo complemento GRASS e SAGA, o SRC selecionado foi o SIRGAS 2000 zona UTM 25 sul.

Utilizando-se duas imagens Raster SRTM e Alos-Palsar foi formado um mosaico da área de interesse, que em seguida foi recortado pela camada máscara do limite municipal, Com a utilização da ferramenta fill.sinks por meio do complemento SAGA as depressões do modelo digital de elevação foram corrigidas e preenchidas. Em seguida foi usada a ferramenta Channel Network and Drainage Basins, que por meio do MDE selecionou as microbacias do local, a rede de drenagem e as junções representativas das nascentes. Com as microbacias, e as redes de drenagem, foi possível a elaboração da caracterização morfométrica.

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

A caracterização morfométrica foi obtida por meio de ferramentas disponíveis no Software QGIS. A calculadora de campo permitiu a obtenção dos valores de área, perímetro, comprimento total dos canais e do canal principal. A ferramenta da tabela de atributos permitiu a quantificação dos canais de acordo com a ordem proposta por Strahler (1957), e a quantificação das nascentes, a ferramenta régua proporcionou a medição do comprimento axial da bacia em quilômetros quadrados, por fim, a extração dos contornos do MDE gerou as curvas de nível presentes nas áreas das microbacias, podendo-se assim visualizar as cotas com os maiores e menores valores.

A partir da obtenção desses dados foram utilizados cálculos a fim de obter os valores de relevo, geométricos e da rede de drenagem de cada microbacia. As variáveis analisadas neste trabalho foram baseadas nas pesquisas de Santos et al. (2012), de Ferrari et al. (2013), e nas de Rocha et al. (2014). Os dados representativos do fator de forma, do índice de sinuosidade, da densidade de drenagem, do coeficiente de compacidade e da densidade hidrográfica foram classificados a partir dos trabalhos de Horton (1945), Lima (1969), Villela e Mattos (1975), Christofolletti (1969, 1978, 1980) e Lollo (1995).

#### 3.4.1 Parâmetros Geométricos

As características geométricas englobam os dados de área da bacia, perímetro, comprimento axial da bacia, fator de forma, comprimento total dos canais, comprimento do canal principal, coeficiente de compacidade e do índice de circularidade. As definições dessas variáveis estão descritas abaixo:

##### 3.4.1.1 Área da Bacia Hidrográfica (A)

Representa a medida da área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal, em  $\text{km}^2$ .

##### 3.4.1.2 Perímetro da Bacia Hidrográfica (P)

É o comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas que delimita áreas das microbacias, em km.

##### 3.4.1.3 Comprimento Axial da Bacia Hidrográfica ( $L_x$ )

É o comprimento da linha imaginária que parte da saída da bacia até seu ponto mais distante.

#### 3.4.1.4 Comprimento do Talvegue ( $L_t$ )

É o comprimento da linha imaginária que parte do exutório do canal principal até o seu ponto mais a montante, ou seja, é a linha de maior profundidade no leito fluvial.

#### 3.4.1.5 Forma da Bacia

É uma característica dificilmente apresentada em formas quantitativas, interferindo diretamente no tempo de concentração, segundo BARGOS (2019), o tempo de concentração representa o tempo necessário para que a bacia ao todo contribuía com a vazão na seção de controle desde o início da precipitação, isso vai depender principalmente do formato, da capacidade de infiltração do solo, do tamanho da bacia e da inclinação média da bacia que atua diretamente na velocidade do escoamento superficial.

Entre os métodos de avaliar uma bacia de acordo com a sua conformação, os principais são: Fator de forma, índice de compacidade e coeficiente de manutenção.

##### 3.4.1.5.1 Fator de Forma ( $K_f$ )

O fator de forma é definido como a relação entre a largura média da bacia e o comprimento axial da bacia, ele indica a tendência da bacia a cheias, ou seja, quanto maior o fator de forma, mais a bacia estará propensa a cheias, vale salientar que se o valor do fator de forma for próximo ou maior que 1,0 a bacia é arredondada (circular), caso seja menor que 1,0 a bacia tem formato alongado, é calculado por meio da Eq. (1) de HORTON (1945), em que  $K_f$  = Fator de Forma;  $A$  = Área da Bacia em  $\text{km}^2$  e  $L_x$  = Comprimento Axial da Bacia em km.

$$K_f = A / L_x^2 \quad (1)$$

A bacia pode ter a sua tendência a enchentes classificada de acordo com o fator de forma, como o demonstrado pela (Tabela 1).

**Tabela 1** – Classificação do fator de forma.

$K_f$	Classificação
<b>1,00</b>	Bacia com Alta Propensão a Enchentes
<b>0,75 a 0,50</b>	Bacia com Tendência Mediana a Enchentes
<b>&lt; 0,50</b>	Bacia não Sujeita a Enchentes

**Fonte:** HORTON, R. E. (1945).

### 3.4.1.5.2 Coeficiente de Compacidade ( $K_c$ )

O coeficiente de compacidade é a relação entre o perímetro da bacia hidrográfica com o perímetro da circunferência de um círculo qualquer que tenha uma área equivalente ao da bacia, em outras palavras, quanto mais irregular for a bacia, maior será o seu coeficiente de compacidade, ou seja, quanto mais próximo for o valor a 1,0 mais circular será a bacia e consequentemente maior será sua facilidade para se sujeitar a enchentes (VILLELA e MATTOS, 1975). O Coeficiente de Compacidade pode ser calculado por meio da Eq. (2) de Lima (1969), onde P = perímetro da bacia em km e A = área da bacia em km<sup>2</sup>.

$$K_c = 0,28 \times P / \sqrt{A} \quad (2)$$

A bacia pode ter a sua tendência a enchentes classificada de acordo com o coeficiente de compacidade, o que pode ser demonstrado pela (Tabela 2).

**Tabela 2** – Classificação do coeficiente de compacidade.

<b>Kc</b>	<b>Classificação</b>
1,0 a 1,25	Bacia com Alta Propensão a Enchentes
1,25 a 1,5	Bacia com Tendência Mediana a Enchentes
> 1,5	Bacia não Sujeita a Enchentes

Fonte: LIMA W. P. (1969).

### 3.4.1.5.3 Índice de Circularidade ( $I_c$ )

O índice de Circularidade tende para unidade à medida que a bacia se aproxima a forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada, seu cálculo é alcançado por meio da Eq. (3) de Miller (1953), onde A = área da bacia hidrográfica e P = perímetro da bacia.

$$I_c = 12,57 \times (A / P^2) \quad (3)$$

Pode ser classificado por meio da (Tabela 3).

**Tabela 3** – Classificação do formato da bacia de acordo com o índice de circularidade.

<b>Ic</b>	<b>Classificação</b>
<0,51	Forma Alongada
0,51 – 0,75	Forma Intermediária
0,76 – 1,00	Forma Circular

Fonte: Adaptado de Silva (2012).

## 3.4.2 Parâmetros da Rede de Drenagem

As características da rede de drenagem englobam os dados de densidade de drenagem, comprimento total dos canais, comprimento do canal principal, coeficiente de torrencialidade,

coeficiente de manutenção, frequência de rios, densidade hidrográfica, número total de canais e número total de canais de primeira ordem.

#### 3.4.2.1 Densidade de Drenagem (Dd)

A densidade de drenagem indica a qualidade do sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica, ela correlaciona o comprimento total dos cursos d'água (canais) com a área da bacia hidrográfica. É calculada através da Eq. (4) de Horton (1945), onde o  $\Sigma L$  = comprimento total dos cursos d'água, e  $A$  = área da bacia hidrográfica, é dada pela unidade  $\text{km}/\text{km}^2$ .

$$D_d = \Sigma L / A \quad (4)$$

A densidade de drenagem segundo Villela e Mattos (1975), pode ser classificado de acordo com a (Tabela 4).

**Tabela 4** – Classificação da densidade de drenagem elaborada por Villela e Mattos (1975).

Densidade de Drenagem (Dd)	Classificação
$Dd < 0,5$	Drenagem Pobre
$0,5 < Dd < 1,5$	Drenagem Regular
$1,5 < Dd < 2,5$	Drenagem Boa
$2,5 < Dd < 3,5$	Drenagem Muito Boa
$Dd > 3,5$	Drenagem Excelente

Fonte: VILLELA e MATTOS, (1975).

#### 3.4.2.2 Comprimento Total dos Rios/Canais (L)

É a soma dos comprimentos de todos os rios presentes na bacia hidrográfica em km.

#### 3.4.2.3 Comprimento do rio/canal principal (Lc)

É a distância percorrida ao longo do curso d'água da nascente até o exutório.

#### 3.4.2.4 Ordem dos Cursos d'Água

A determinação da ordem dos cursos d'água foi obtida por Strahler (1957), onde ele apontou que os menores canais sem tributários são considerados de primeira ordem; os canais de segunda ordem por sua vez surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem; já os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens, e assim o processo ocorre sucessivamente.

#### 3.4.2.5 Coeficiente de Torrencialidade (Ct)

Determina a predisposição que uma bacia hidrográfica tem de sofrer inundações, é alcançado pela Eq. (5). Onde  $D_d$  = densidade de drenagem e  $D_h$  = densidade hidrográfica.

$$C_t = D_d \times D_h \quad (5)$$

#### 3.4.2.6 Coeficiente de Manutenção (Cm)

O coeficiente de manutenção fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento, pode ser calculado pela Eq. (6). Nesta equação  $C_m$  é dado em metros e  $D_d$  = valor da densidade de drenagem.

$$C_m = (1 / D_d) \times 1000 \quad (6)$$

#### 3.4.2.7 Frequência de Rios (FR)

A frequência de rios está relacionada a capacidade de uma bacia produzir uma maior ou menor quantidade total de água, podendo ser calculado pela Eq. (7). No qual  $N$  = número dos cursos d'água e  $A$  = área da bacia hidrográfica em  $\text{km}^2$ .

$$F_R = N_t / A \quad (7)$$

#### 3.4.2.8 Densidade Hidrográfica (Dh)

Tem a finalidade de comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão por meio da relação entre o número de rios e a área da bacia hidrográfica estudada, isso se faz através da Eq. (8) de Christofolletti (1969), em que  $N$  = quantidade dos corpos d'água presente na bacia, que apresentam melhores resultados se forem rios de primeira ordem, e  $A$  = área da bacia hidrográfica em  $\text{km}^2$ .

$$D_h = N / A \quad (8)$$

Lollo (1995) citou uma classificação da densidade hidrográfica em faixas de valores com pode ser visto na (Tabela 5).

**Tabela 5** – Classificação da densidade hidrográfica elaborada por Lollo (1995).

Densidade Hidrográfica (Dh)	Classificação
< 3	Baixa
3 a 7	Média
7 a 15	Alta
> 15	Muito Alta

Fonte: LOLLO, J. A. (1975).

#### 3.4.2.9 Número Total de Canais

Quantitativo de todos os canais/rios presentes na bacia hidrográfica.

#### 3.4.2.10 Número Total de Canais de 1ª Ordem

Quantitativo de todos os canais/rios de primeira ordem Strahler presentes na bacia hidrográfica.

### 3.4.3 Parâmetros do Relevo

As características de relevo englobam os dados de cota máxima e mínima do relevo, amplitude altimétrica máxima da bacia, índice de sinuosidade, índice de rugosidade e relação de relevo da bacia.

#### 3.4.3.1 Cota Máxima e Mínima (C<sub>máx</sub> e C<sub>mín</sub>)

Cota altimétrica máxima e mínima da bacia, são representadas em m.

#### 3.4.3.2 Amplitude Altimétrica Máxima da Bacia (H<sub>m</sub>)

Corresponde à diferença altimétrica entre a altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar da divisória topográfica. Ele considera que o ponto mais elevado da bacia deve ser a média das cotas mais elevadas, pois o seu ponto alto não compreende toda a porção mais elevada, a amplitude altimétrica é dada em metros, ela é dada por via da Eq. (9). Nessa equação P<sub>1</sub> é o ponto/cota mais alta da bacia hidrográfica, enquanto P<sub>2</sub> é o ponto/cota mais baixo da bacia.

$$H_m = P_1 - P_2 \quad (9)$$

#### 3.4.3.3 Índice de Sinuosidade (I<sub>s</sub>)

O índice de sinuosidade é um fator que controla a velocidade superficial e ele mede a relação entre a distância do exutório a nascente mais distante, é calculado por meio da Eq. (10). Em que o L<sub>c</sub> = comprimento do leito principal em km, e L<sub>t</sub> = comprimento do talvegue em km.

$$I_s = (100 \times (L_c - L_t)) / L_t \quad (10)$$

Christofolletti (1980), dividiu e classificou o índice de sinuosidade, como exemplificado pela (Tabela 6).

**Tabela 6** – Classificação do índice de sinuosidade por Christofolletti (1980).

Classes	Limites	Classificação
<b>I</b>	> 20%	Muito Reto
<b>II</b>	20 a 29%	Reto
<b>III</b>	30 a 39,9%	Divergente
<b>IV</b>	40 a 49,9%	Sinuoso
<b>V</b>	> 50%	Muito Sinuoso

Fonte: CHRISTOFOLETTI, A. (1980).

#### 3.4.3.4 Índice de Rugosidade (Ir)

O índice de rugosidade combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem. É obtido através da Eq. (11).  $H_m$  = amplitude altimétrica máxima da bacia, enquanto  $D_d$  = densidade de drenagem.

$$I_r = H_m \times D_d \quad (11)$$

#### 3.4.3.5 Relação de Relevo da Bacia (Rr)

É a relação entre a amplitude altimétrica máxima e a maior extensão da bacia hidrográfica medida paralelamente à principal linha de drenagem, a relação de relevo da bacia pode ser encontrada por meio da Eq. (12). Onde  $H_m$  = amplitude altimétrica máxima da bacia, enquanto  $L_x$  = comprimento axial da bacia hidrográfica.

$$R_r = H_m / \sqrt{L_x} \quad (12)$$

### 3.5 VALIDAÇÃO DAS NASCENTES

Com a utilização do aplicativo GPS trackmaker os pontos representativos das nascentes e a rede de drenagem advinda das imagens SRTM foram importadas ao GPS Garmin 76CSx disponibilizado pelo LabTGeo para a validação *in loco* de 07 nascentes inseridas no município. A visita ocorreu no dia 30 de outubro de 2023 no período matutino.

Para a verificação das nascentes foi considerado a metodologia de Índice de Impactos Ambientais em Nascentes (IIAN) elaborada inicialmente por Gomes et al. (2005), adaptada do Guia de Avaliação de Qualidade das Águas elaborado no ano de 2004.

A seleção dos parâmetros macroscópicos analisados teve como base os trabalhos de Carvalho (2020) e Silva (2022), onde a partir do método IIAN os parâmetros macroscópicos analisados a partir da visualização *in loco* (Tabela 7), foram classificados como sendo ruim, mediano ou bom, cada um com o seu respectivo peso variando entre 1 e 3. A classificação Ruim representou um local com maiores impactos devido a ação antrópica, a classificação

Mediana representou um local com baixo impacto ambiental, e a classificação Bom representa áreas preservadas da ação humana.

**Tabela 7** – Parâmetros macroscópicos analisados.

Parâmetros Macroscópicos	Classificação		
	Ruim (Peso 1)	Mediano (Peso 2)	Bom (Peso 3)
Indícios de Queimadas	Muito	Pouco	Ausência
Preservação da Vegetação	Alta Degradação	Baixa Degradação	Preservada
Uso por Animais	Presença	Indícios	Ausência
Uso por Humanos	Presença	Indícios	Ausência
Proteção do Local	Ausência	Acesso Humano	Sem Acesso
Proximidade a Residências	Menos de 50m	Entre 50 a 100m	Mais de 100m
Tipo de Área de Inserção	Ausência	Propriedade Privada	Áreas Protegidas

Fonte: Adaptado de Gomes et al. (2005) e Carvalho (2020).

Em seguida os pesos foram somados para a determinação do grau de preservação de cada nascente analisada, como demonstrado na (Tabela 8).

**Tabela 8** – Classificação das nascentes de acordo com o somatório dos pesos.

Classe	Grau de Preservação	Pontuação Final
A	Ótima	18-21
B	Boa	15-17
C	Razoável	12-14
D	Ruim	9-11
E	Péssima	0-8

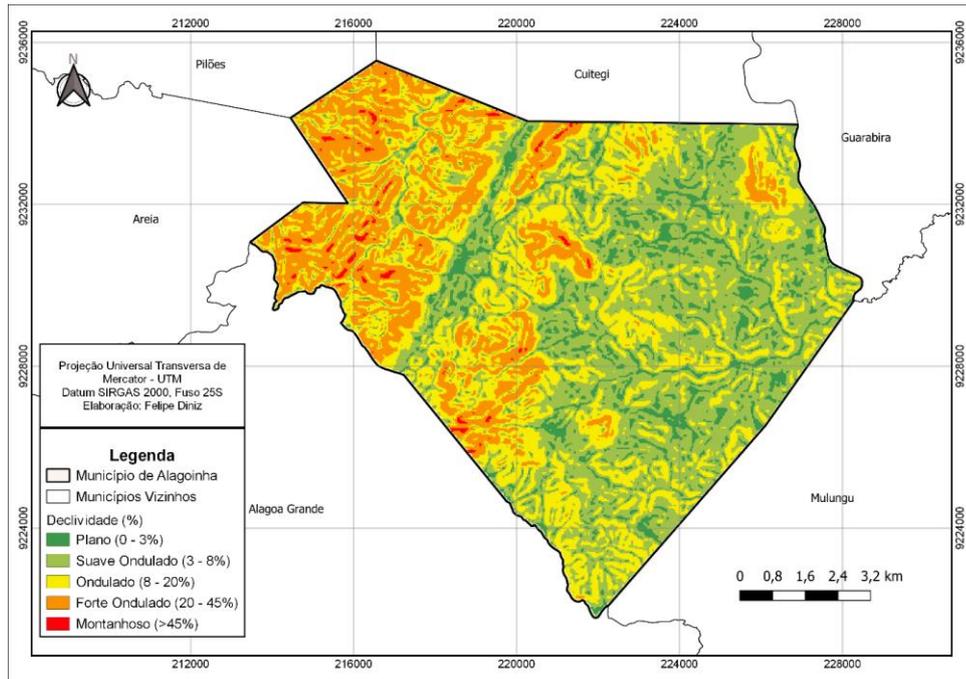
Fonte: Adaptado de Gomes et al. (2005) e Carvalho (2020).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a utilização do sistema de informação geográfica, a partir do Software de uso livre QGIS versão 3.14, foram gerados diversos mapas ilustrativos sobre o município

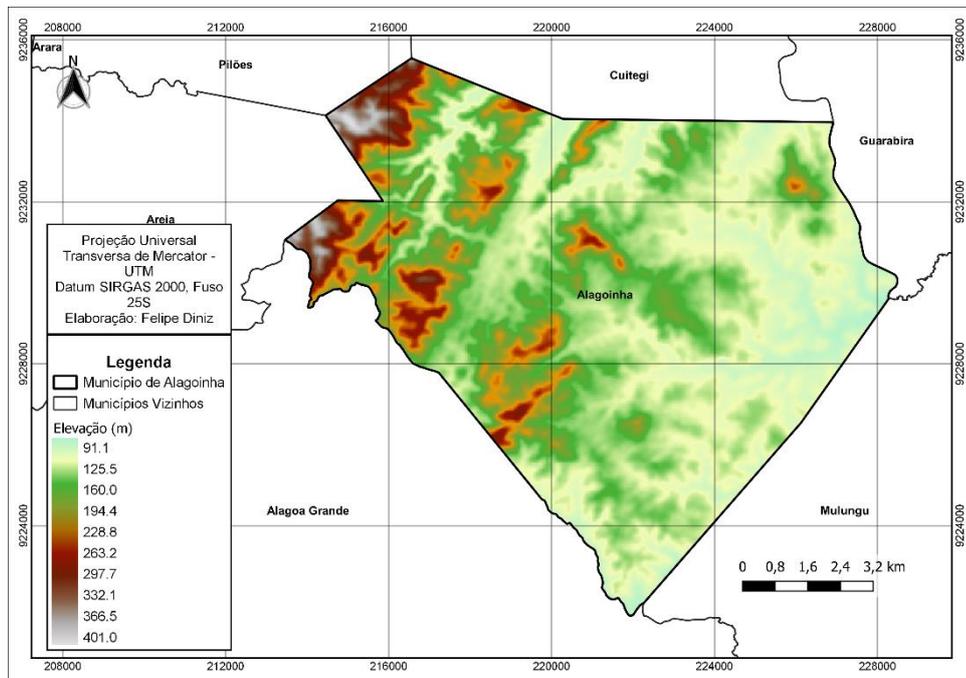
A declividade do município como indica a (Figura 3) é composta por áreas declivosas e não declivosas. Na parte mais ao oeste pode-se identificar, predominantemente, declividades que variam entre 8% a 20%, de 20% a 45% e maiores que 45%, sendo denominadas como ondulado, forte ondulado e montanhoso, respectivamente. Por outro lado, a região mais a leste apresenta declividades menos acentuadas, com variação entre 0% a 3% (plano), 3% a 8% (suave ondulado) e 8% a 20% (ondulado).

Claudino et al. (2021), apontou que “a declividade representa a inclinação da superfície do terreno em relação a horizontal, sendo uma informação de grande relevância pois influencia diretamente na velocidade do escoamento superficial da bacia”, sendo um importante aspecto para a análise dos processos erosivos que ocorrem na região. A erosão ocorre principalmente devido a ação hídrica nos momentos de precipitação.



**Figura 3:** Mapa de declividade do município de Alagoínia-PB.  
**Fonte:** Autor (2023); Adaptado USGS – Missão SRTM (2023).

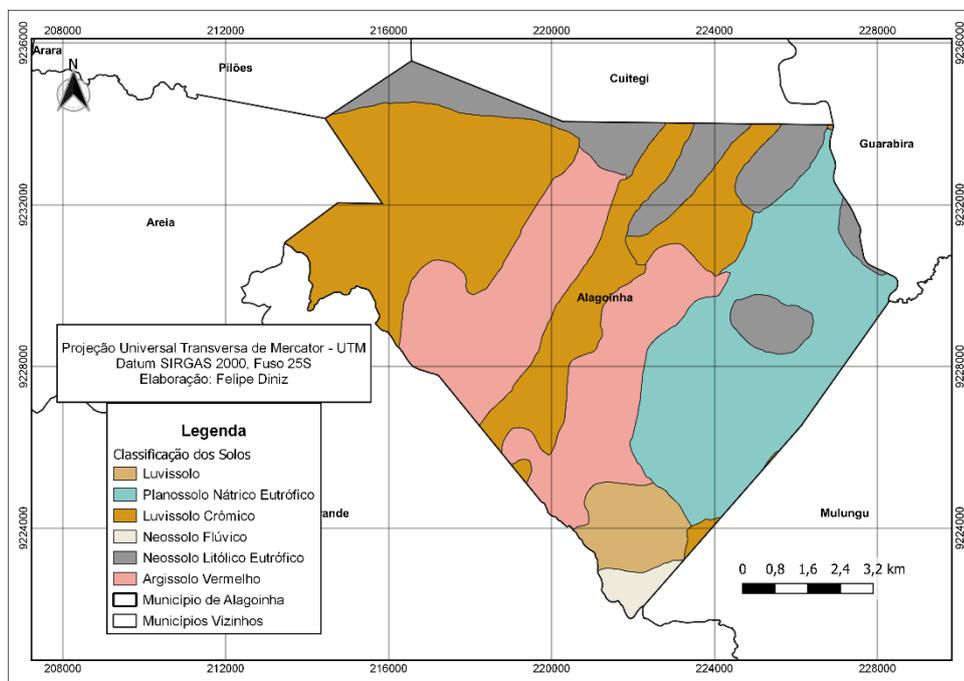
Com relação às cotas altimétricas, o Mapa Hipsométrico (Figura 4) apontou uma elevação mínima de 91,7 m nas áreas mais a leste, a uma altitude máxima de 401,0 m nas áreas mais a oeste. Essa altitude mais elevada é representativa das serras que estão presentes não só no município, como também em outros municípios vizinhos, como Alagoa Grande e Areia.



**Figura 4:** Mapa hipsométrico do município de Alagoínia-PB.  
**Fonte:** Autor (2023); Adaptado USGS – Missão SRTM (2023).

A altitude segundo Melati et al. (2016) “é um dos principais fatores condicionantes para o clima e para o regime pluviométrico de uma bacia hidrográfica”. Essa variação na elevação altimétrica nas áreas de atuação das bacias e microbacias hidrográficas provocam uma variação relevante nos índices de temperatura média, o que ocasiona variações na precipitação e na evapotranspiração anual (SANTOS, et al.; 2012).

O Mapa Pedológico do município de Alagoinha-PB (Figura 5) foi elaborado com base no mapa de solos do estado da Paraíba fornecido pela EMBRAPA em uma escala de 1:500.000, neste é possível verificar que as principais classes de solo presentes no município são as seguintes: Luvissole Crômico, Luvissole Háplico, Planossolo Nátrico Eutrófico, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico Eutrófico e Argissolo Vermelho.



**Figura 5:** Mapa pedológico do município de Alagoinha-PB.  
**Fonte:** Autor (2023); Adaptado AESA (2010) e EMBRAPA(2018).

O Luvissole é um solo que apresenta um horizonte B textural imediatamente abaixo de qualquer horizonte A, possuindo uma nítida diferenciação entre esses horizontes, são solos que não possuem muita profundidade podendo ter uma drenagem adequada ou imperfeita (ZARONI e SANTOS, 2021). O caráter crômico presente em luvissoles é utilizado para o distinguir de acordo com a sua predominância de cores, já o caráter háplico representa um cenário distinto ao crômico, onde as cores são mais pálidas.

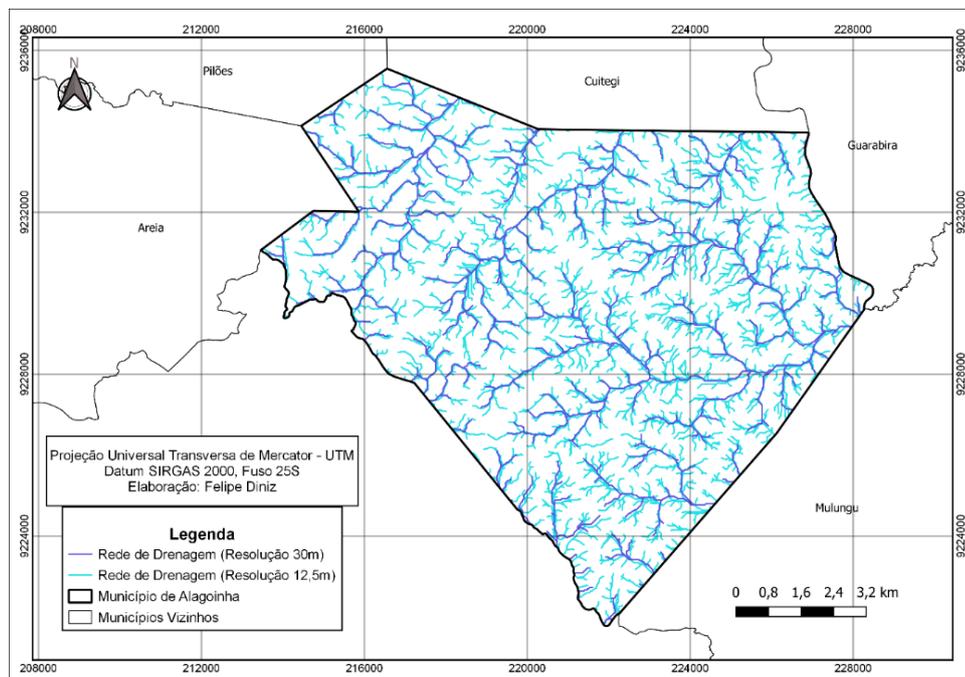
Os Neossolos são solos jovens pouco desenvolvidos e pouco profundos, os Neossolos Flúvicos são formados por sobreposição de camadas recentes de sedimentos aluviais sem que haja uma relação pedogenética entre elas (SILVA e NETO, 2021). Os Neossolos litólicos por

sua vez são facilmente reconhecidos por serem solos rasos em que há a presença de material rochoso nas camadas superficiais, são característicos de áreas de declividades acentuadas e devido as limitações físicas que apresentam, eles são recomendados para servirem de área destinada a preservação ambiental.

O Planossolo apresenta o horizonte B textural com argila de atividade alta, tendo uma drenagem imperfeita que favorece os processos erosivos, ocorrendo principalmente em áreas de baixa declividade como cotas baixas, é classificado como Nátrico em seu segundo nível categórico quando possui alta saturação por sódio que contribui mais ainda na diminuição da permeabilidade do horizonte B textural, é classificado como eutrófico quando apresenta uma saturação por bases igual ou superior a 50%.

Os argissolos possuem uma diferenciação muito perceptível entre os horizontes do solo, apresentando um aumento gradativo nos teores de argila nas camadas em maior profundidade (IAC, s.d.). Quando em áreas menos declivosas como relevos planos e suave ondulados, pode ser utilizado para o cultivo de diversas culturas de interesse agrícola observando-se apenas se há a necessidade de alguma correção ou adição de nutrientes (CUNHA et al., 2021).

Com a utilização de modelos digitais de elevação SRTM e Alos-Palsar foi realizada a comparação entre ambas as imagens de diferentes resoluções espaciais e a rede de drenagem disponibilizada pela AESA.



**Figura 6:** Diferença entre as redes de drenagem geradas pelas imagens SRTM e Alos-Palsar.

**Fonte:** Autor (2023); Adaptado USGS – Missão SRTM e ALOS PALSAR (2023).

Com a observação da (Figura 6) pode-se constatar que a rede de drenagem gerada pelas imagens Alos-Palsar de resolução espacial 12,5 m apresenta mais cursos d'água de primeira ordem em comparação a fornecida pelas imagens SRTM de resolução espacial de 30,0 m obtidas pela interpolação dos modelos de 90,0 m disponibilizados.

As imagens SRTM destacaram que a rede de drenagem inserida no limite municipal é composta por 534 canais, dos quais 288 são de 1ª ordem, 149 de 2ª ordem, 87 de 3ª ordem e 10 de 4ª ordem (Tabela 9).

**Tabela 9** – Classificação dos canais identificados pelas imagens SRTM que estão inseridos no município de Alagoinha-PB.

<b>SRTM</b>	
<b>Ordem</b>	<b>Canais</b>
<b>1</b>	288
<b>2</b>	149
<b>3</b>	87
<b>4</b>	10

**Fonte:** Autor (2023).

Enquanto as imagens Alos-Palsar identificaram ao todo 4.078 canais, sendo 2.124 de 1ª ordem, 1.025 de 2ª ordem, 563 de 3ª ordem, 291 de 4ª ordem, 68 de 5ª ordem e 7 de 6ª ordem (Tabela 10).

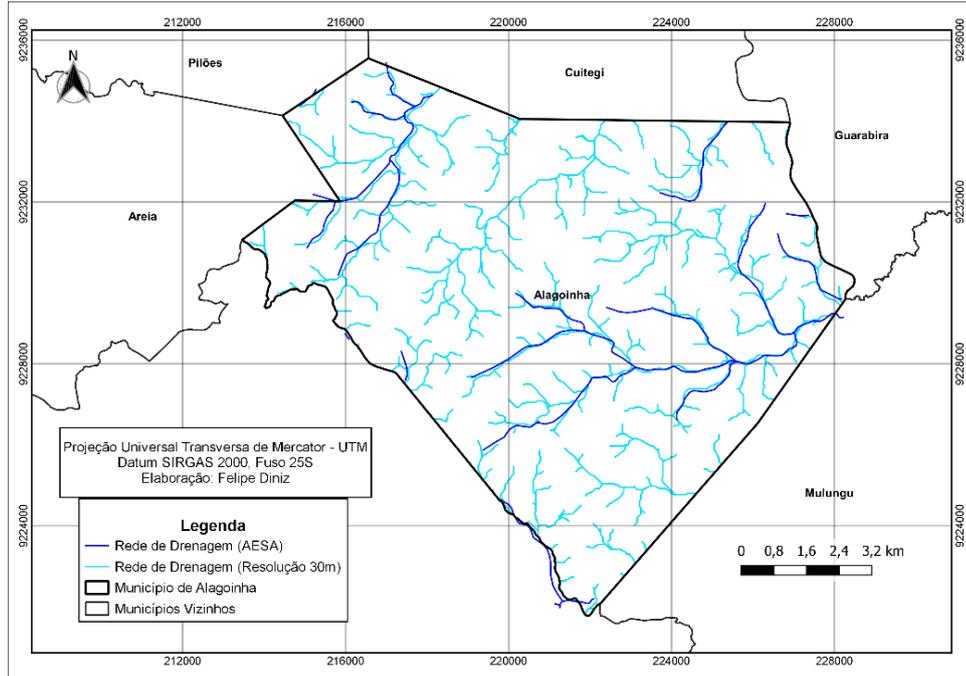
**Tabela 10** – Classificação dos canais identificados pelas imagens Alos-Palsar que estão inseridos no município de Alagoinha-PB.

<b>Alos-Palsar</b>	
<b>Ordem</b>	<b>Canais</b>
<b>1</b>	2.124
<b>2</b>	1.025
<b>3</b>	563
<b>4</b>	291
<b>5</b>	68
<b>6</b>	7

**Fonte:** Autor (2023).

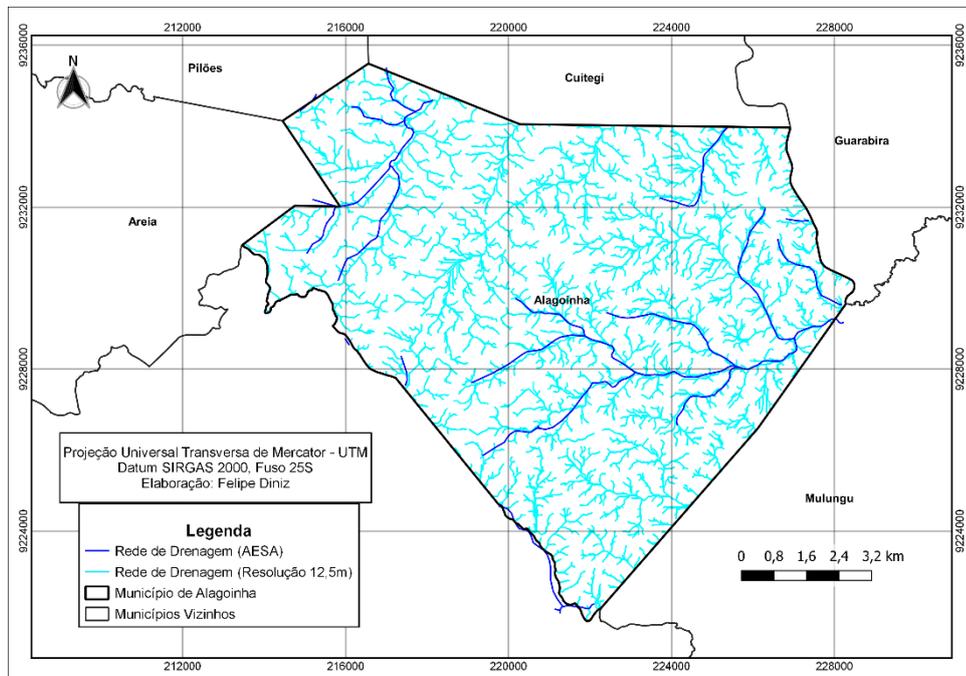
Devido a resolução espacial é possível constatar que o Alos-Palsar fornece dados mais ampliados. Porém mesmo que estudos prévios demonstrem que o Alos-Palsar tem melhor performance em comparação ao SRTM, a quantidade e a magnitude dos erros ocasionados pelas imagens dependem de diversos fatores como a área de estudo e o propósito da pesquisa, onde a acurácia horizontal e vertical do MDE tem um impacto significativo na informação extraída (ADIRI et al., 2022).

As Figuras 7 e 8 demonstram a comparação entre as redes de drenagem geradas através das imagens SRTM e Alos-Palsar respectivamente, com a rede de drenagem fornecida pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.



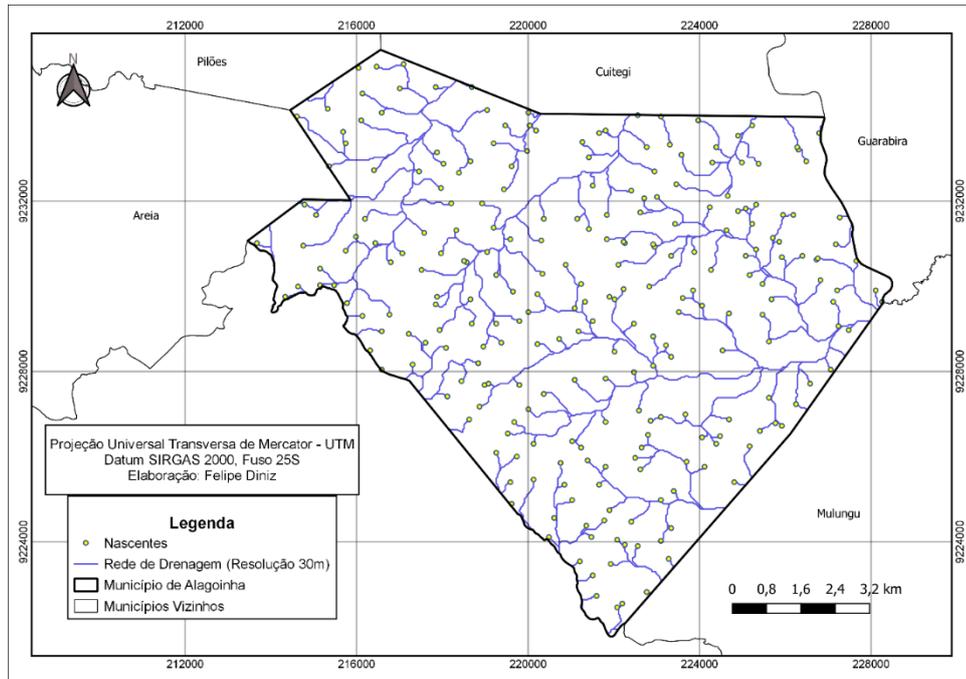
**Figura 7:** Diferença entre as redes de drenagem geradas pelas imagens SRTM e a fornecida pela AESA.  
**Fonte:** Autor (2023); Adaptado USGS – Missão SRTM (2023), e AESA (2010).

As redes de drenagem geradas através dos modelos digitais de elevação fornecem uma base de dados mais abrangente e mais detalhada em comparação ao fornecido pela AESA, possibilitando que haja uma disponibilização de dados cada vez mais precisos para órgãos de gestão interessados nestas informações.

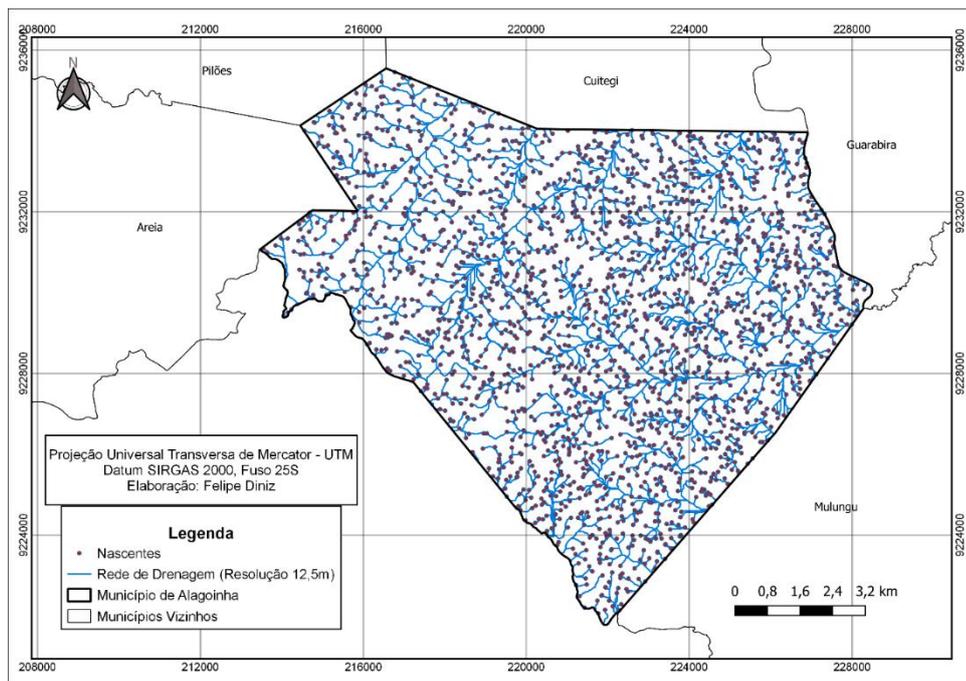


**Figura 8:** Diferença entre a rede de drenagem gerada pelas imagens Alos-Palsar e a fornecida pela AESA.  
**Fonte:** Autor (2023); Adaptado USGS – Missão SRTM (2023), e AESA (2010).

Com a obtenção da rede de drenagem inserida no município, foram extraídos pontos representativos que o software, utilizando os dados de altimetria, identificou como sendo nascentes de água, esse procedimento foi realizado tanto com os MDE provenientes do SRTM (Figura 9) e do Alos-Palsar (Figura 10), as imagens SRTM geraram 288 pontos representativos de nascentes enquanto as imagens Alos-Palsar geraram 2.124 pontos.

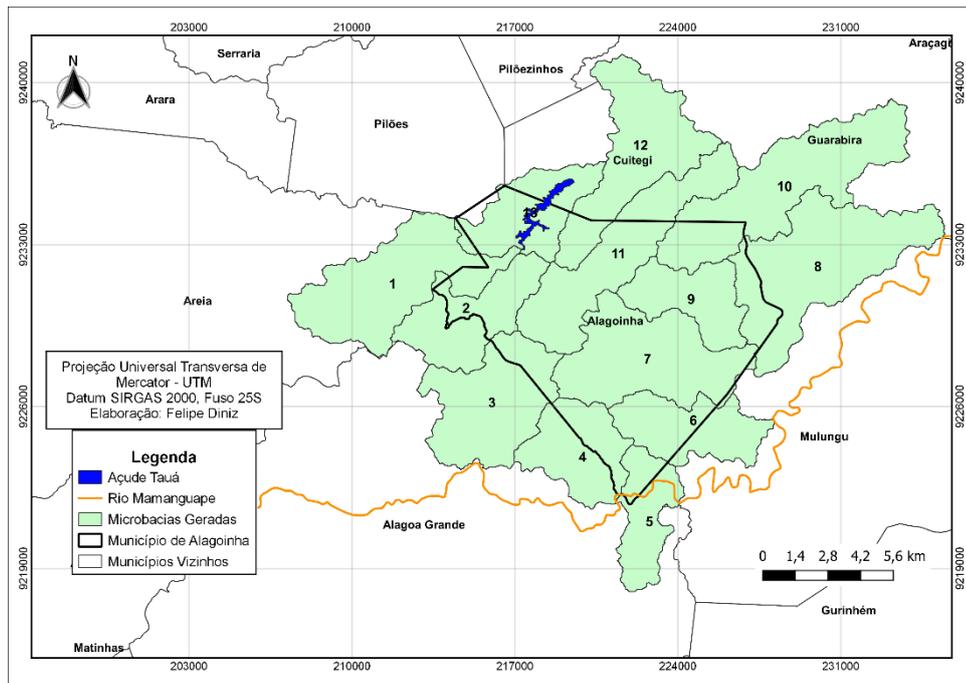


**Figura 9:** Pontos representativos de nascentes geradas através de imagens SRTM (Resolução 30m).  
**Fonte:** Autor (2023); Adaptado USGS – Missão SRTM (2023).



**Figura 10:** Pontos representativos de nascentes geradas através de imagens Alos-Palsar (Resolução 12,5m).  
**Fonte:** Autor (2023); Adaptado USGS – Missão SRTM (2023).

Para a realização da caracterização morfométrica das microbacias inseridas no município, primeiramente foi necessária a geração dessas microbacias por meio do software QGIS. Foram geradas 13 microbacias (Figura 11) que embora estejam inseridas em grande parte no município de Alagoíinha, também estão localizadas nos municípios de Alagoa Grande, Areia, Cuitegi, Mulungu e Guarabira.



**Figura 11:** Microbacias inseridas no município de Alagoíinha-PB.

**Fonte:** Autor (2023).

As microbacias, sub-bacias ou mini-bacias geradas apresentam características que as difere umas das outras, mas todas elas estão inseridas dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape. De acordo com as variáveis geométricas identificadas e quantificadas (Tabela 11), as sub-bacias 8 e 10 possuem as maiores áreas territoriais em comparação com as sub-bacias 5 e 9 que detêm as menores áreas. Segundo Lopes (2016), quanto maior a área da microbacia, maior o volume de água a ser gerado nos períodos de pluviosidade elevada, afetando assim a característica de design dos corpos hídricos, e quanto menor a área, maior é a tendência de se ocorrer picos de enchentes.

**Tabela 11 –** Variáveis Geométricas das 13 Microbacias Inseridas no Município de Alagoíinha-PB.

MICROBACIAS	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS						
	A (km <sup>2</sup> )	P (km)	L <sub>x</sub> (km)	L <sub>t</sub> (km)	K <sub>f</sub>	K <sub>c</sub>	I <sub>c</sub>
<b>1</b>	27,035	41,086	10,215	10,023	0,259	2,213	0,201
<b>2</b>	16,608	30,769	6,724	6,519	0,367	2,114	0,221
<b>3</b>	23,124	33,101	6,045	4,415	0,633	1,927	0,265
<b>4</b>	15,023	23,275	5,155	5,09	0,565	1,681	0,349

5	11,347	24,75	4,275	3,798	0,621	2,057	0,233
6	14,883	28,494	7,192	6,801	0,288	2,068	0,23
7	26,418	37,891	8,596	8,35	0,358	2,064	0,231
8	33,293	45,509	9,961	9,138	0,336	2,208	0,202
9	12,811	24,934	6,058	5,853	0,349	1,951	0,259
10	31,024	47,598	12,192	11,969	0,209	2,393	0,172
11	24,458	44,343	12,004	11,598	0,17	2,511	0,156
12	24,167	41,151	8,886	8,573	0,306	2,344	0,179
13	14,965	27,514	7,25	6,657	0,285	1,991	0,248

Fonte: Autor (2023).

O fator de forma variou de 0,17 na sub-bacia 11 a 0,633 na sub-bacia 3 (Tabela 9), as microbacias foram classificadas segundo o  $K_f$  (Tabela 11) e (Figura 12), onde apenas as microbacias 3, 4 e 5 apresentam tendências medianas a enchentes, enquanto o restante não apresenta essa tendência, isso é reforçado pelos dados do coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) (Tabela 11), (Tabela 12) e (Figura 13), que aponta de forma concomitantemente que todas as microbacias não estão sujeitas a grandes enchentes, variando de 1,681 na sub-bacia 4 a 2,511 na sub-bacia 11.

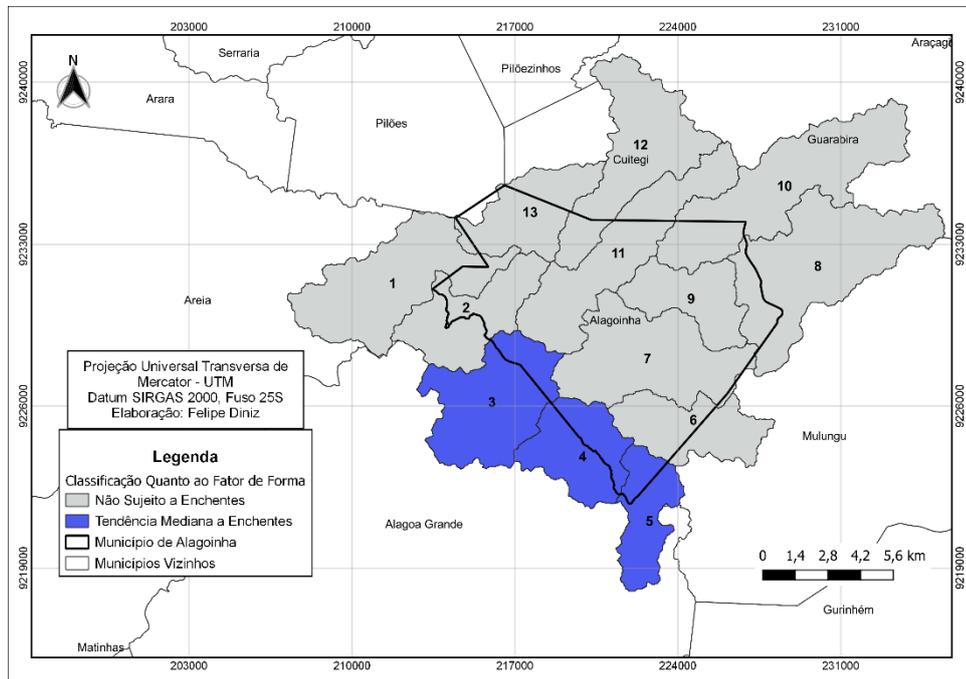
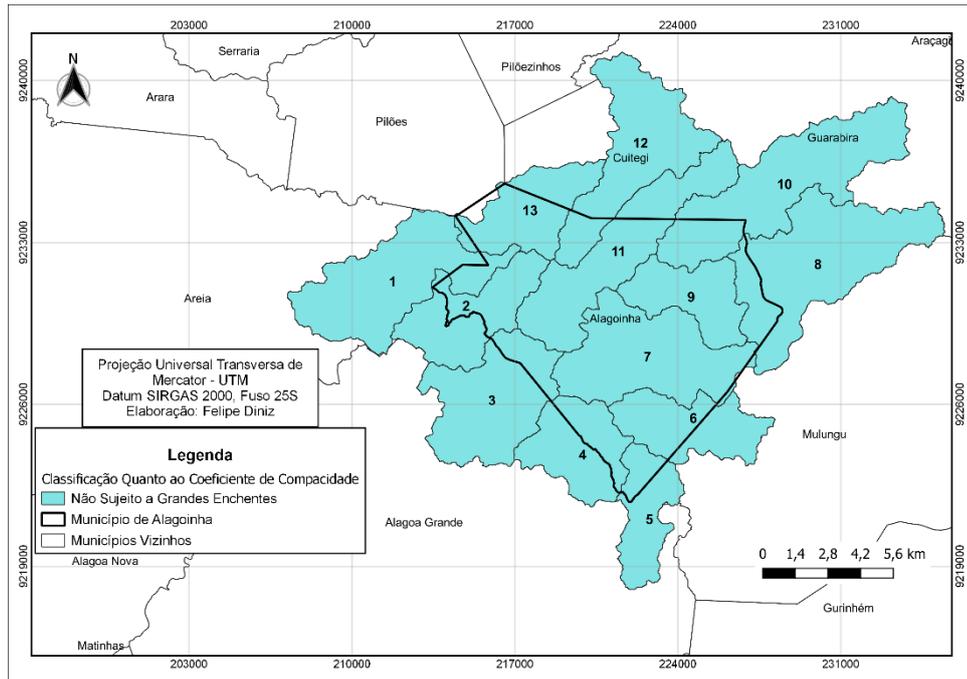


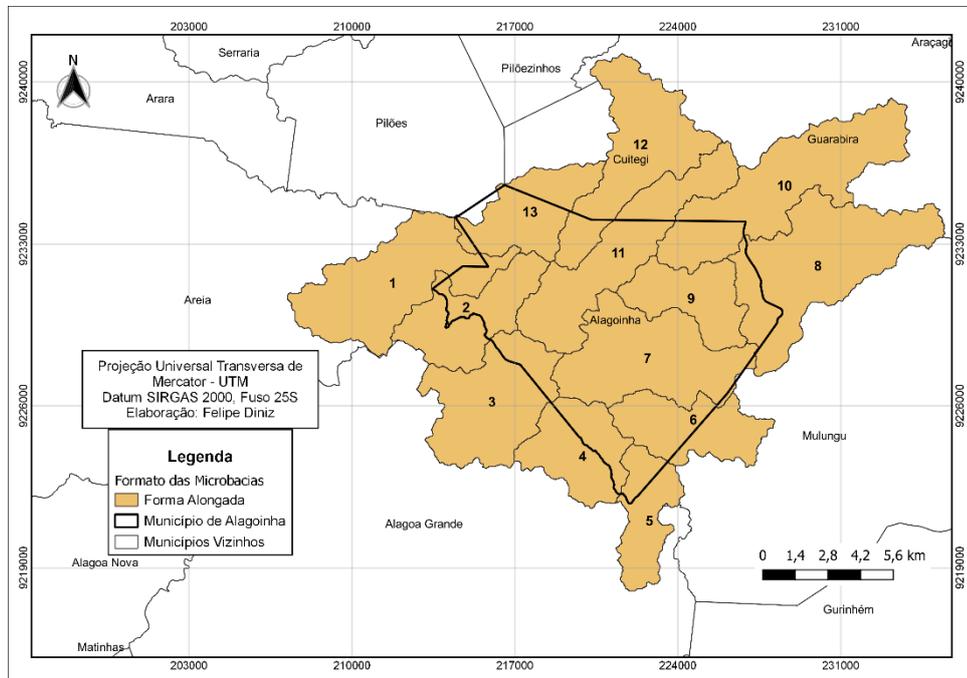
Figura 12: Tendência das microbacias a enchentes de acordo com o fator de forma.

Fonte: Autor (2023).



**Figura 13:** Tendência das microbacias a enchentes de acordo com o coeficiente de compacidade.  
**Fonte:** Autor (2023).

Pela observação do índice de circularidade (Figura 14), as microbacias foram classificadas como tendo formato alongado.



**Figura 14:** Classificação do formato da bacia de acordo com o índice de circularidade.  
**Fonte:** Autor (2023).

O  $K_f$ ,  $K_c$  e  $I_c$  são parâmetros que buscam representar o formato de uma bacia hidrográfica, demonstrando a tendência da bacia a uma grande acumulação de água, quanto mais

alongado for a bacia hidrográfica menor é a possibilidade de que a extensão da bacia seja coberta de forma simultânea por precipitações elevadas (FRAGA et al.; 2014).

Diminuindo dessa forma a quantidade de água acumulada pelo canal principal evitando que a mesma seja extraviada desse canal.

**Tabela 12** – Classificação do Kf, Kc, Dh, Dd e Is segundo a literatura e Lollo (1995); Villela e Mattos (1975) e Chirstofoletti (1980).

CLASSIFICAÇÕES					
MICR OBA CIAS	Classifica ção do Fator de Forma	Classificação do Coeficiente de Compacidade	Classificação da Densidade Hidrográfica por Lollo (1995)	Classificação da Densidade de Drenagem por Villela e Mattos (1975)	Classificação do Índice de Sinuosidade por Christofoletti (1980)
1	Não Sujeito a Enchentes	Não Sujeito a Grandes Enchentes	Média	Drenagem Muito Boa	Sinuoso (Classe IV)
2	Não Sujeito a Enchentes	Não Sujeito a Grandes Enchentes	Baixa	Drenagem Boa	Reto (Classe II)
3	Tendência Mediana a Enchentes	Não Sujeito a Grandes Enchentes	Baixa	Drenagem Boa	Muito Sinuoso (Classe V)
4	Tendência Mediana a Enchentes	Não Sujeito a Grandes Enchentes	Média	Drenagem Muito Boa	Muito Reto (Classe I)
5	Tendência Mediana a Enchentes	Não Sujeito a Grandes Enchentes	Média	Drenagem Muito Boa	Muito Sinuoso (Classe V)
6	Não Sujeito a Enchentes	Não Sujeito a Grandes Enchentes	Baixa	Drenagem Boa	Muito Reto (Classe I)
7	Não Sujeito a Enchentes	Não Sujeito a Grandes Enchentes	Média	Drenagem Boa	Reto (Classe II)
8	Não Sujeito a Enchentes	Não Sujeito a Grandes Enchentes	Baixa	Drenagem Boa	Sinuoso (Classe IV)
9	Não Sujeito a Enchentes	Não Sujeito a Grandes Enchentes	Média	Drenagem Muito Boa	Divergente (Classe III)
10	Não Sujeito a Enchentes	Não Sujeito a Grandes Enchentes	Média	Drenagem Boa	Reto (Classe II)
11	Não Sujeito a Enchentes	Não Sujeito a Grandes Enchentes	Média	Drenagem Muito Boa	Reto (Classe II)
12	Não Sujeito a Enchentes	Não Sujeito a Grandes Enchentes	Média	Drenagem Boa	Divergente (Classe III)
13	Não Sujeito a Enchentes	Não Sujeito a Grandes Enchentes	Média	Drenagem Boa	Divergente (Classe III)

**Fonte:** Autor (2023).

Com relação as características da rede de drenagem (Tabela 13), os valores de densidade de drenagem variaram de 2,177 na sub-bacia 6 a 2,874 na sub-bacia 5, as sub-bacias 2, 3, 6, 7,

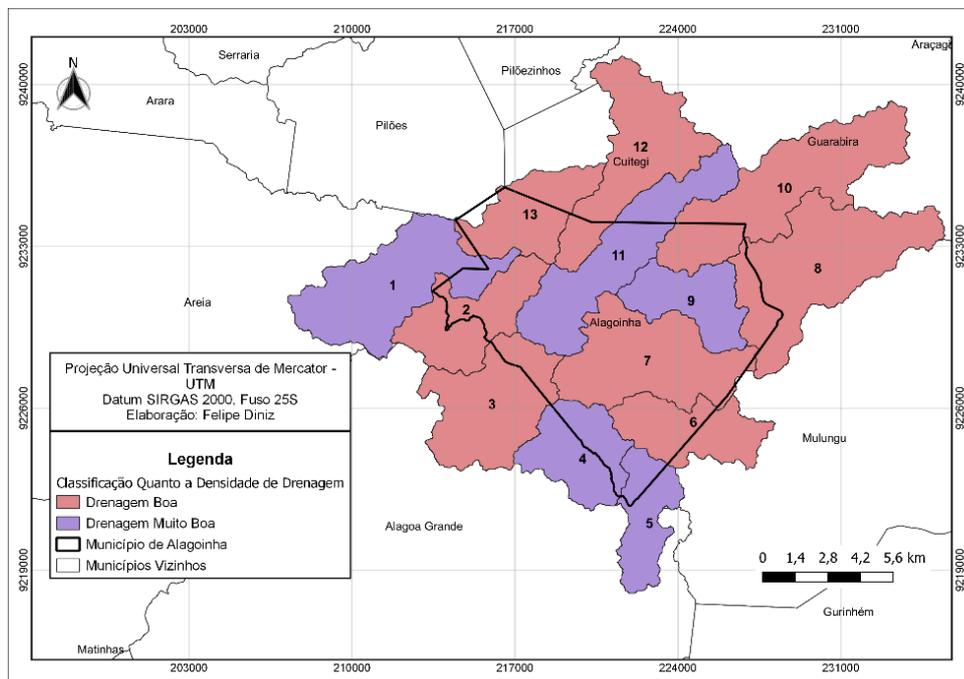
8, 10, 12 e 13 foram classificadas sendo apontadas possuidoras de uma boa drenagem, as sub-bacias 1, 4, 5, 9 e 11 foram classificadas como tendo uma drenagem muito boa (Tabela 12) e (Figura 15), evidenciando a capacidade desses canais de realizarem o escoamento de água de forma adequada.

A densidade de drenagem em valores elevados muitas vezes está relacionada a locais e regiões em que há uma regularidade de chuvas de alta intensidade e que se constata a presença de rochas impermeáveis nas camadas superficiais do solo (CARVALHO et al.; 2009).

**Tabela 13** – Variáveis da rede de drenagem das 13 microbacias inseridas no município de Alagoinha-PB.

MICROBACIA	CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DRENAGEM								
	AS	$D_d$ ( $\text{km}/\text{km}^2$ )	L (km)	$L_c$ (km)	$C_t$	$C_m$ (m)	$F_r$ (Canais/ $\text{km}^2$ )	$D_h$ ( $\text{m}/\text{km}^2$ )	$N_t$
1	2,626	70,985	14,543	8,255	380,855	6,029	3,144	163	85
2	2,343	38,907	8,404	6,771	426,864	5,359	2,89	89	48
3	2,428	56,15	9,742	6,616	411,825	5,276	2,724	122	63
4	2,551	38,318	6,08	8,998	392,061	6,523	3,528	98	53
5	2,874	32,608	7,385	9,877	347,982	6,698	3,437	76	39
6	2,177	32,405	8,018	5,852	459,281	5,174	2,688	77	40
7	2,307	60,958	10,819	7,337	433,38	6,056	3,18	160	84
8	2,255	75,062	13,45	6,095	443,54	5,106	2,703	170	90
9	2,737	35,069	7,886	10,25	356,308	6,947	3,747	89	48
10	2,475	76,797	14,57	7,58	403,974	5,737	3,062	178	95
11	2,602	63,636	14,873	8,191	384,342	5,888	3,148	144	77
12	2,267	54,798	11,941	7,131	441,02	5,834	3,145	141	76
13	2,408	36,034	9,17	7,241	415,302	5,479	3,007	82	45

Fonte: Autor (2023).



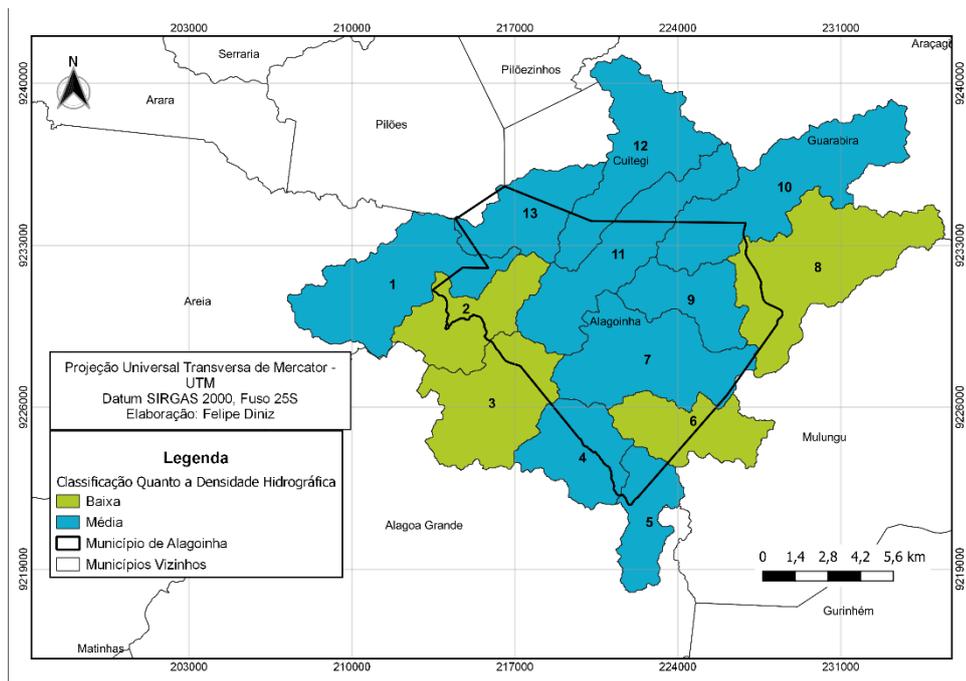
**Figura 15:** Classificação da drenagem das microbacias.

Fonte: Autor (2023).

O comprimento total dos canais levando-se em consideração todas as microbacias foi calculado como sendo de 671,727 km de extensão, as sub-bacias 1, 8 e 10 apresentaram os maiores comprimentos de rios, enquanto as sub-bacias 5 e 6 apresentaram os menores valores, o coeficiente de torrencialidade entre as microbacias variou de 5,852 na microbacia 6 a 10,25 na microbacia 9, vale salientar que quanto menor for a densidade de drenagem, menor o valor do coeficiente de torrencialidade.

A densidade hidrográfica ao contrário da frequência de rios, levou em consideração apenas os canais de 1ª ordem, tendo a sub-bacia 6 apresentado a menor densidade hidrográfica com o valor de 2,688 m/km<sup>2</sup>, já a sub-bacia 9 apresentou a maior densidade com o valor 3,747. As microbacias apresentaram valores de densidade hidrográfica considerados baixos a mediano, onde 9 microbacias possuem Dh média e 4 tem Dh baixa (Figura 16).

A maior quantidade de canais totais e de 1ª ordem está contida na microbacia 10 possuindo 178 canais dos quais 95 são de 1ª ordem, sendo seguida pela microbacia 8, 1 e 7, a microbacia 5 tem a menor quantidade de rios, possuindo apenas 76 dos quais 39 é de 1ª ordem.



**Figura 16:** Classificação da densidade hidrográfica das microbacias.

**Fonte:** Autor(2023).

As microbacias 1 e 2 abrangem os territórios de maior cota altimétrica, com 540 metros e 450 metros, enquanto a microbacia 10 possui a menor cota altimétrica de aproximadamente 60 metros em comparação com todas as outras, esses dados estão dispostos na (Tabela 14), que fornece as informações em conjunto como as características de relevo.

**Tabela 14** – Variáveis de relevo das 13 microbacias inseridas no município de Alagoinha-PB.

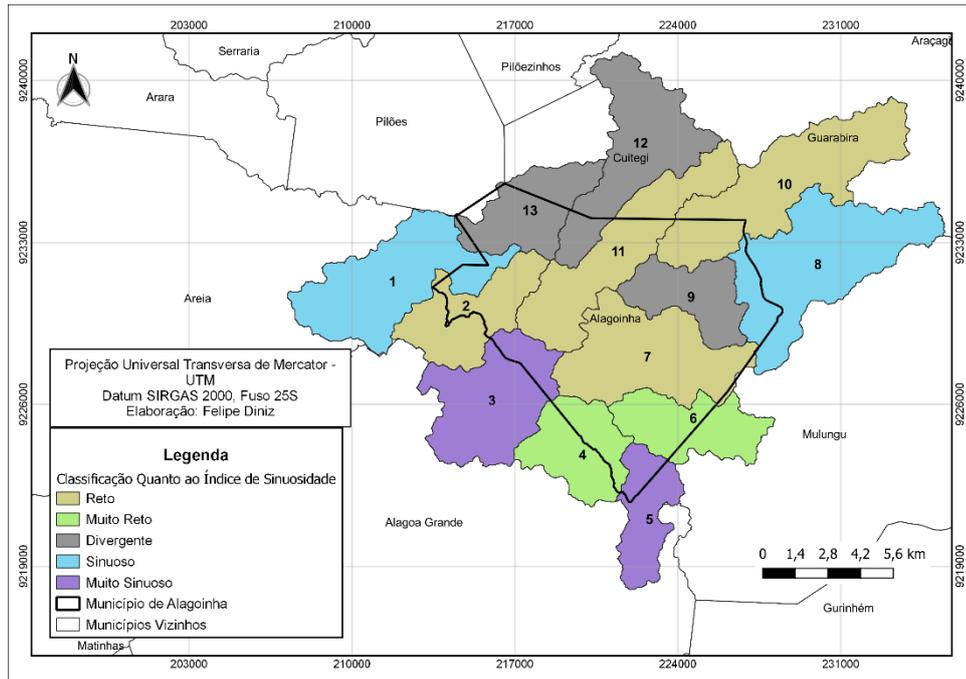
MICROBACIAS	CARACTERÍSTICAS DE RELEVO					
	$C_{max}$ (m)	$C_{min}$ (m)	$H_m$ (m)	$I_s$ (%)	$I_r$	$R_r$ (m/km)
1	540	150	390	45,096	1024,011	122,024
2	450	150	300	28,915	702,8	115,693
3	390	120	270	120,657	655,618	109,816
4	300	120	180	19,45	459,112	79,279
5	180	120	60	94,444	172,423	29,019
6	180	90	90	17,894	195,958	33,56
7	270	120	150	29,569	346,116	51,161
8	210	90	120	47,188	270,551	38,022
9	240	120	120	34,734	328,49	48,755
10	240	60	180	21,731	445,573	51,551
11	300	90	210	28,238	546,388	60,612
12	420	90	330	39,286	748,266	110,703
13	390	90	300	37,75	722,366	11,417

Fonte: Autor (2023).

A amplitude altimétrica máxima das microbacias teve como o maior valor na microbacia 1 com 390 m e menor valor na microbacia 5 com 60 m, o índice de rugosidade variou de 172,423 na sub-bacia 5 a 1024,011 na sub-bacia 1. Esse índice indica a velocidade em que os fluxos de vertente se convertem em fluxos fluviais, indicando com isso o potencial de transmissibilidade hidráulica da bacia bem como o nível de energia devido a amplitude altimétrica (SALIS et al., 2019).

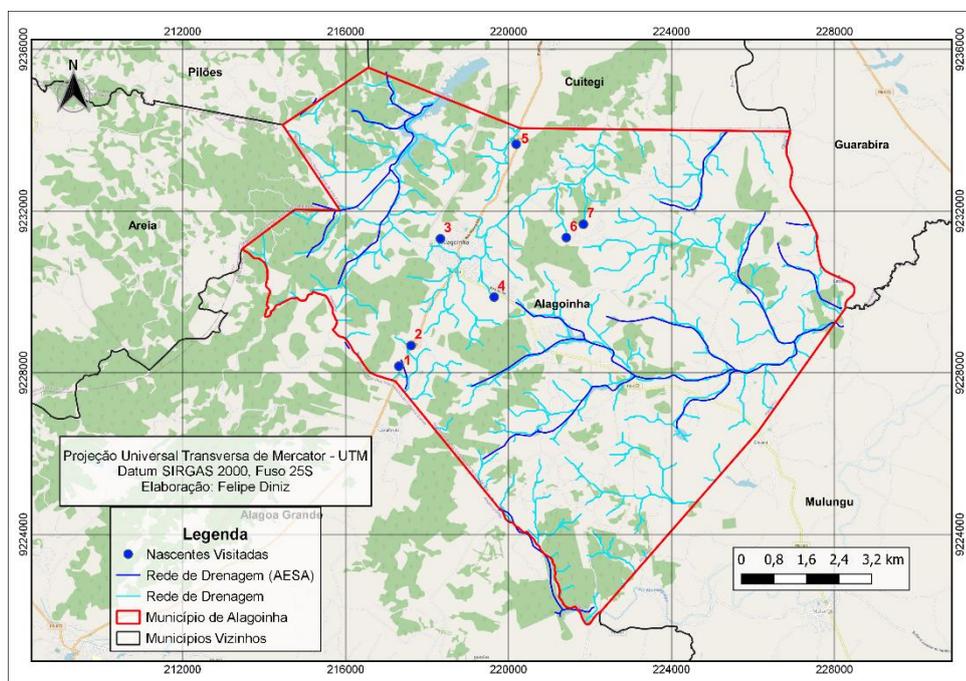
Os índices de sinuosidade apresentados se diferenciaram quanto ao grau de porcentagem, as microbacias 2, 4, 6, 7, 10 e 11 exibiram  $I_s$  abaixo de 30% enquanto o restante exibiu  $I_s$  acima de 30 %, alguns chegando até acima de 90%, como é o caso das microbacias 3 e 5. De acordo com Sousa e Paula (2016), a sinuosidade dos canais recebe influência direta dos sedimentos que são depositados ao longo do curso de água devido a fatores como a declividade da bacia e a compartimentalização litológica.

O índice de sinuosidade do canal principal de todas as microbacias foi classificado, como mostra a (Tabela 12), em que os canais principais das microbacias 4 e 6 foram classificados como muito retos; 2, 7, 10 e 11 como sendo reto; 9, 12 e 13 como divergentes; 1 e 8 como sinuosos; 3 e 5 como muito sinuosos, a (Figura 17) demonstra essa classificação.



**Figura 17:** Classificação do índice de sinuosidade do canal principal das microbacias.  
**Fonte:** Autor (2023).

A partir da validação das nascentes *in loco*, foi possível a verificação da efetividade da utilização de MDE para a verificação de pontos de nascentes, seguido pela mensuração dos aspectos ambientais macroscópicos de 07 nascentes selecionadas (Figura 18).



**Figura 18:** Nascentes selecionadas para a validação *in loco*.  
**Fonte:** Autor (2023); Adaptado Google Earth (2013).

A nascente 01 cuja coordenadas UTM Zona 25 Sul são Direção Leste: 0217305 m e Direção Norte: 9228165 m está localizada em uma propriedade privada, lado esquerdo da

Rodovia PB-075, mais especificamente dentro de um piquete cercado, onde havia pastagem destinada ao manejo e a alimentação de bovinos (Figura 19), porém não foi possível a visualização do corpo hídrico proveniente desta nascente, ou seja, a mesma já não está mais ativa, este problema foi constatado em todas as nascentes visitadas. Indicando assim que, podem ser nascentes intermitentes, a acurácia das coordenadas não foi suficiente, ou que essas nascentes já se encontram inativas.



**Figura 19:** Localização da nascente 01.

**Fonte:** Autor (2023).

A nascente 02 de coordenadas UTM Zona 25 Sul Direção Leste: 0217605 m e Direção Norte: 9228675 m está localizada na margem da rodovia PB-075 (dentro da faixa de domínio da mesma rodovia), devido a este local, nos períodos de chuva o escoamento da água que não pode ser absorvida pelo asfalto ocorre justamente nesse local de transição. É possível verificar que há a presença de água nas camadas subsuperficiais desse solo devido a aparência da vegetação presente no local (Figura 20).



**Figura 20:** Localização da nascente 02.

**Fonte:** Autor (2023).

A nascente 03 (Figura 21) de coordenadas UTM Zona 25 Sul Direção Leste: 0218325 m e Direção Norte: 9231315 m está localizada próxima a sede do município, estando inclusive próxima de uma residência, o local em que ela está inserida é utilizado para o cultivo de capim elefante *Pennisetum purpureum* visando a alimentação animal, sendo constatado a presença de equídeos no local. Junto a isso foi observado a presença de um poço artesiano (Figura 22).



**Figura 21:** Cultivo de capim elefante na localização da nascente 03.

**Fonte:** Autor (2023).



**Figura 22:** Poço artesiano próximo a nascente 03.  
**Fonte:** Autor (2023).

A nascente 04, cuja coordenadas UTM Zona 25 Sul Direção Leste: 0219645 m e Direção Norte: 9229875 m está situada a direita da PB-063 (Figura 23) e se encontra em áreas de pastejo animal dentro de uma propriedade privada, onde a vegetação do local apresenta certo grau de degradação. Possivelmente a mesma já está inativa há um período considerável, visto que os trabalhadores que frequentam o local negaram a existência de nascentes na propriedade.



**Figura 23:** Localização da nascente 04.  
**Fonte:** Autor (2023).

A nascente 05 se localiza na região mais ao norte da sede do município, de coordenadas UTM Zona 25 Sul Direção Leste: 0220185 m e Direção Norte: 9233655 m, a área que se encontra é próxima a rodovia PB-075 e está dentro de uma propriedade em que, majoritariamente, é realizado plantio de cana de açúcar (Figura 24).



**Figura 24:** Localização da nascente 05.  
**Fonte:** Autor (2023).

A nascente 06 por sua vez de coordenadas UTM Zona 25 Sul Direção Leste: 0221415 m e Direção Norte: 9231345 m, estando próxima a uma residência em ambiente rural. O local apontado, por apresentar uma vegetação muito densa (Figura 25), impossibilitou o acesso para a averiguação da nascente, porém, quando questionado, o proprietário afirmou que na localidade apontada pelas coordenadas não havia nenhum olho d'água. Apontando para a possibilidade de a nascente não estar em atividade há mais de 15 anos.



**Figura 25:** Local inacessível em que possivelmente está localizado a nascente 06.

**Fonte:** Autor (2023).

Por fim, a nascente 07 de coordenadas UTM Zona 25 Sul Direção Leste: 0221835 m e Direção Norte: 9231675 m e está localizada em uma propriedade particular, se encontra muito afastada de residências, mas foi averiguado indícios uso humano que podem ser provados pela presença de um poço artesiano e um curral em construção (Figura 26).

Foi possível observar que na maioria dos locais em que as nascentes estão localizadas, são consideradas áreas rurais consolidadas, ou seja, já havia ocupação antrópica anteriormente a 22 de julho de 2008 (FRANCO, 2022).

As vegetações presentes nos locais puderam ser comparadas a fim de se analisar o grau de preservação dessas nascentes, onde as vegetações de porte menor como gramíneas apontaram uma presença animal nesses locais, por servirem de alimento aos mesmos, já a vegetação de porte mais elevado e mais desenvolvido destacaram os locais em que não houve perturbações, sendo inclusive caracterizada pela presença de vegetação nativa.



**Figura 26:** Localização da nascente 07.

**Fonte:** Autor (2023).

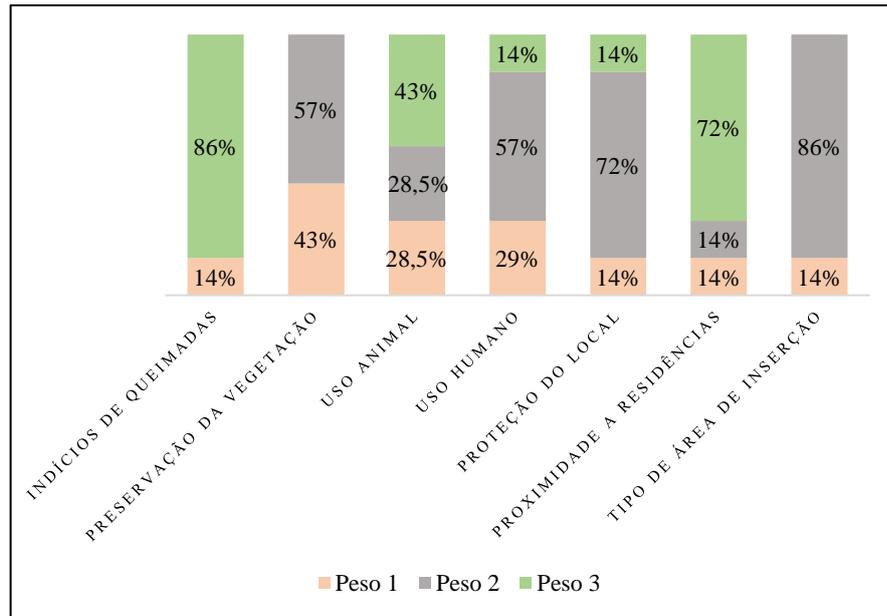
A avaliação macroscópica das nascentes levou em consideração apenas os fatores circundantes do local, em que elas estavam inseridas, que foram os parâmetros macroscópicos já citados anteriormente, após a validação e a avaliação das mesmas, elas foram classificadas de acordo com situação dos parâmetros macroscópicos analisados (Tabela 15).

**Tabela 15** – Classificação do grau de preservação das nascentes de acordo com os parâmetros analisados.

<b>NASCENTES</b>	<b>Indícios de Queimadas</b>	<b>Preservação da Vegetação</b>	<b>Uso Animal</b>	<b>Uso Humano</b>	<b>Proteção do Local</b>	<b>Proximidade a Residências</b>	<b>Tipo de Área de Inserção</b>	<b>TOTAL</b>	<b>CLASSE</b>
<b>1</b>	3	1	2	2	2	3	2	15	<b>B</b>
<b>2</b>	3	2	3	3	1	3	1	16	<b>B</b>
<b>3</b>	3	2	1	1	2	1	2	12	<b>C</b>
<b>4</b>	3	1	1	2	2	3	2	14	<b>C</b>
<b>5</b>	1	2	3	1	2	3	2	14	<b>C</b>
<b>6</b>	3	2	3	2	3	2	2	17	<b>B</b>
<b>7</b>	3	1	2	2	2	3	2	15	<b>B</b>

**Fonte:** Autor (2023).

Com isso, quatro nascentes (1, 2, 6 e 7) tiveram a classificação B e três (3, 4 e 5) a classificação C, a classe B representa um grau de preservação considerado bom, enquanto a classe C representa um grau de preservação considerado razoável, a Figura 27 demonstra o percentual dos pesos apresentados para cada parâmetro analisado nas nascentes validadas.



**Figura 27:** Percentual dos parâmetros em relação ao peso dos atributos.

**Fonte:** Autor (2023).

## 5 CONCLUSÃO

As microbacias presentes no Município de Alagoinha-PB apresentaram em sua maioria formato alongado, tendo boa drenagem, densidade hidrográfica mediana, com cotas altimétricas variadas e são compostas por rios principais retos até rios muito sinuosos.

Os arquivos informativos de dados altimétricos, mais especificamente os modelos digitais de elevação permitiram a geração de mapas detalhados da rede de drenagem, contribuindo no melhor entendimento dos fluxos hídricos que ocorrem no município, podendo ser inseridos em políticas públicas para o aprimoramento das mesmas.

O uso de sistemas de informações geográficas e as imagens advindas dos sensores SRTM e ALOS PALSAR se mostraram eficientes para a identificação de nascentes, auxiliando com isso o órgão gestor na manutenção e preservação, desses locais de interesse ambiental, mostrou-se também uma grande diferença entre os resultados obtidos através da utilização das duas imagens.

Conclui-se que as ferramentas de geoprocessamento utilizadas para a determinação informativa sobre os dados referentes as características físicas de bacias e microbacias hidrográficas e se mostraram eficientes para a identificação de nascentes, possuindo assim grande utilidade na compreensão das dinâmicas hidrológicas, auxiliando não apenas os órgãos cabíveis, mas a população como um todo, na manutenção, no monitoramento e na preservação das nascentes e dos locais de interesse ambiental.

## REFERÊNCIAS

- ADIRI, Z.; LHISSOU, R. MAACHA, L. et al. Comparison of ASTER GDEM3, SRTM3, NASADEM, TanDEM-X90, AW3D30, and ALOS PALSAR Data With TanDEM-X12: A Case Study of Tagragra of Akka Inlier, Moroccan Anti-Atlas. **Arabian Journal of Geosciences**, Riad, v. 15, n. 1654, 2022.
- ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. **Gestão Integrada de Mananciais de Abastecimento Eutrofizados**. 1.ed. Curitiba: Sanepar, 2005.
- BARGOS, D. C. **Caracterização de Bacias Hidrográficas**. Lorena, 2019. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4641496/mod\\_resource/content/1/aula%204\\_LOB1233.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4641496/mod_resource/content/1/aula%204_LOB1233.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2023.
- BORETTI, A.; ROSA, L. Reassessing the Projections of the World Water Development Report. **npj Clean Water**, [S.I.], v. 2, n. 15, jul. 2019.
- BRASIL. Lei Nº 8.174, de 30 de janeiro de 1991. Dispõe sobre os Princípios de Política Agrícola. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 1991.
- BRASIL. Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 1997.
- BRASIL. Lei Nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Dispõe sobre a Proteção da Vegetação Nativa. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 2012.
- CAIXETA, A. C. M.; VASCONCELOS, A. M. C.; BATTILANI, G. A.; et al. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Canabrava na Região do Município de Coração de Jesus (MG) com Aplicação de um SIG. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 20., 2023, Florianópolis. **Anais...** São Jose dos Campos: INPE, 2023.
- CARVALHO, C. G. S. **Uso de Geotecnologias na Avaliação Macroscópica de Impactos Ambientais em Nascentes do Rio de Ondas Barreiras-BA**. 2020. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Departamento de Ciências Humanas, Universidade do Estado da Bahia, Barreiras, 2020.
- CARVALHO, W. M. C.; VIEIRA, E. O.; ROCHA, J. M. J.; et al. Caracterização Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Malheiro, no Município de Sabará -MG. **Revista Irriga**, v. 14, n. 3, p. 398-412, 2009.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise Morfométrica de Bacias Hidrográficas. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.
- CHRISTOFOLETTI, A. A Morfologia de Bacias de Drenagem. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v. 18, n. 36, p. 130-142, 1978.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial: O Canal Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, p. 313, 1980.

CLAUDINO, C. M. A.; et al. Caracterização Física da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame-PB Utilizando SIG. *In*: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, 6., 2021, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Plataforma Espaço Digital, 2021.

CUNHA, T. J. F.; SÁ, I. B.; PETRERE, V. G.; et al. **Bioma Caatinga**: Argissolos. EMBRAPA, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/argissolos#:~:text=S%C3%A3o%20solos%20medianamente%20profundos%20a,baixos%20teores%20de%20mat%C3%A9ria%20org%C3%A2nica.>>. Acesso em: 01 nov. 2023.

DIBAN, G. M. F.; BEZERRA, B. S.; CHUERUBIM, M. L. Avaliação Comparativa da Qualidade dos Dados de Elevação Obtidos com GNSS, Google Earth e SRTM para Projetos de Estradas. **Colloquium Exactarum**, Presidente Prudente, v. 15, n. 1, p. 1-15, ago. 2023.

DONEGÁ, M. V. B.; SOUZA, T. W. S.; LIMA, M. M.; et al. Caracterização Hidrogeomorfológica da Microbacia do Rio Gavião, Amazônia Ocidental, Brasil. **Research, Society and Development**, [S.I.], v. 10, n. 1, jan. 2021.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Alos – Advanced Land Observing Satellite**. Campinas, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/satelites-de-monitoramento/missoes/alos>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

FENTA, A. A.; YASUDA, H.; SHIMIZU, K.; et al. Quantitative Analysis and Implications of Drainage Morphometry of the Agula Watershed in the Semi-Arid Northern Ethiopia. **Applied Water Science**, [S.I.], v. 7, n. 7, p. 3825-3840, fev. 2017.

FERRARI, J. L.; SILVA, S. F.; SANTOS, A. R.; et al. Análise Morfológica da Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego Horizonte Alegre, ES. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 181-188, 2013.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem Complicação**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FRAGA, M. S.; FERREIRA, R. G.; SILVA, F. B.; et al. Caracterização Morfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. **Nativa**, Sinop, v. 2, n. 4, p. 214-218, 2014.

FRANCISCO, P. R. M.; RIBEIRO, G. N.; SILVINO, G. S.; PEREIRA, F. C.; NETO, J. M. M.; SILVA, V. M. A. (Org.). **Geotecnologias Aplicada à Estudos Ambientais**. 1. ed. Campina Grande: EPGRAF, 2018.

FRANCO, D. **Saiba o que é Área Rural Consolidada e para que Serve**. [S.I.], 2022. Disponível em: <<https://advambiental.com.br/artigo/area-rural-consolidada/#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20%C3%A1rea,se%20encontrava%20em%20efetivo%20uso.>>. Acesso em: 14 nov. 2023.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1988.

GARDON, F. R. Land Prioritization: An Approach to the Effective Environmental Planning of Hydrographic Basins. **Environmental Management**, [S.I.], v. 67, n. 4, p. 623-631, fev. 2021.

GHOSH, M.; GOPE, D. Hydro-Morphometric Characterization and Prioritization of Sub-Watersheds for Land and Water Resource Management Using Fuzzy Analytical Hierarchical Process (FAHP): A Case Study of Upper Rihad Watershed of Chhattisgarh State, India. **Applied Water Science**, [S.I.], v. 11, n. 17, jan. 2021.

GOMES, P. M.; Melo C.; VALE, V. S. Avaliação dos Impactos Ambientais em Nascentes na Cidade de Uberlândia – MG: Análise Macroscópica. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 17, n. 32, p. 103-120, 2005.

GOVERNO MUNICIPAL DE ALAGOINHA. **História da Cidade: A Origem e o Nome**. [S.I.], [s.d.]. Disponível em: <<https://alagoinha.pb.gov.br/cidade/historia/>>. Acesso em: 21 out. 2023.

HORTON, R. E. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. **GSA Bulletin**, McLean, v. 56, n. 3, p. 275–370, mar. 1945.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). **Solos do Estado de São Paulo: Argissolos**. Campinas, [s.d.]. Disponível em: <<https://solosp.iac.sp.gov.br/pdf/Argissolos.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico**. [S.I.], 2022. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>>. Acesso em: 21 out. 2023.

JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY (JAXA). **Alos-2 Overview**. [S.I.], c2023. Disponível em: <[https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/alos-2/a2\\_about\\_e.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/alos-2/a2_about_e.htm)>. Acesso em: 11 out. 2023.

JÚNIOR, A. P.; BORANGA, J. A. Prefácio. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (ed.). **Reúso de Água**. 1. ed. Barueri: Manole, 2003.

JÚNIOR, A. R. B. **Elementos de Hidrologia Aplicada**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2022.

LAGO, W. J. S. **Sistemas de Informação Geográfica**. Monte Castelo: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, 2021.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; MINGOTI, R. Caracterização Hidroambiental de Nascentes. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 146-155, 2017.

LIMA, W. P. **Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. 1969.

LOLLO, J. A. **O Uso da Técnica de Avaliação do Terreno no Processo de Elaboração do Mapeamento Geotécnico: Sistematização e Aplicação na Quadricula de Campinas**. 1995. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

LOPES, I. **Caracterização Morfométrica e Uso do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Pontal**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2015.

MATOS, A. T.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. **Barragens de Terra de Pequeno Porte**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2003.

MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Efeito da Altitude na Chuva Média Anual nas Sub-Bacias Pertencentes à Bacia do Atlântico – Trecho Sudeste. *In*: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 13., 2016, Aracaju. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2016.

MILLER, V. C. A Quatitative Geomorphic Study of Drainage Basins Characteristic in the Clinch Mountain Area. **Technical Report**, New York, v. 3, 1953

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2005.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Shuttle Radar Topography Mission: **The Mission to Map the World**. [S.I.], 14 mar. 2016. Disponível em: <<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mission.htm>>. Acesso em: 05 out. 2023.

NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY. **GIS (Geographic Information System)**. [S.I.], 28 set. 2023. Disponível em: <<https://education.nationalgeographic.org/resource/geographic-information-system-gis/>>. Acesso em: 04 out. 2023.

NETO, A. R.; PAZ, A. R.; MARENGO, J. A.; et al. Hydrological Processes and Climate Change in Hydrographic Regions of Brazil. **Journal of Water Resource and Protection**, [S.I.], v. 8, n. 12, p. 1103-1127, nov. 2016.

OKOLIE, C. J.; SMIT, L. A Systematic Review and Meta-Analysis of Digital Elevation Model (DEM) Fusion: Pre-Processing, Methods and Applications. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [S.I.], v. 188, p. 1-29, abr. 2022.

PANZA, M. R.; DONEGÁ, M. V. B.; PACHECO, F. M. P.; et al. Características da Paisagem para Manejo dos Recursos Naturais na Microbacia do Rio Jacuri, Amazônia Ocidental, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 12, p. 101532-101558, dez. 2020.

POLIDORI, L.; HAGE, M. E. Digital Elevation Model Quality Assessment Methods: A Critical View. **Remote Sensing**, Basel, v. 12, n. 21, out. 2020.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS – The Leading Open Source Desktop GIS**, [S.I.], c2023. Disponível em: <<https://qgis.org/en/site/about/index.html#top>>. Acesso em: 04 out. 2023.

RAIOL, L. L.; FERREIRA, M. T.; SANTOS, D. C. R.; et al. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Caripi, Zona Costeira Amazônica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 15, n. 5, p. 2354-2370, 2022.

ROCHA, R. M.; LUCAS, A. A. T.; ALMEIDA, C. A. P.; et al. Caracterização Morfométrica da Sub-Bacia do Rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, [S.I.], v. 9, n. 2, p. 276-287, 2014.

ROSENQVIST, A.; SHIMADA, M. ALOS PALSAR: A Pathfinder Mission for Global-Scale Monitoring of the Environment. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, [S.I.], v. 45, n. 11, p. 3307-3316, nov. 2007.

RUDRAIAH, M.; GOVINDAIAH, S.; VITTALA, S. S. Morphometry Using Remote Sensing and GIS Techniques in the Sub-Basins of Kagna River Basin, Gulburga District, Karnataka, India. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, Dehradun, v. 36, n. 4, p. 351-360, dez. 2008.

SALIS, H. H. G.; et al. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Merinheiro, Sete Lagoas – MG. **Boletim de Geografia**, v. 37, n. 2, p. 186-201, 2019.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; et al. Análise Morfométrica das Sub-Bacias Hidrográficas Perdizes e Fojo no Município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, [S.I.], v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea**: Diagnóstico do Município de Alagoinha. Recife, set. 2005.

SILVA, J. F.; MIRANDA, R. Q.; CANDEIAS, A. L. B. Análise dos Modelos Digitais de Elevação (PE3D, SRTM-30, SRTM-90, ASTER GDEM, TOPODATA, TANDEM-X, ALOS PALSAR e ALOS AW3D30) e a Necessidade da Produção de Dados Altimétricos em Excelência no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 15, n. 3, p. 1543-1555, abr. 2022.

SILVA, J. M. **Caracterização de Áreas de Restrição de Uso na Bacia Hidrográfica do Igarapé Carrapato, Boa Vista – RR**. 2022. Projeto de Qualificação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2022.

SILVA, L. P. **Hidrologia**: Engenharia e Meio Ambiente. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2015.

SILVA, M. A.; FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; et al. Sistema de Informações Geográficas no Planejamento de Uso do Solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 2, p. 316-323, 2013.

SILVA, M. S. L.; NETO, M. B. O. **Território Mata Sul Pernambucana**: Neossolos Flúvicos. EMBRAPA, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/neossolos-fluvicos>>. Acesso em: 01 nov. 2023.

SILVA, T. O.; LACERDA, S. M. P.; SILVA, V. A.; et al. Caracterização Morfométrica da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio dos Monos-Bahia, Brasil. **Conjecturas**, [S.I.], v. 22, n. 2, p. 292-306, fev. 2022.

SILVA, Q. D. **Mapeamento Geomorfológico da Ilha do Maranhão**. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

SOUSA, F. R. C.; PAULA, D. P. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Tapuio (Ceará-Brasil). **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, v. 2, p. 555-564, 2016.

SOUZA, K. I. S.; CHAFFE, P. L. B.; PINTO, C. R. S. C.; et al. Proteção Ambiental de Nascentes e Afloramentos de Água Subterrânea no Brasil: Histórico e Lacunas Técnicas Atuais. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 76-86, 2019.

STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Transactions American Geophysical Union**, [S.I.], v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957.

SUN, X.; ZHOU, C. XIE, J.; et al. SRTM DEM Correction Based on PSO-DBN Model in Vegetated Mountain Areas. **Forests**, Basel, v. 14, n. 10, out. 2023.

TALLOOR, A. K.; PIR, R. A.; ADIMALLA, N.; et al. Spring Water Quality and Discharge Assesment in the Basantar Watershed of Jammu Himalaya Using Geographic Information System (GIS) and Water Quality Index (WQI). **Groundwater for Sustainable Development**, [S.I.], v. 10, abr. 2020.

TEIXEIRA, A. C.; RIZZATTI, M. Geotecnologias para Avaliação de Conflitos Ambientais da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 44, n. 8, abr. 2022.

TELLES, D. D. A.; COSTA, R. P. **Reúso da Água: Conceitos, Teorias e Práticas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975.

ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. **Solos Tropicais: Luvisolos**. EMBRAPA, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/luvisolos>>. Acesso em: 01 nov. 2023.