



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII - ARARUNA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

CAIO SÉRGIO SABINO ALVES

**DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE
CATOLÉ I EM MANAÍRA-PB**

**ARARUNA
2022**

CAIO SÉRGIO SABINO ALVES

**DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE
CATOLÉ I EM MANAÍRA-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro

**ARARUNA
2022**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A474d Alves, Caio Sergio Sabino.
Delimitação e caracterização da bacia hidrográfica do açude Catolé I em Manaíra--PB [manuscrito] / Caio Sergio Sabino Alves. - 2022.
56 p. : il. colorido.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde , 2023.
"Orientação : Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro , Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Recurso hídrico. 2. Semiárido. 3. Geoprocessamento. I.
Título

21. ed. CDD 333.91

CAIO SÉRGIO SABINO ALVES

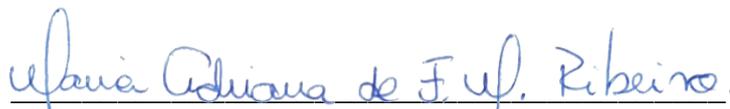
**DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE
CATOLÉ I EM MANAÍRA-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

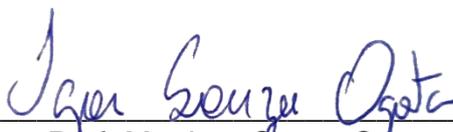
Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em: 06 / 12 / 2022.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Igor Souza Ogata
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Engenheiro Civil Anderson Matheus de Sousa Lima
Examinador externo

Ao meu pai, Manoel Alves do Nascimento
pela dedicação, companheirismo e
amizade, e a minha amada filha Maria
Clara dos Santos Alves DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida. Por renovar minhas forças a cada período e me conceder sabedoria, paciência, dedicação e perseverança durante toda a etapa da graduação. Pelos momentos de aprendizagem e superação que fizeram tornar realidade esse sonho. Sem Ti nada seria.

A meus pais, Manoel Alves e Lucia Sabino, avós, Miguel Marinho e Quitéria Sabino, e irmãos pelo incentivo e apoio nessa árdua jornada estudantil. Vocês são a raiz da minha existência e o alicerce da minha vida. Serei eternamente grato por todo amor e cuidado.

A todos os professores que contribuíram em minha formação, a vocês o meu respeito, admiração e consideração. Vocês fazem parte dessa conquista.

Aos Professores Maria Adriana, Erickson Melo, Igor Ogata e Anderson Matheus pela disponibilidade, paciência, sabias orientações, compromisso e responsabilidade para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos do curso de Engenharia Civil da UEPB Campos Araruna-PB, pelos momentos de amizade e apoio compartilhados durante o processo de formação.

A minha esposa Ranielle Cristina e minha filha Maria Clara, pela compreensão, apoio, incentivo e inspiração.

A meus amigos da república Liga da Justiça e de curso Hiago Estrela, Igor Silveira, Tercio Diniz e aos amigos e vizinhos Débora Oliveira, João Paulo, Maria de Lourdes, William Pontes, por proporcionar os melhores momentos de descontração, reflexão e amadurecimento. Pela amizade que prevalece apesar da distância.

A todos os amigos e colegas que fazem parte da Pilares Empresa de Consultoria Júnior de Engenharia Civil da UEPB, pelo companheirismo e aperfeiçoamento profissional.

A todos os colegas de trabalho da EEEF Targino Pereira em Araruna, pela compreensão, ajuda e incentivo, vocês fazem parte dessa árdua vitória.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta conquista.

*“Pois derramarei água na terra sedenta, e
torrentes na terra seca;
derramarei meu Espírito sobre sua prole e
minha bênção sobre seus descendentes.”*

Isaías 44:3

RESUMO

Com o uso de técnicas de geoprocessamento, este trabalho teve como objetivo delimitar a microbacia hidrográfica do Açude Catolé I no município de Manaíra – PB, e classificá-la quanto aos aspectos morfométricos. Para isso, foi utilizado um Modelo Digital de Superfície (MDS) derivado da imagem do satélite ALOS PALSAR-FBS com resolução espacial de 12,5 m, juntamente com a Carta Topográfica Folha Serra Talhada SB-24-Z-C-V, tratadas através do software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) gratuito de linguagem aberta QGIS, com auxílio do plugin TauDEM e com o MS Excel para efetuar os cálculos dos parâmetros morfométricos. Sendo assim, a microbacia hidrográfica do Açude Catolé I apresenta uma área total de aproximadamente 13.201,28 ha na forma alongada, dispõe de 227 drenos, que totalizam 172,11 km de rede de drenagem típica do semiárido, com padrão intermitente, dendrítico, endorreico e de 4ª ordem, tempo de concentração de 275,17 minutos, variando o padrão de rede de drenagem entre angular e retangular, devido à existência de fraturas geológicas. Além disso, a bacia foi considerada de rápido escoamento superficial e pouco susceptível a enchentes e inundações, sendo favorável para implantação de um reservatório artificial, como é o caso. Percebeu-se que o uso do geoprocessamento foi eficiente para promover a delimitação e a obtenção dos dados para realizar os cálculos dos parâmetros morfométricos, bem como a caracterização do relevo e da rede hidrográfica da microbacia do Açude Catolé I, pois permitiu a análise de uma extensa área por meio de processos automatizados, obtendo resultados importantes para melhor compreensão de diversas questões associadas à dinâmica hidrológica e ambiental, bem como auxílio no planejamento e tomada de decisão na gestão mais eficiente da bacia hidrográfica.

Palavras-Chave: Semiárido. Geoprocessamento. Caracterização hidrológica.

ABSTRACT

With the use of geoprocessing techniques, this work aimed to delimit the hydrographic microbasin of the Catolé I dam in the municipality of Manaíra - PB, and classify it according to the morphometric aspects. For this, a Digital Surface Model (MDS) derived from the image of the ALOS PALSAR-FBS satellite with a spatial resolution of 12.5 m was used, together with the Topographic Map Folha Serra Talhada SB-24-Z-C-V, treated through the software of Free Geographic Information System (GIS) in the open language QGIS, with the aid of the TauDEM plugin and with MS Excel to perform the calculations of the morphometric parameters. Thus, the hydrographic microbasin of the Catolé I dam has a total area of approximately 13,201.28 ha in the elongated form, has 227 drains, totaling 172.11 km of drainage network typical of the semi-arid region, with an intermittent, dendritic, endorheic pattern and 4th order, concentration time of 275.17 minutes, varying the drainage network pattern between angular and rectangular, due to the existence of geological fractures. In addition, the basin was considered to have rapid surface drainage and little susceptibility to floods, being favorable for the implantation of an artificial reservoir, as is the case. It was noticed that the use of geoprocessing was efficient in promoting the delimitation and obtaining data to perform the calculation of the morphometric parameters, as well as the characterization of the relief and the hydrographic network of the Catolé I Dam microbasin, as it allowed the analysis of a extensive area through automated processes, obtaining important results for a better understanding of several issues associated with hydrological and environmental dynamics, as well as aid in planning and decision-making in the most efficient management of the watershed.

Keywords: Semiarid. Geoprocessing. Hydrological characterization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas da metodologia	20
Figura 2 - Fluxograma de processamento dos dados.....	21
Figura 3 - Localização do Município de Manaíra-PB	30
Figura 4 - Manaíra-PB Uso e Ocupação do Solo	31
Figura 5 - Número dos Estabelecimentos por Uso do Solo em Manaíra-PB	33
Figura 6 - Localização do Açude Catolé I.....	34
Figura 7 - Localização da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu	35
Figura 8 - Divisão político-administrativa da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu	36
Figura 9 - Hidrografia, reservatórios estratégicos e unidades de planejamento hidrológico	38
Figura 10 - Localização da Microbacia Hidrográfica do Açude Catolé I.....	40
Figura 11 - Histograma de Valores Altimétricos	43
Figura 12 - Hipsometria e Hidrografia da Microbacia Hidrográfica do Açude Catolé I	42
Figura 13 - Classificação do Relevo da Microbacia Hidrográfica do Açude Catolé I.	45
Figura 14 - Declividade do Relevo da Microbacia Hidrográfica do Açude Catolé I ...	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de Relevo	25
Tabela 2 - Áreas com Restrição Ambiental	25
Tabela 3 - Área e Representatividade das Classes de Altitudes do Relevo	43
Tabela 4 - Classificação de Relevo	44
Tabela 5 – Área com restrição ambiental	46
Tabela 6 – Características morfométricas da microbacia hidrográfica do Açude Catolé I.....	48
Tabela 7 - Classificação segundo Christofolletti (1980), para rede de drenagem.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ALOS	Advanced Land Observing Satellite
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Proteção Permanente
CAD	Desenho Assistido por Computador
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DXF	Drawing Exchange Format
FBS	Fine Beam Single polarization: HH
Ha	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDS	Modelo Digital de Superfície
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PALSAR	Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar
SHP	shapefiles
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TauDEM	Terrain Analysis Using Digital Elevation Model
UAF	University of Alaska-Fairbanks
UPHs	Unidades de Planejamento Hidrológico
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.1.1	<i>Objetivos específicos</i>	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1	Histórico dos estudos hidrológicos	15
3.2	Ciclo hidrológico	16
3.3	Bacias hidrográficas	17
3.4	Política de aqudagem no Brasil	18
4	METODOLOGIA	20
4.1	Etapas e procedimentos metodológicos	20
4.2	Material	21
4.2.1	<i>Caracterização da área de estudo</i>	22
4.2.2	<i>Delimitação da microbacia hidrográfica do açude Catolé I, no município de Manaíra – PB</i>	23
4.2.3	<i>Representação hipsográfica</i>	24
4.2.4	<i>Inclinação do terreno</i>	24
4.2.5	<i>Parâmetros morfométricos da bacia</i>	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5.1	Área de estudo.....	30
5.2	Delimitação da microbacia hidrográfica do açude Catolé I	39
5.3	Relevo e rede hidrográfica.....	40
5.4	Classificação da declividade	44
5.5	Áreas de uso restrito	46
5.6	Parâmetros morfométricos	47
5	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais que possibilita a sobrevivência, o progresso e o desenvolvimento social, isso desde os primórdios da civilização até a atualidade, tendo em vista que estas, organizavam-se próximas às margens dos rios favoráveis ao desenvolvimento da agricultura.

Na região semiárida do Brasil o processo de ocupação humana e o modelo de exploração ocorreu de forma intensa, desordenada e sem o uso de práticas adequadas de manejo e conservação, causando impactos negativos como degradação da cobertura vegetal, dos recursos hídricos e do solo (BARBOSA 2006).

Essa região possui características peculiares, das quais podem ser destacadas a evaporação de 3.000 mm/ano, três vezes mais que a precipitação média anual (entre 900 a 400 mm), períodos de chuva de apenas três meses, e longos períodos de estiagem. De modo geral os solos são pouco profundos e pedregosos, por isso não armazenam água, pois a água que infiltra é barrada a poucos metros de profundidade pelo cristalino e é drenada para os rios e córregos que se enchem e secam em pouco tempo (LUCENA, 2010).

A carência de água durante o período de estiagem deu origem a prática de construção de açudes para suprir as necessidades hídricas, devido a isso, a região Nordeste do Brasil apresenta a maior densidade desse tipo de manancial artificial do país (GUIMARÃES, 2008).

É possível identificar a fragilidade do semiárido da região Nordeste no tocante aos recursos hídricos, o que justifica um estudo sobre bacia hidrográfica dessa região, visando analisar os fenômenos que regem esse sistema.

Para isso, um dos procedimentos mais corriqueiros em análises hidrológicas e ambientais de uma bacia hidrográfica, é a caracterização morfométrica e hidrológica que tem por finalidade o entendimento da dinâmica ambiental local e regional.

As características físicas, principalmente as vinculadas ao relevo, à forma e à rede de drenagem, estão intimamente atreladas ao tempo e velocidade de escoamento da água, o que influencia em maior ou menor infiltração da água no solo (LEAL e TONELLO, 2017). Dentre essas, a rede de drenagem é um dos elementos do processo morfogenético na esculturação da paisagem terrestre de maior relevância para a caracterização e manejo das bacias hidrográficas, pois determina as

características de escoamento superficial, potencial de produção e transporte de sedimentos (SOUSA, OLIVEIRA, 2017).

Para isso, a utilização de técnica de geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem se mostrado eficiente para auxiliar nas pesquisas e análises ambientais, gestão do território e caracterização morfométricas e uso do solo em bacias hidrográficas, pois possui rapidez e alta precisão quando considerada a espacialização dos dados e mensurações por meio de projeção cartográfica (CASTRO et al., 2015; FANTINEL; BENEDETTI, 2016; BRUNO, 2017).

Este trabalho objetivou estudar as características morfométricas da microbacia hidrográfica do Açude Catolé I, com o auxílio das geotecnologias, para a produção de dados e informações visando um melhor entendimento sobre as características geométricas, de relevo e da rede de drenagem que sirvam para auxiliar no processo de tomada de decisão em um futuro planejamento de gestão integrada dos recursos hídricos, que contemplem aspectos ambientais, sociais e econômicos.

Considerando que o Açude Catolé I possui grande importância socioeconômica para a região, pois se trata de uma área estratégica, tendo em vista que é o principal recurso hídrico do município de Manaíra-PB, abastecendo a zona urbana, as comunidades rurais, localidades e municípios circunvizinhos em épocas de escassez. No entanto carece de estudos sobre aspectos fisiográficos da sua microbacia hidrográfica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Delimitar a microbacia hidrográfica do Açude Catolé I no município de Manaíra – PB e caracterizá-la quanto aos aspectos morfométricos.

2.1.1 *Objetivos Específicos*

- Delimitar a microbacia hidrográfica do Açude Catolé I no município de Manaíra – PB, utilizando software de SIG;
- Caracterizar a microbacia hidrográfica do Açude Catolé I quanto à hipsografia, rede de drenagem, relevo e áreas de uso restrito;
- Discutir os parâmetros morfométricos e fisiográficos da microbacia delimitada, indicando formas de manejo desta.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Histórico dos estudos hidrológicos

A disponibilidade hídrica, desde os primórdios, tem sido fator determinante para a ocupação territorial. Fatos históricos mostram quanto o conhecimento sobre o ciclo hidrológico e suas variáveis hídricas, principalmente a precipitação e o nível de água têm contribuído para o desenvolvimento de civilizações, como é o caso do Egito, Mesopotâmia, Sri Lanka, Índia, China e Inca, as quais floresceram economicamente devido ao conhecimento sobre o regime pluvial e fluvial.

A esse respeito, Stevaux e Latrubesse (2017) destacam que o gerenciamento das águas do Rio Nilo, realizado pelos Egípcios há mais de 5.000 anos, visando à irrigação e o controle de enchentes foi o grande diferencial para o desenvolvimento daquela civilização, que desempenhou papel primordial no estudo da hidrologia. A pedra de Palermo, datada de 2.800 a.C., que contém 52 anos de medidas contínuas do nível desse rio, é considerada a mais antiga publicação hidrológica.

Os autores acrescentam que a compreensão sobre os fenômenos e elementos naturais que interferiam no ciclo hidrológico foi objeto de estudo de importantes filósofos, especialmente os gregos, nos séculos IV e III a.C, cujos estudos foram baseados no conhecimento empírico apresentaram as primeiras hipóteses de ciclo (retorno) da água e que mais tarde veio a ser cientificamente formulada para a explicação conceitual atualmente conhecida sobre o Ciclo hidrológico.

Esses filósofos faziam interpretações fundamentadas mais em pressupostos filosóficos e míticos do que em observações sistemáticas de campo, visto que tais observações eram dificultadas pelas condições naturais, como é o caso do relevo local que resultava em escoamento bastante complexo, podendo levar a interpretações equivocadas, como exemplo, a de Platão, ao admitir que a Terra talvez tivesse seu interior cheio de cavernas, tubos, canais e veios, que forçavam a passagem da água e a conduzirem até o alto das montanhas, onde, retornando à superfície, alimentavam os rios (STEVAUX, LATRUBESSE, 2017).

Esses autores destacam ainda que o tamanho das bacias hidrográficas também dificultou o desenvolvimento do conhecimento do ciclo hidrológico. Bacias menores tinham a interpretação facilitada, evidenciando que suas nascentes eram ligadas diretamente ao relevo montanhoso, enquanto nas bacias maiores, imaginava-se que suas nascentes fossem ligadas entre si e suas águas provenientes de grandes

lagos. Leonardo da Vinci talvez tenha sido o estudioso que mais se aprofundou no conhecimento da Hidrologia nesse período utilizando a técnica de representação do relevo em mapas, pode fazer observações sobre a formação dos canais e as modificações do fluxo ao longo deste (STEVAUX, LATRUBESSE, 2017).

Um longo caminho foi percorrido no processo histórico da evolução do conhecimento hidrológico empirista até as ideias do ciclo hidrológico com suas diversas fases. Ainda na atualidade, diante da realidade de escassez de água doce planetária, se mantém o desafio para a compreensão sobre a quantidade de água doce disponível (estoque), sua capacidade de transferência de um local para outro (fluxo) e o tempo que permanece nos locais de estoque (tempo de residência).

3.2 Ciclo hidrológico

Ciclo hidrológico é considerado fechado a nível global e resulta do movimento contínuo da água na atmosfera, isso devido a energia do sol responsável por aquecer todo o planeta e possibilitar a evaporação da água que é transportada pelo ar e, posteriormente, condensada, formando nuvens que pode voltar a superfície da Terra na forma de precipitação (COLLISCHONN, 2013).

Ao atingir a superfície a água em estado líquido segue as feições do relevo da superfície, podendo ser drenada, reservada em lagos e represas, de onde pode evaporar para a atmosfera condensar e tornar-se a precipitar antes de chegar ao oceano, isso em escala regional são chamados de subciclos. Outra possibilidade é o da água infiltrar-se e percolar no solo e alimentar os aquíferos e criar o fluxo de água subterrânea (COLLISCHONN, 2013).

Os componentes do ciclo hidrológico são:

Precipitação: água adicionada à superfície da Terra a partir da atmosfera. Pode se líquida (chuva) ou sólida (neve ou gelo); Evaporação: processo de transformação da água líquida para a fase gasosa (vapor d'água); Transpiração: processo de perda de vapor d'água pelas plantas, o qual entra na atmosfera; infiltração: processo pelo qual a água é absorvida pelo solo; Percolação: processo pelo qual a água entra no solo e nas formações rochosas atingindo o lençol freático; Drenagem: movimento de deslocamento da água na superfície durante a precipitação (TUNDISI, 2011,p. 29).

Dentre as fases do ciclo hidrológico, o elemento delimitador é a bacia hidrográfica, que é uma área de captação natural da água precipitada que gera escoamentos onde são drenados por cursos d'água convergentes para uma única saída, constituindo um sistema de drenagem hierarquicamente organizado, formado

por um rio principal e seus afluentes, incluindo as cabeceiras, nascentes e divisor de água ou topográfico que, nada mais é, do que o contorno da bacia que separa as precipitações das bacias vizinhas (TUCCI, 2007).

3.3 Bacias hidrográficas

Uma bacia hidrográfica pode ser dividida em áreas menores considerando outro ponto de exutório dando origem a sub-bacias ou microbacias dependendo da extensão. Contudo, não existe um consenso entre os autores sobre os limites das áreas em função da hierarquia das bacias.

O termo microbacia, embora difundido em nível nacional, constitui uma denominação empírica. Para Faustino (1996) o termo microbacia indica uma área inferior a 100 km² (10.000 ha), enquanto Cecílio e Reis (2006) definem a microbacia como uma sub-bacia hidrográfica de área reduzida, não havendo consenso de qual seria a área máxima (entre 100 m² e 200 km²).

Por sua vez, para efeito político-administrativo, de acordo com Santana (2003) as bacias podem ser:

a) Bacia hidrográfica federal: quando a sua rede de drenagem (desde as nascentes que a compõem, até sua foz) está inserida dentro do território de mais de um estado.

b) bacia hidrográfica estadual: quando a sua rede de drenagem (desde as nascentes que a compõem, até sua foz) está inserida dentro do território do estado.

c) bacia hidrográfica municipal: quando a sua rede de drenagem (desde as nascentes que a compõem, até sua foz) está inserida dentro do território do município.

Realizar um adequado gerenciamento e aproveitamento dos recursos hídricos é essencial, visto que mesmo sendo um recurso renovável, muitas regiões sofrem com a escassez, resultado este tanto de eventos naturais como da ação humana que causa mudança climática e influencia no ciclo hidrológico, ocasionando desequilíbrio hídrico (TUNDISI, 2011).

Ademais, existem ainda características morfoclimáticas de cada localidade que influenciam na precipitação resultando em irregularidade na distribuição hídrica, concentrando maior volume em áreas menos populosas. Tomando a realidade brasileira como exemplo, pode-se verificar que o território “possui a maior disponibilidade hídrica na região norte, na qual habita cerca de 7% da população,

enquanto na região nordeste, que habita 29% da população, concentra um menor volume” (BASSOI E GAZELLI, 2004).

3.4 Política de açudagem no Brasil

A segurança hídrica sem dúvida é tema de grande preocupação mundial, visto que atualmente existe preocupação com a escassez de água potável, inclusive em regiões as quais anteriormente não tinham esse desajuste climático. Além do agravamento em regiões, cujas áreas esse fenômeno já é uma característica, como é o caso da região Nordeste que enfrenta longos períodos de seca, agravando as condições socioambientais da população. Sobretudo, no semiárido nordestino, ou Sertão, “uma área muito extensa, que normalmente sofre com os déficits hídricos e que é a região mais afetada pelas frequentes secas no Nordeste” (NYS et al, 2016).

Dessa forma, é necessária a adoção de política estratégica de convivência com o fenômeno natural cíclico e inevitável, que exige da população uma adequada organização para minimizar os danos ocasionados pela seca. Com isso, há a possibilidade de um aproveitamento dos rios intermitentes de modo a assegurar o abastecimento até o próximo período chuvoso. A unidade ideal para o planejamento é a sub-bacia restrita ao município, visto que as pessoas ao mesmo tempo são causadoras e vítimas, pois é em nível local que se manifestam os problemas e reivindicações, bem como está mais próximo de toda estrutura administrativa (SOUZA e FERNANDES, 2000).

O programa de açudagem no Nordeste foi estrategicamente adotada no Governo Imperial, no período de 1877-1879, quando grande seca praticamente dizimou a economia e parte da população do Nordeste.

O Governo Imperial nomeou uma comissão de engenheiros para dar uma resposta permanente à seca. Essa comissão recomendou à construção de açudes, para armazenar água e garantir o líquido durante os anos de seca. [...]. O primeiro grande açude começou a ser construído em 1886, quando o Brasil ainda era um Império Constitucional, e foi concluído em 1906, já sob o Regime Republicano. A estratégia de construir açudes continuou nos anos seguintes, até os dias atuais, sendo reforçada sempre que havia uma nova seca. [...] A política de construção de açudagem foi inspecionada pelo DNOCS, instituição que além de executar a política de açudagem também avançou nos estudos para o conhecimento da realidade do Semiárido e da Caatinga (NYS; ENGLE; MAGALHÃES, 2016).

Tal iniciativa repercutiu positivamente para além da segurança hídrica de muitas comunidades, ocasionou também ganhos econômicos, pois, com o armazenamento hídrico muitos projetos de desenvolvimento rural, com incentivo para

a geração de renda e o desenvolvimento social e econômico, por meio de atividades, como é o caso da piscicultura, irrigação, esporte e lazer aquático, se tornaram possíveis em regiões que dependem de uma sazonalidade de chuvas incertas.

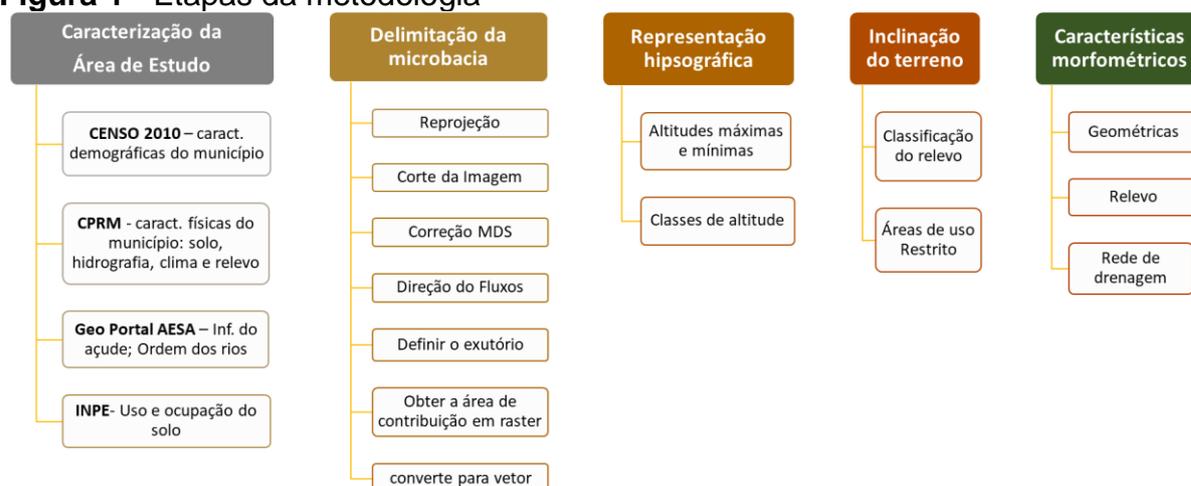
A partir do entendimento dessa necessidade, muitos municípios foram contemplados com obras de açudagem. Como é o caso do município de Manaíra na Paraíba, que foi contemplado com o Açude Catolé I, reservatório destinado aos usos múltiplos e que na presente pesquisa é objeto de estudo, conforme metodologia apresentada a seguir.

4 METODOLOGIA

4.1 Etapas e procedimentos metodológicos

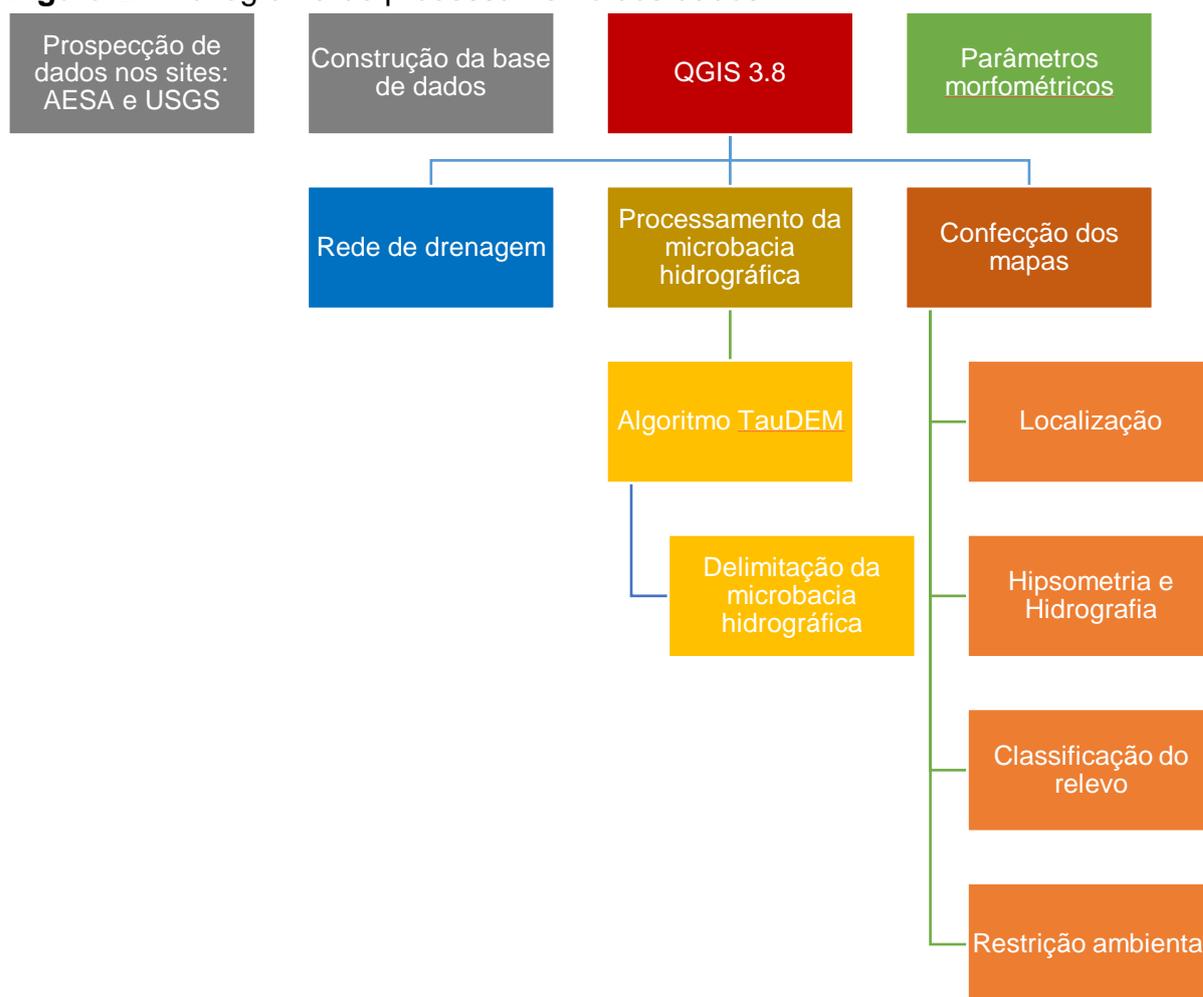
A aplicação da metodologia foi desenvolvida em cinco etapas (**Figura 1**), denominadas de caracterização da área de estudo por meio de pesquisas e revisões bibliográficas, delimitação da microbacia hidrográfica, bem como, a representação hipsográfica, inclinação do terreno para a classificação do relevo e as áreas de uso restrito, através de softwares de SIG, a partir imagem de satélites e dados georreferenciados da área de estudo, posteriormente, com os dados produzidos para efetuar os cálculos, fez-se a caracterização morfométrica da microbacia.

Figura 1 - Etapas da metodologia



Fonte: Autor (2022).

O processo de construção da base de dados e processamento realizado na pesquisa, bem como prospecção dos materiais e processamento realizado para cada produto desejado está descrito na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma de processamento dos dados.

Fonte: Autor (2022).

4.2 Material

Foi utilizada para a delimitação da bacia hidrográfica, da classificação do relevo e das áreas de uso restrito uma imagem com 12,5 m de resolução espacial do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) sensor PALSAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*) com polarização simples FBS (*Fine Beam Single polarization: HH*) de 19 de fevereiro de 2011 obtida gratuitamente no geoportall de descarregamento de imagens de satélite da *Alaska Satellite Facility*¹ vinculado a *University of Alaska-Fairbanks / National Aeronautics and Space Administration* (UAF/NASA).

A base cartográfica digital composta de arquivos vetoriais dos Estados do Nordeste, Municípios, Drenagem e Açudagem Principal da Paraíba no formato *shapefile* (SHP) e os rios intermitentes foram obtidos da Carta Topográfica Folha Serra

¹ Acessível em <https://vertex.daac.asf.alaska.edu>

Talhada SB-24-Z-C-V, escala 1:100.000, da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) (1970) em formato típico de Desenho Assistido por Computador (CAD e DXF). Todos esses arquivos foram obtidos por meio do Geo Portal AESA².

Os *softwares* utilizados para o processamento e manipulação das imagens e da base cartográfica digital para a produção dos mapas e dos dados georreferenciados foram o Software QGIS *Desktop* 3.26 e o AutoCAD Civil 3D 2022 versão estudantil.

4.2.1 Caracterização da área de estudo

As informações da localização do município foram obtidas por meio do Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013: Perfil do município de Manaíra, PB (IBGE, 2013). Já as características demográficas do município, por meio dos dados do Censo Demográfico 2010: Resultados da Amostra Domicílios (IBGE, 2012a).

As características físicas do município, como solo, hidrografia, clima e relevo, foram obtidas pelo Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Estado da Paraíba / Diagnóstico do município de Manaíra (MASCARENHAS, 2005). O INPE contribuiu com o estudo Manaíra-PB uso e ocupação do solo (INPE, 2015).

Por meio do Geo Portal AESA foram adquiridos os arquivos SHP:

- a) Municípios, a partir do qual obteve-se a área total do município de Manaíra, bem como foi possível selecionar, isolar e dissolver (por meio de atributos em comum) os polígonos dos municípios e gerar dois outros para destacar a Macrorregião sertão paraibano e a Microrregião Serra do Teixeira;
- b) Sub-Bacia, o qual isolou-se a Sub-Bacia Piancó;
- c) Açudes do Estado, onde isolou-se o polígono referente ao Açude Catolé I;
- d) Drenagem Principal, onde isolaram-se os rios principais que fazem parte da microbacia hidrográfica do Açude Catolé I.

As informações referentes ao Açude Catolé I e a Ordem de Classificação dos principais rios que fazem parte da microbacia hidrográfica foram adquiridas, respectivamente, nas tabelas de atributos dos dois últimos arquivos citados.

² Acessível em <http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/index.php>

4.2.2 **Delimitação da microbacia hidrográfica do Açude Catolé I, no município de Manaíra – PB**

Para a delimitação do divisor topográfico foi utilizado um Modelo Digital de Superfície (MDS) derivado da imagem do satélite ALOS sensor PALSAR com polarização simples FBS com resolução espacial 12,5 metros.

A cena utilizada foi a identificada como ALPSRP270147030, que foi processada utilizando o QGIS Desktop 3.26, no qual, para determinar área e perímetro, alterou-se o sistema de coordenadas geográficas para o sistema de coordenadas planas. O próximo passo foi o recorte da área que abrange a bacia analisada, utilizando um retângulo envolvente, com isso reduziu-se expressivamente o tamanho da imagem, tornando os processamentos seguintes mais rápidos.

Após o processamento inicial, o recorte do MDS foi importado para a extensão TauDEM³ (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Model*), que permite de maneira automática, rápida e objetiva a delimitação de bacias hidrográficas.

Os passos para a obtenção do divisor topográfico da bacia consistem em:

- a) correção do MDS para a retirada de pixels que poderiam comprometer a continuidade do fluxo da água – ferramenta *Fill Pit*;
- b) determinação, pixel a pixel, da direção preferencial do fluxo na superfície – ferramenta *D8 Flow Direction*;
- c) obtenção do fluxo acumulado na superfície, que consiste na representação da linha composta pelos pixels selecionados na etapa anterior e nesta etapa já é possível definir o exutório da bacia, obtendo em seguida a área de contribuição a montante desse ponto – ferramenta *D8 Contributing Area*;
- d) obtenção da bacia em formato *raster*, bem como a extração da rede de drenagem numérica para a área de estudo – ferramenta *Stream Reach and Watershed*. Como a bacia é obtida em um arquivo *raster* faz-se necessário, para realização dos cálculos de área e perímetro, a sua conversão para o formato vetor (polígono).

O processo de delimitação da microbacia hidrográfica se deu de forma objetiva, ficando apenas a cargo de escolha o ponto definido como exutório da bacia, que foi alocado observando o sangradouro e a barragem do açude, nas imagens de alta

³ Acessível em <http://hydrology.esu.edu/taudem>

resolução do Google Satelite por meio do plugin QuickMapServices, onde ocorria a junção desses dois fluxos da área.

A rede de drenagem obtida no processo de delimitação automática apresenta um alto nível de ramificações devido à resolução espacial de 12,5 m da imagem utilizada. Por esse motivo, optou-se por usar os rios intermitentes obtidos pela Carta Topográfica Folha Serra Talhada SB-24-Z-C-V escala 1:100.000 da SUDENE (1970), uma vez que existe uma dificuldade óbvia em se distinguir nos dados de rede de drenagem os rios efêmeros dos intermitentes.

4.2.3 Representação Hipsografica

O mapa hipsométrico é a representação da diferença altimétrica de um terreno que torna possível visualizar e conhecer o relevo e os fenômenos que ocorrem em uma região por meio de cores (LIMA et al., 2014; PINTO, 2015). Usualmente emprega-se um sistema de graduação de cores definido por intervalos altimétricos, visando facilitar o entendimento da forma do relevo.

Com esse intuito utilizou-se tons de azul, para áreas mais baixas, seguindo para tons de verde, amarelo, laranja e, por fim, a cor vermelho para áreas de maior altitude. Com relação aos intervalos altimétricos das curvas de nível adotou-se o dobro da resolução espacial do MDE, ficando estabelecida a amplitude do intervalo altimétrico de 25 m.

4.2.4 Inclinação do terreno

Áreas de uso restrito são aquelas com inclinação entre 25° e 45°, que possuem restrição ambiental, onde serão permitidos o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris, também é permitida a manutenção da infraestrutura física associada ao desenvolvimento das atividades, desde que faça uso de boas práticas agronômicas, sendo proibida a conversão de novas áreas, com exceção das áreas de utilidade pública e interesse social (BRASIL, 2012).

A classificação do relevo tem peso significativo na definição das classes de capacidade de uso das terras, pois apresenta estreita relação com aspectos ligados ao uso e manejo agrícolas.

Para criar o mapa de inclinação, com a classificação do relevo, e o mapa de áreas com restrição ambiental foi utilizado o MDS tratado segundo a seção 4.2.2.

A partir disso, foi possível criar dois mapas de inclinação, o primeiro referente à classificação do relevo e o segundo referente às áreas com restrição ambiental. No QGIS por meio do menu *Raster*, na opção *Análise*, utilizou-se a ferramenta MDE, escolhendo o tipo de análise como a declividade expressa em porcentagem, depois atribuiu-se, nas propriedades da camada, uma simbologia para gerar um Mapa de Cor, facilitando a identificação das classes de relevo. Para dividir as classes de relevo utilizou-se 7 classes conforme Tabela 1 para o Mapa Classificação do Relevo, e 2 classes, conforme a Tabela 2 para o Mapa de Áreas com Restrição Ambiental, ambas as classificações estão contidas no Manual de Obtenção de Terras do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) (LEPSCH, 1983). Esse procedimento gerou arquivos para visualização, portanto foram necessários outros procedimentos para calcular a área de cada uma das classes a partir do QGIS.

Tabela 1 - Classificação de relevo

CLASSE DE RELEVO	CLASSES DE DECLIVIDADE	
	%	Graus
Plano	0 - 2	0° a 1°8'45"
Suave Ondulado	2 - 5	1°8'45" a 2°51'45"
Moderadamente Ondulado	5 - 10	2°51'45" a 5°42'38"
Ondulado	10 - 15	5°42'38" a 8°31'51"
Forte Ondulado	15 - 45	8°31'51" a 24°13'40"
Montanhoso	45 - 70	24°13'40" a 34°59'31"
Escarpado	> 70	> 34°59'31"

Fonte: Adaptado de LEPSCH (1983).

Tabela 2 - Áreas com restrição ambiental

CLASSE DE RELEVO	CLASSES DE DECLIVIDADE	
	%	Graus
Área de uso restrito	47 - 100	25° - 45°
Preservação Permanente	> 100	> 45°

Fonte: Adaptado de Brasil (2012).

Por meio dos Mapas de Cores obteve-se uma visualização das classes, juntamente com os valores de declividade, mas não se obteve os valores agrupados por classe dentro das imagens nem foi possível realizar o cálculo da área de cada classe.

Para isso, foi necessário reclassificar as imagens, ou seja, por meio da ferramenta Calculadora *Raster* foram atribuídos novos valores para cada um dos pixels do mesmo intervalo, com o intuito de estabelecer a classe de cada um dos pixels que compõem a imagem.

Após isso, foi necessário converter o arquivo *raster* em um vetorial e depois uniram-se todos os polígonos de mesmo valor para calcular a área de cada classe como um todo. Utilizou-se o polígono da Microbacia Hidrográfica do Açude Catolé I para fazer o recorte da área de interesse.

Por fim, para obter a área e a porcentagem de cada classe em relação à área total da microbacia, foram criados dois novos campos na tabela de atributos por meio da ferramenta Calculadora de Campo.

4.2.5 **Parâmetros morfométricos da bacia**

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos clássicos procedimentos para análises hidrológicas ou ambientais e objetiva o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (BEZERRA et al., 2015).

As características morfométricas estão associadas às características geométricas, de relevo e da rede de drenagem. Por meio da utilização do *software* Qgis foi possível calcular a área e o perímetro da bacia, já os parâmetros físicos básicos, que são importantes para a caracterização da morfometria da bacia, foram calculados em planilha eletrônica.

Para este estudo foi realizado a avaliação dos seguintes parâmetros:

O **coeficiente de compacidade** que relaciona o perímetro da bacia com o perímetro de uma circunferência de área igual à da bacia, em que quanto mais próximo de 1, mais circular será a bacia e maior será sua capacidade de proporcionar grandes cheias. De acordo com Mello, Silva (2013), o coeficiente de compacidade é calculado pela Equação 1 e corresponde à relação entre o perímetro da bacia e o perímetro da circunferência de um círculo de área igual à da bacia.

$$Kc = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Eq. (1)}$$

onde: Kc = coeficiente de compacidade [*adimensional*];

P = perímetro da bacia [*m*];

A = área de drenagem [*km²*].

O **fator de forma** expressa a relação entre a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média da bacia e o comprimento axial da bacia. O comprimento axial da bacia (L) é determinado, medindo axialmente do exutório até o ponto mais alto do talvegue.

Foi obtido conforme Equação 2, utilizando a metodologia de Almeida (2017). Segundo Villela e Mattos (1975), uma bacia com o fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com outro fator de forma.

$$F = \frac{A}{L^2} \quad \text{Eq. (2)}$$

onde: F = Fator de forma [*adimensional*];

A = Área de drenagem [km^2];

L = Comprimento do rio principal [km].

O **índice de circularidade** foi calculado pela Equação 3. Este parâmetro, tal como o coeficiente de compacidade, tende a 1 à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que torna alongada, de acordo com Almeida (2017).

$$IC = 12,57 \cdot \frac{A}{P^2} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde: IC = índice de circularidade [*adimensional*];

P = perímetro da bacia [m];

A = área de drenagem [km^2].

A **declividade média da bacia** é um parâmetro importante para a Hidrologia, pois está diretamente associado ao tempo de duração de escoamento superficial direto e de concentração da precipitação nos drenos. Afeta a forma e os valores máximos das vazões de escoamento ao longo da bacia (MELLO, SILVA, 2013), de acordo com Equação 4.

$$I(\%) = \frac{D}{A} \cdot (\sum CNV_i) \cdot 100 \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde: $I(\%)$ = declividade média da bacia [%];

D = equidistância vertical entre curvas de nível [km];

A = área de drenagem [km^2];

$\sum CNV_i$ = Comprimento total das curvas de nível [km].

A **declividade do curso d'água principal**, influencia diretamente na velocidade do escoamento da água no dreno principal da bacia. Ela pode ser definida como a diferença de cotas nas extremidades do dreno principal (ΔH), seja a cota máxima (cabeceira) e a cota mínima (foz) do curso d'água principal, em relação a seu comprimento (L), conforme descrito por Bezerra et al. (2015), conforme Equação 5.

$$I_{eq} = \frac{\Delta H}{L} \quad \text{Eq. (5)}$$

onde: I_{eq} = declividade equivalente [m/km];

ΔH = diferença de cotas nas extremidades do dreno principal [m];

L = Comprimento do rio principal [km].

A **ordem dos cursos d'água** é o parâmetro que qualifica o grau de ramificação ou bifurcação dos rios das bacias hidrográficas e consiste, de acordo com a proposta de Strahler (1957), em: drenos de 1ª ordem correspondem aos que não possuem tributários; drenos de 2ª ordem são aqueles que formão pela junção de 2 ou mais drenos de 1ª ordem; drenos de 3ª ordem são os que se formam pela união de 2 ou mais drenos de 2ª ordem seguindo esse padrão crescente até chegar ao exutório (MELLO e SILVA, 2013).

O **índice de sinuosidade** (Sin), indica a relação entre o comprimento do canal principal e a distância, em linha reta, do extremo do canal principal, até o exutório da bacia, utilizando a Equação 6 (VILLELA e MATTOS, 1975; MELLO e SILVA, 2013);

$$Sin = \frac{L}{L_t} \quad \text{Eq. (6)}$$

onde: Sin = índice de Sinuosidade [*adimensional*];

L = comprimento do rio principal [Km];

L_t = distância vetorial entre o extremo do canal principal e o exutório [Km].

A **rede de drenagem** de uma bacia hidrográfica corresponde a soma de todos os comprimentos, em km, dos cursos d'água, conforme Equação 7.

$$R_d = \sum L \quad \text{Eq. (7)}$$

onde: R_d = rede de drenagem [km];

$\sum L$ = somatório do comprimento total dos cursos d'água [km].

A **densidade de drenagem da bacia** foi estimada conforme Equação 8 e relaciona o comprimento total de todos os canais presentes na bacia (perenes, intermitentes e efêmeros) com sua área de drenagem.

$$Dd = \frac{L_t}{A} = \frac{R_d}{A} \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde: Dd = densidade de drenagem, [$\frac{km}{km^2}$];

L_t = comprimento total de todos os canais, [km];

R_d = rede de drenagem [km];

A = área de drenagem [km²].

A **densidade da rede de drenagem** é a relação entre o número de total de drenos e a área da bacia, conforme Equação 9.

$$D_r = \frac{N}{A} \quad \text{Eq. (9)}$$

onde: D_r = densidade de rede de drenagem $\left[\frac{\text{dreno}}{\text{km}^2}\right]$;

N = Número de drenos [dreno];

A = área de drenagem [km²].

A **extensão média do escoamento superficial** relaciona a densidade de drenagem da bacia hidrográfica com o comprimento médio lateral da rede de drenagem, expressa na Equação 10.

$$C_m = \frac{1}{4 \cdot D_d} \quad \text{Eq. (10)}$$

Onde: C_m = extensão média do escoamento superficial, [km];

D_d = densidade de drenagem, $\left[\frac{\text{km}}{\text{km}^2}\right]$.

O **tempo de concentração** (T_c) é o tempo de percurso da água precipitada desde o ponto cinematicamente mais afastado da bacia hidrográfica até a secção de referência. Calculado pela Equação 11 conhecida como fórmula de Kirpich Modificada, usada para bacias com área de drenagem superior a 100 ha conforme Rodrigues et al (2016).

$$T_c = 85,2 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H}\right)^{0,385} \quad \text{Eq. (11)}$$

onde: T_c = tempo de concentração [min];

L = Comprimento do rio principal [km];

ΔH = diferença de cota nas extremidades do dreno principal [m].

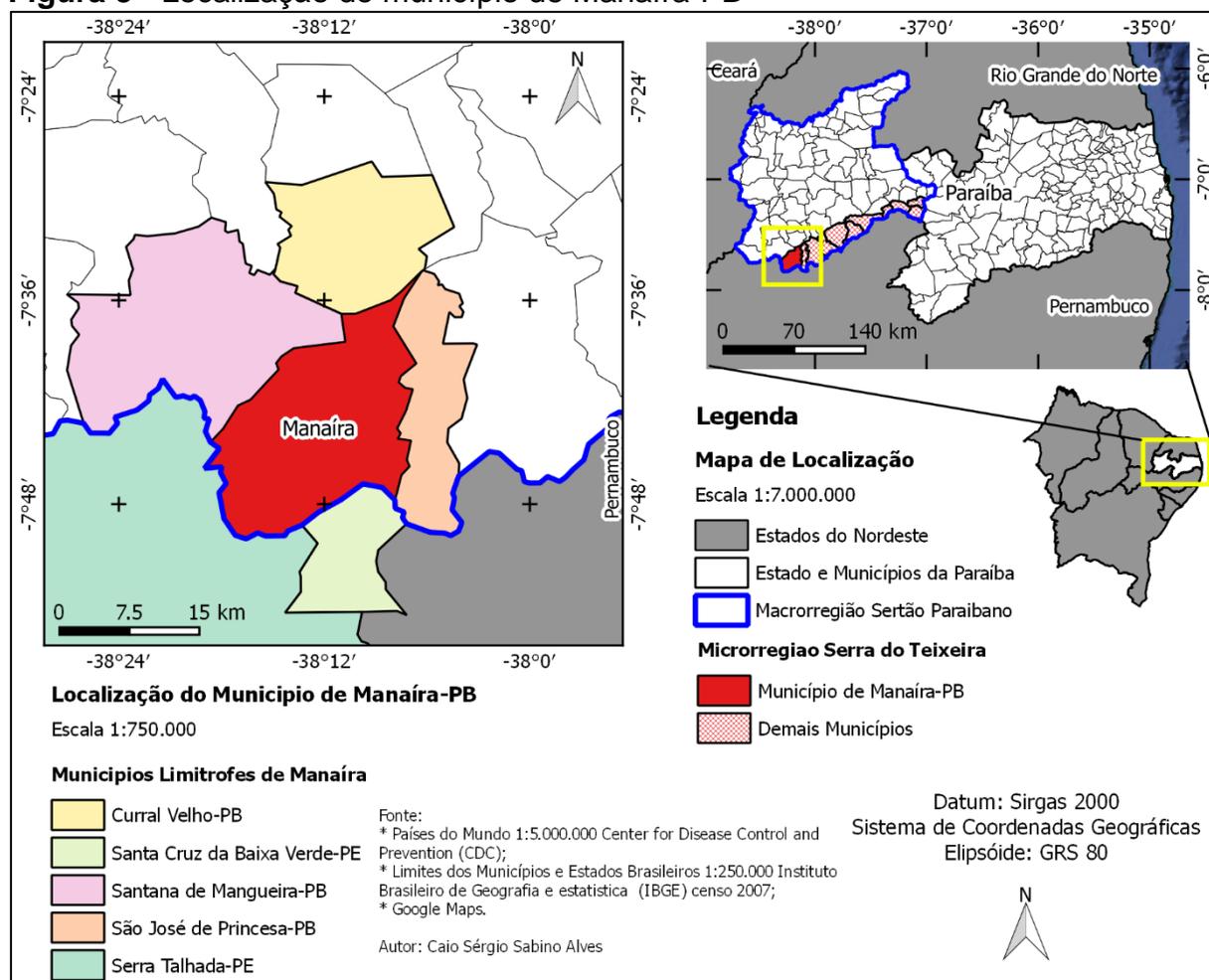
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido no município de Manaíra-PB, que está localizado (Figura 3) no Sertão Paraibano especificamente na microrregião Serra do Teixeira, limitando-se a Norte com Curral Velho, a Oeste com Santana de Mangueira, a Leste com São José de Princesa, e ao Sul com Santa Cruz da Baixa Verde e Serra Talhada em Pernambuco, ocupando uma área de 352,98 km² (IBGE, 2013).

A sede municipal apresenta uma altitude de 686 m com coordenadas geográficas de 38° 09' 14" longitude oeste e 07° 42' 21" de latitude sul (MASCARENHAS, 2005).

Figura 3 - Localização do município de Manaíra-PB



Fonte: Autor (2022).

No Censo demográfico 2010 foi registrado 10.759 habitantes no município de Manaíra, isso o coloca na posição 78 dentre 223 municípios paraibanos no quesito população. Comparando-se a nível nacional fica na posição 2.830 dentre 5.570

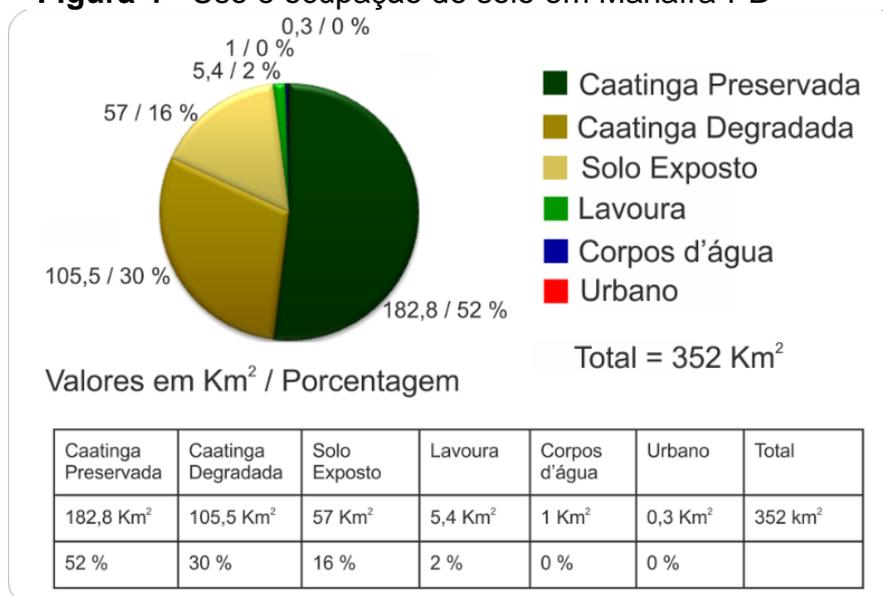
municípios brasileiros. A densidade demográfica do município de Manaíra é de 30,52 habitantes por quilômetro quadrado, ocupando a posição 143 de 223 municípios paraibanos. Comparando-se a nível nacional fica na posição 2.291 de 5.570 municípios Brasileiros (IBGE, 2012a).

Em 2010 o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de Manaíra foi de 0,543 e está situado na faixa de Desenvolvimento Humano Baixo (IDHM entre 0,5 e 0,599). A dimensão que mais cresceu em termos absolutos entre 2000 e 2010 foi Educação (com crescimento de 0,210), seguida por Longevidade e por Renda (IBGE, 2013).

De acordo com os dados do Censo Demográfico 2010 o município possui um total de 1.747 domicílios urbanos dos quais: 96,91% são abastecidos por rede geral de distribuição d'água; 13,2% possuem esgotamento sanitário adequado (rede geral ou fossa séptica); 86,41% dispõem de coleta de lixo; 90,4% apresentam arborização e 0,3% possuem urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio) (IBGE, 2012a).

Com um bioma do tipo Caatinga, a vegetação específica é a Savana-Estépica, que é típica dos climas semiáridos que tem como características predominantes plantas espinhosas decíduais e possui uma rica biodiversidade (IBGE, 2012b). O município de Manaíra apresenta 52% do solo como caatinga preservada os outros 48% estão divididos entre os usos e ocupações de caatinga degradada, solo exposto, lavoura, corpos d'água e urbano conforme a Figura 4 (INPE, 2015).

Figura 4 - Uso e ocupação do solo em Manaíra-PB



Fonte: INPE (2015).

Toda a região está inserida no semiárido, onde possui um clima tipicamente tropical semiárido (classificação climática de Köppen-Geiger igual a Aw) e com características peculiares, as quais se pode destacar a forte insolação com temperaturas relativamente altas variando anualmente em média entre 23° a 30° celsius e regime de chuvas considerado baixo e irregular com concentração das precipitações num período de três meses (fevereiro, março e abril). Apresenta pluviometria variada com mínima de 250,2 e máxima de 1.715,2 mm/ano, com média de 699,4 mm/ano, que é agravado com a supressão da vegetação. Mas comparado-se com as outras áreas do oeste paraibano o índice pluviométrico da microrregião é maior, isso pela variação do relevo (MASCARENHAS, 2005).

Os solos, de acordo com Mascarenhas (2005), são resultantes da desagregação e decomposição das rochas cristalinas do embasamento, sendo basicamente magmáticas e metamórficas, onde a maioria é do tipo Podizólico Vermelho-Amarelo de composição areno-argilosa. Localmente os solos são classificados em latossolos e solos de aluvião.

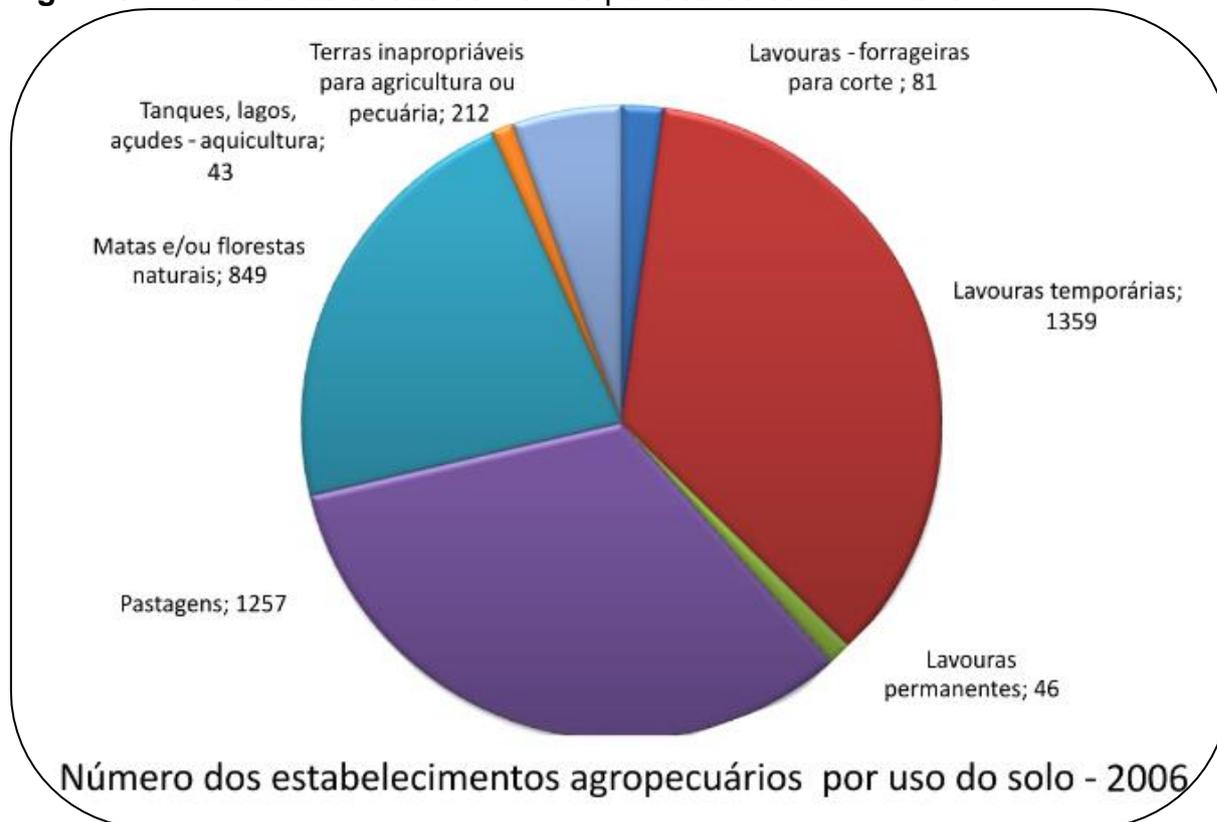
A rede de drenagem é típica do semiárido, onde só apresenta fluxos d'água em períodos de chuva, ou seja, é intermitente e seu regime hidrográfico fluvial é predominantemente dendrítico, pois apresenta uma grande quantidade de afluentes e subafluentes. E devido à existência de fraturas geológicas a rede de drenagem apresenta padrão que varia do angular ao retangular. Seus cursos d'água constituem afluentes da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu (MASCARENHAS, 2005).

O relevo acha-se incluso na denominada Planície Sertaneja, a qual constitui um extenso pediplano arrasado, onde localmente destacam-se o "Pd2", constituído por um conjunto de serras alongadas e alinhadas ao longo da estrutura geológica regional, cujo domínio topográfico vai dos municípios de Manaíra a Teixeira (MASCARENHAS, 2005).

Conforme Mascarenhas (2005), a agricultura e pecuária são as principais atividades econômicas da comunidade. Isso implica em uma intensa utilização das terras para fins agropecuários convencionais pautados em técnicas devastadoras da vegetação nativa como as lavouras temporárias e pastagens conforme indica a Figura 5 (INPE, 2015). Os resultados de práticas como essas, podem advir de processos erosivos e assoreamento, implicando em diminuição da velocidade dos rios e reduzindo a profundidade e a capacidade hídrica dos mananciais, pois são carreados

sedimentos a cada chuva, em decorrência dos locais em que os solos estão expostos (IBGE, 2007).

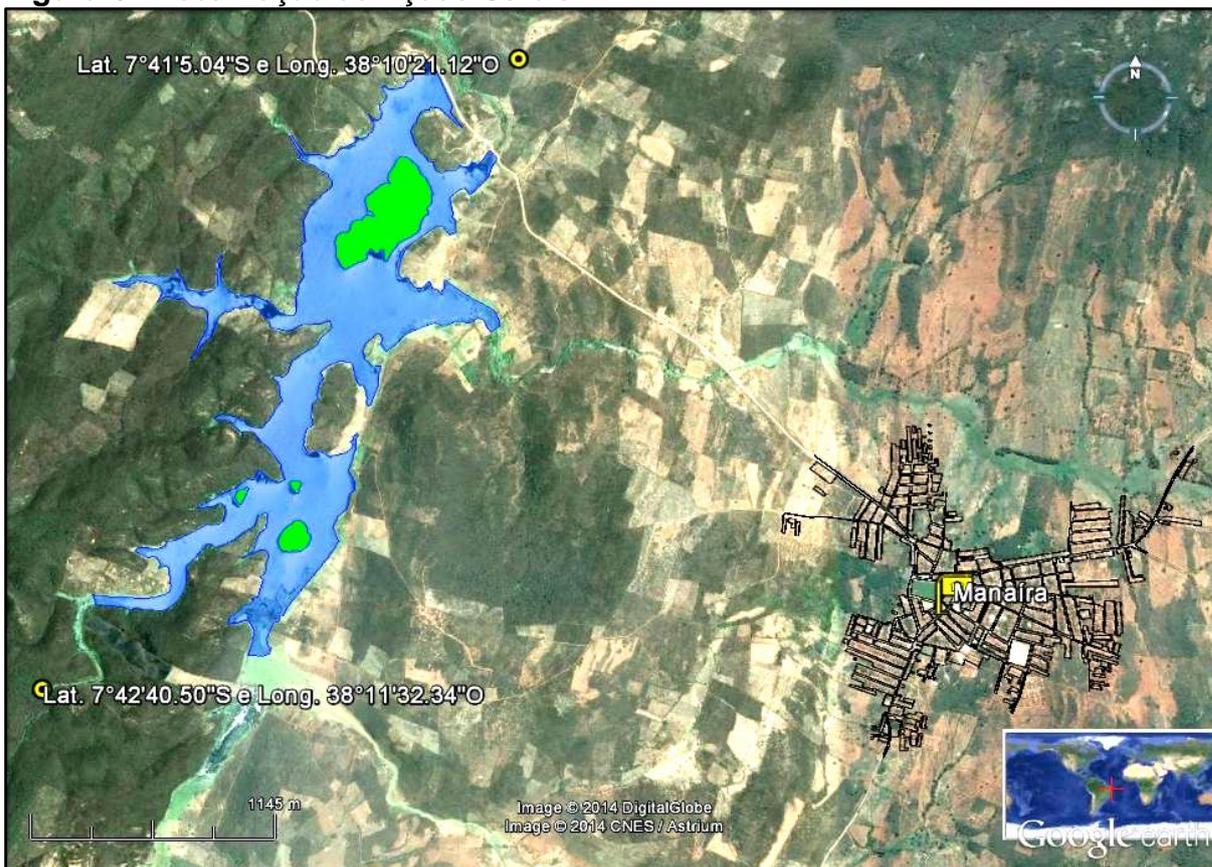
Figura 5 - Número dos estabelecimentos por uso do solo em Manaíra-PB



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2015).

Esta pesquisa foi realizada especificamente em relação à microbacia hidrográfica do Açude Catolé I, onde este localiza-se nos sítios Catolé, Saca e Tapúia, na Zona Rural do município de Manaíra-PB. O manancial está envolvido aproximadamente pelas coordenadas Lat. 7°41'5.04"S, Long. 38°10'21.12"O e Lat. 7°42'40.50"S, Long. 38°11'32.34"O (Figura 6). Encontra-se a aproximadamente 3 km de distância da cidade, sendo o principal recurso hídrico do município, que abastece a zona urbana, comunidades rurais e localidades circunvizinhas.

Figura 6 - Localização do Açude Catolé I



Fonte: Adaptação a partir do Google Earth (2022).

O Açude Catolé I teve seu início de construção em 1985 e foi concluído em 1987, com 10.500.000 m³ de capacidade de armazenamento de água e 4.720 m³ de volume morto a fim de abastecer os habitantes do município de Manaíra (AESA, 2007).

A bacia hidráulica do Açude Catolé I, que é a área ocupada pela massa de água do açude, até o limite de seu sangradouro, é de 136,07 ha e altura da barragem de 25 m (AESA, 2007). Os principais cursos d'água barrados foram o Riacho Grande de 4^a ordem e comprimento de 29.143,91 m que se estende a jusante da microbacia do Açude Catolé I, o Riacho da Arara de 3^a ordem e comprimento de 9.911,68 m e o Riacho Constantino de 3^a ordem e comprimento de 5.185,56 m (AESA, 2007).

A microbacia hidrográfica do Açude Catolé I faz parte da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu que compreende uma área total de 43.683 km² que representa 15% da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental (Figura 7) (ANA, 2016).

Figura 7 - Localização da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu



Fonte: ANA (2016).

Essa bacia hidrográfica tem 25.948 km² em território paraibano (corresponde a 60% da bacia) abrangendo 100 municípios e 17.735 km² (cerca de 40% da bacia) inseridos no estado do Rio Grande do Norte, fazendo parte de 47 municípios potiguares, compreendendo 147 municípios (**Figura 8**). Desse total, 132 municípios têm sua sede dentro dos limites da bacia, dos quais 73% apresenta menos de 10.000 habitantes e apenas 13 municípios (9%) registram população maior que 20.000 habitantes (ANA, 2016).

Gonçalves, o rio Piranhas passa a se chamar Açu e recebe dois afluentes principais, o rio Paraú e o rio Pataxó, antes de desaguar no mar (ANA, 2016).

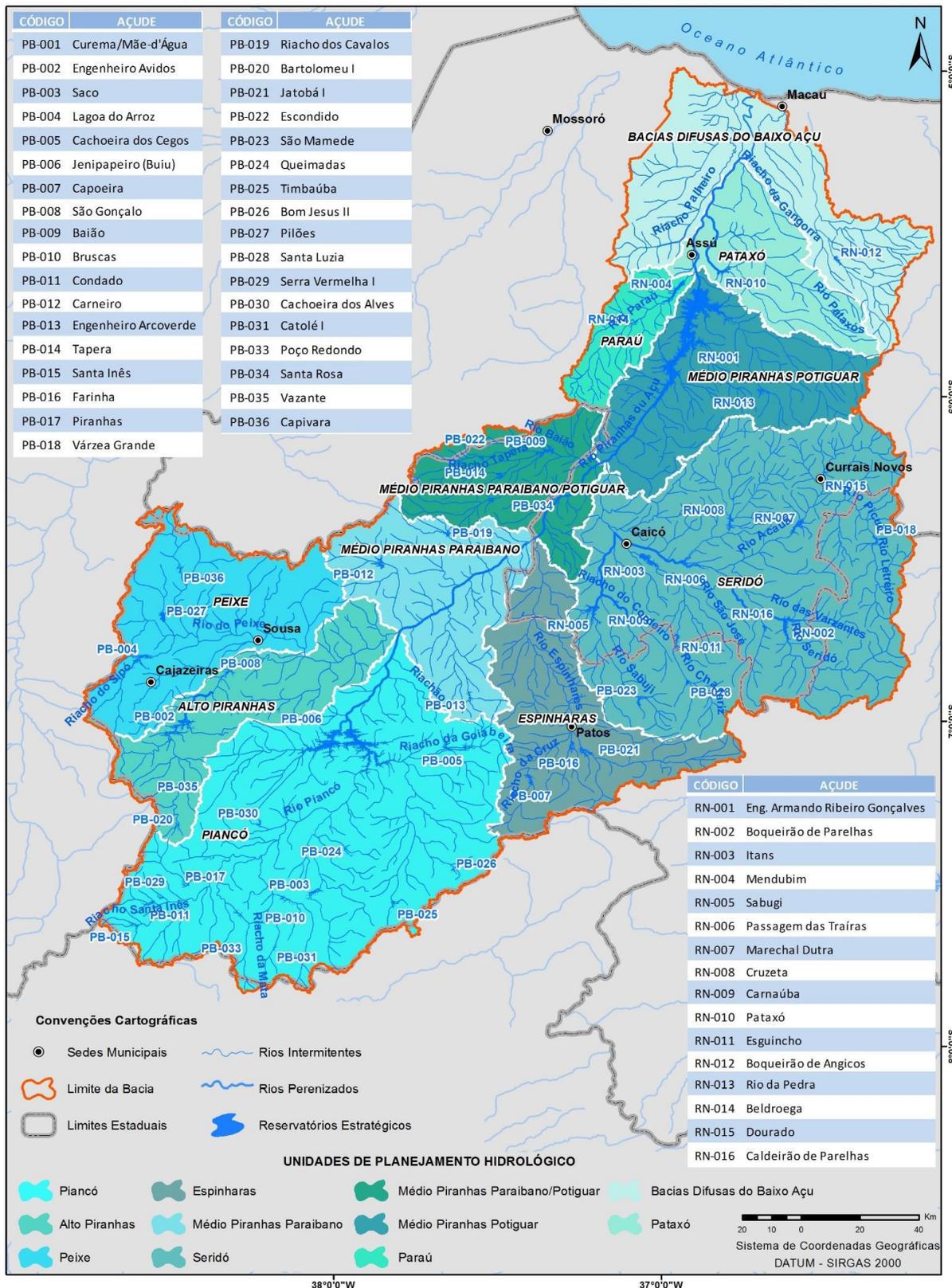
Assim como os demais rios da bacia, o rio Piancó-Piranhas-Açu é um rio intermitente em condições naturais, ou seja, são cursos d'água que não apresentam escoamento superficial por alguns períodos do ano. Porém, devido a construção dos reservatórios de regularização Coremas/Mãe d'Água, na Paraíba, e Armando Ribeiro Gonçalves, no Rio Grande do Norte, pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), foi propiciado o escoamento superficial durante todo o período do ano (ANA, 2016).

A bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu é subdividida em 11 Unidades de Planejamento Hidrológico (UPH) (Figura 9), para as quais foram adotados fatores geomorfológicos, hidrográficos e hidrológicos homogêneos, de acordo com os critérios de hidrografia, presença de reservatórios de grande porte e unidades de gestão adotadas pelos Estados (ANA, 2016).

A UPH Piancó possui 107 reservatórios artificiais e engloba 41 municípios, dos quais, apenas 30 possuem sedes dentro da bacia que tem o Rio Piancó como principal. Apresenta os seguintes dados médios anuais: 923 mm de precipitação; 135,7 mm de lâmina escoada e uma Vazão natural de 39,6 m³/s. Isso em uma área de 9.207 km² que corresponde a 21,1% da bacia hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu.

Os reservatórios da bacia têm a função de regularizar as vazões naturais ao acumular parte das águas dos períodos chuvosos de forma a atenuar eventuais falhas de vazão nos períodos de estiagem. Foram identificados 2.436 espelhos d'água artificiais na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu, dentre os quais se encontra o Açude Catolé I com código PB-031 na UPH Piancó (ANA, 2013).

Figura 9 - Hidrografia, reservatórios estratégicos e unidades de planejamento hidrológico



Fonte: ANA (2016).

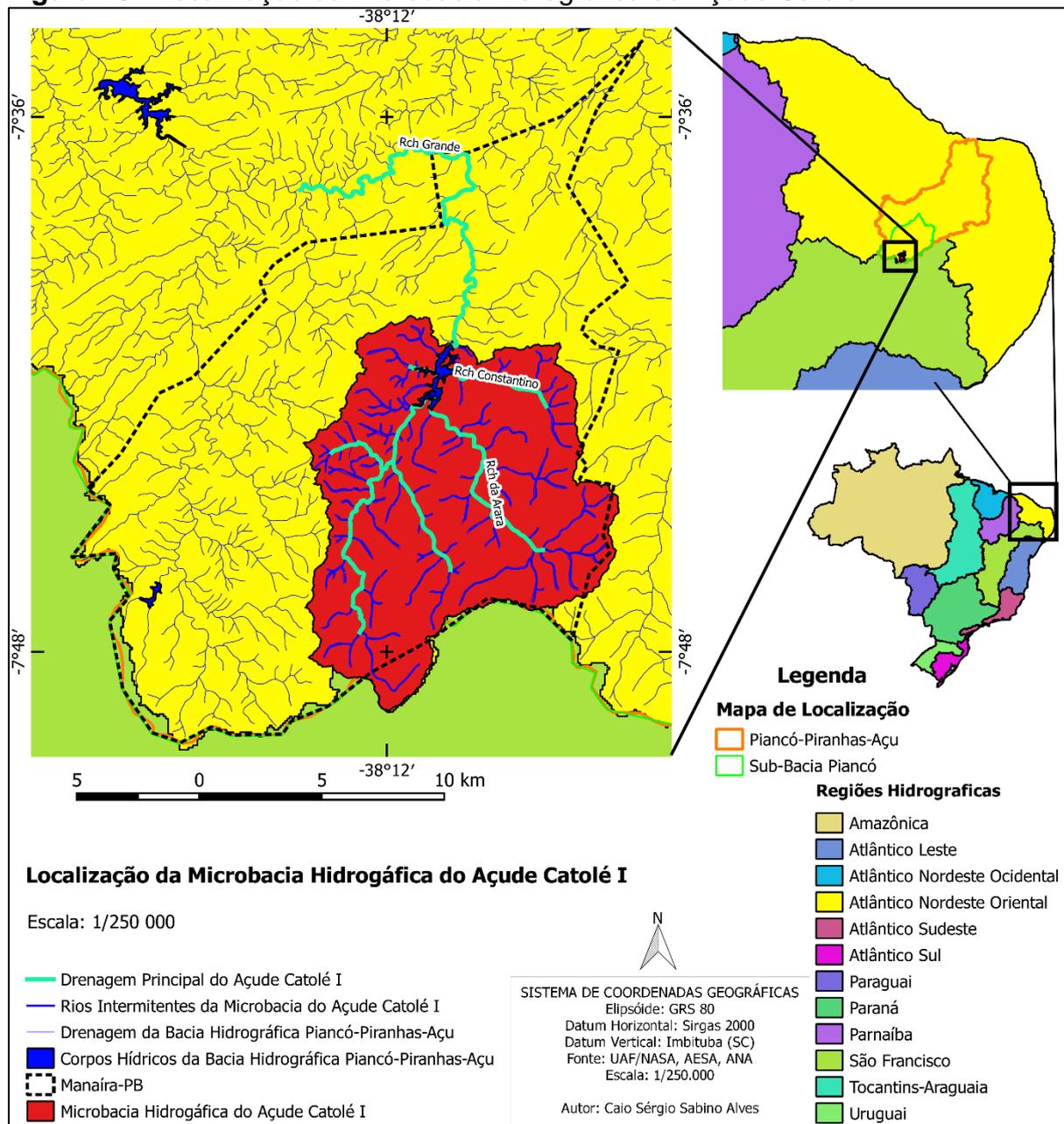
5.2 Delimitação da microbacia hidrográfica do Açude Catolé I

A microbacia hidrográfica do açude Catolé I faz parte da região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, da Bacia Piancó-piranhas-Açu e da Sub-Bacia Piancó. E está envolvida pelo retângulo de coordenadas geográficas dos vértices inferior esquerdo Lat. 7°49'19,18"S Long. 38°13'50,25"W e superior direito Lat. 7°40'27,22"S Long. 38°06'50,98"W, conforme Figura 10.

Um importante ponto de referência está localizado a um raio de 9 km de distância é o Pico do Papagaio com altitude de 1.260 m, no município de Triunfo-PE, sendo o ponto mais alto da parte setentrional da Região Nordeste a partir da margem esquerda do rio São Francisco (SILVEIRA, 2012).

A microbacia hidrográfica do açude Catolé I apresenta uma área de captação de 132,01 km² (13201,28 ha), da qual 12.631 ha pertence ao território manairense representando 35,32 % da área do município, seguido de 1,11 % (146,11 ha) da Microbacia localiza-se no município de São José de Princesa-PB e 3,21 % (423,53 ha) da Microbacia encontra-se em Santa Cruz da Baixa Verde-PE. Já o seu divisor de água tem comprimento de 79,20 km e faz fronteira, em sua parte sul, com a região hidrográfica São Francisco conforme Figura 10.

Figura 10 - Localização da microbacia hidrográfica do Açude Catolé I



Fonte: Autor (2022).

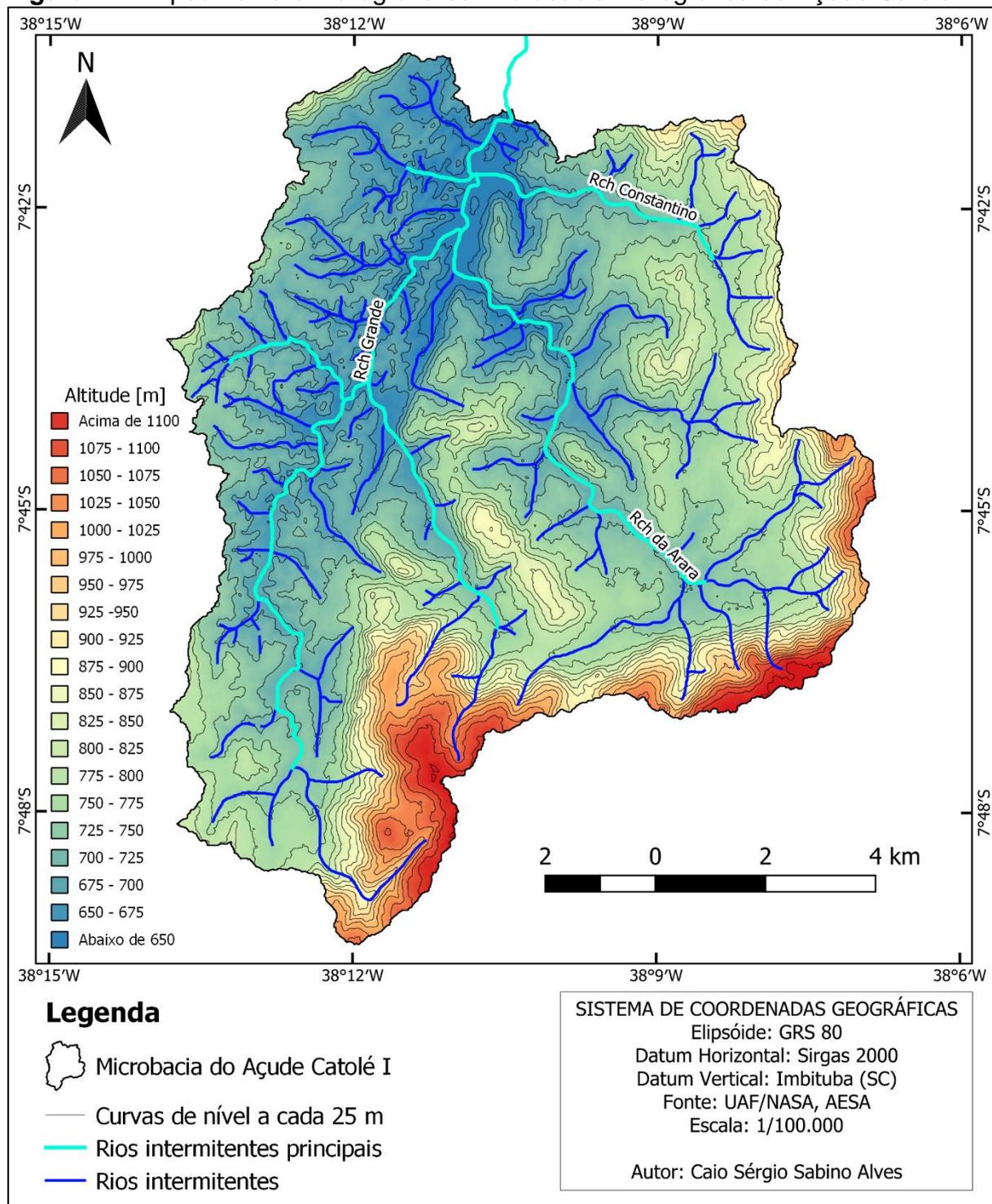
5.3 Relevo e rede hidrográfica

A microbacia hidrográfica do Açude Catolé I apresenta em seu relevo uma amplitude de 495 m da altitude variando de 623 m a 1.118 m. Na porção norte, onde está localizado o exutório, o relevo apresentou as menores altitudes, chegando a 623 m, juntamente com pouca variação da feição do relevo. A partir da região sul e sudeste da microbacia, as altitudes apresentaram aumento, chegando a 1.118 m. Essa variação é decorrente das serras alongadas e alinhadas ao longo da estrutura geológica característica da microrregião Serra do Teixeira (MASCARENHAS, 2005).

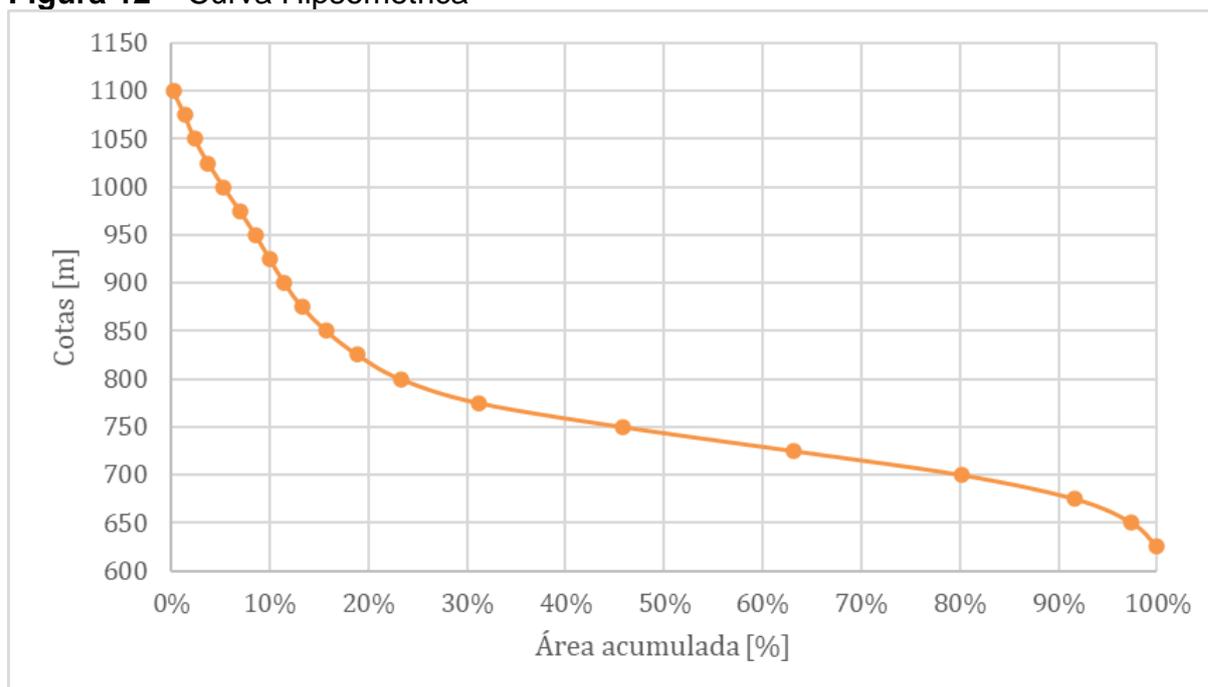
A hidrografia da microbacia, como descrita na área de estudo, é típica da região semiárida, sendo do tipo intermitente e seu padrão predominantemente é dendrítico no qual o arranjo da drenagem lembra à distribuição dos galhos de uma árvore, como pode ser observado na **Figura 11**. Esse tipo de padrão geralmente ocorre quando a rocha dos substratos é homogênea, como um granito ou rochas sedimentares com estratos horizontais (RICCOMINI *et al*, 2000). Existem variações de padrão da rede de drenagem angular e retangular isso devido à existência de fraturas geológicas. (MASCARENHAS, 2005).

Outra análise realizada na microbacia hidrográfica do Açude Catolé I foi a hipsometria, para observar qual a maior frequência de classe de altitude. A partir da Figura 11 obteve-se a curva hipsométrica (**Figura 12**) que consiste na frequência relativa da altitude, apresentada na Tabela 3. Observou-se que a classe de 725-750 m tem a maior representatividade do relevo com 17,34% da área total da Microbacia. Já a classe que representa as áreas com altitudes maiores que 1.100 m tem a menor representatividade do relevo com 0,21%.

Figura 11 - Hipsometria e hidrografia da microbacia hidrográfica do Açude Catolé I



Fonte: Autor (2022).

Figura 12 – Curva Hipsometrica

Fonte: Autor (2022).

Tabela 3 - Área e representatividade das classes de altitudes do relevo

CN	Classe da Altitude (m)	Classe da Altitude (m)	Área (ha)	%	Acumulado %
1	Maior que 1100	1100	27,36	0%	0%
2	1075 a 1100	1075	153,36	1%	1%
3	1050 a 1075	1050	133,44	1%	2%
4	1025 a 1050	1025	182,78	1%	4%
5	1000 a 1025	1000	202,81	2%	5%
6	975 a 1000	975	224,78	2%	7%
7	950 a 975	950	206,56	2%	9%
8	925 a 950	925	189,8	1%	10%
9	900 a 925	900	195,67	1%	11%
10	875 a 900	875	239,14	2%	13%
11	850 a 875	850	323,25	2%	16%
12	825 a 850	825	420,47	3%	19%
13	800 a 825	800	572,81	4%	23%
14	775 a 800	775	1043,34	8%	31%
15	750 a 775	750	1928,72	15%	46%
16	725 a 750	725	2289,11	17%	63%
17	700 a 725	700	2240,95	17%	80%
18	675 a 700	675	1520,83	12%	92%
19	650 a 675	650	763,92	6%	97%
20	Menor ou igual a 650	625	342,17	3%	100%

Fonte: Autor (2022).

5.4 Classificação da declividade

Foi analisada a classificação do relevo da microbacia do Açude Catolé I (Figura 13), em oito classes de relevo: Plano que apresentam declividade menor que 2 %; Suave ondulado com declividade entre 2 e 5 %; Moderadamente ondulado com declividade entre 5 e 10 %; Ondulado com declividade entre 10 e 15 %; forte ondulado com declividade entre 15 e 45 % e Escarpado, com declividade maiores a 70 %, é importante destacar que existe parte dessa classe, que também faz parte da Área de Preservação Permanente de encostas, ou seja, as áreas com declividade superior a 100 % equivalente a 45°.

Após o mapeamento dessas áreas constatou-se que a maior representatividade foi da classe forte ondulado 38,64 %, seguida das moderadamente ondulado 27,35 % e ondulado com 20,02 %. As menores representatividades foram das classes escarpado com 0,08 %, montanhoso 2,08 % e plano com 3,38 % conforme resumido na Tabela 4.

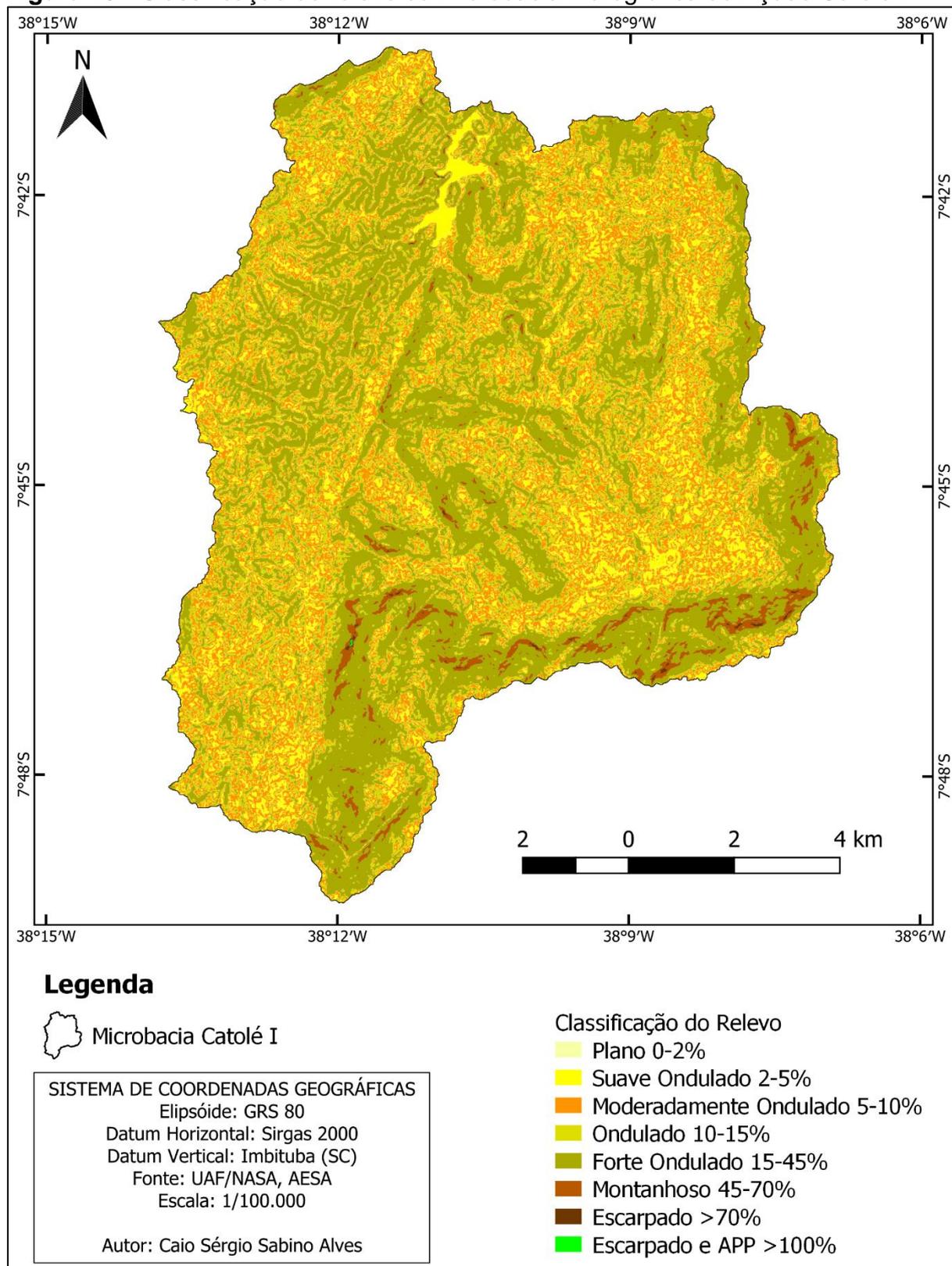
Observou-se que as APPs de encostas no mapa de Classificação do Relevo (Figura 15) dos 11,86 ha do terreno classificado como escarpado 0,52 ha (4,38 %) é APP de Encostas com Declividade maior que 45° (100%).

Tabela 4 - Classificação de relevo

CLASSE DE RELEVO	CLASSES DE DECLIVIDADE		Área ha	Peso %
	%	Graus		
Plano	0 - 2	0° - 1°8'45"	472,81	3,38
Suave ondulado	2 - 5	1°8'45" - 2°51'45"	1179,72	8,44
Moderadamente ondulado	5 - 10	2°51'45" - 5°42'38"	3824,09	27,35
Ondulado	10 - 15	5°42'38" - 8°31'51"	2798,95	20,02
Forte ondulado	15 - 45	8°31'51" - 24°13'40"	5402,13	38,64
Montanhoso	45 - 70	24°13'40" - 34°59'31"	291,2	2,08
Escarpado	> 70	> 34°59'31"	11,86	0,08
Escarpado e APP	> 100	> 45	0,52	0,004

Fonte: Adaptado de LEPSCH (1983).

Figura 13 - Classificação do relevo da microbacia hidrográfica do Açude Catolé I



Fonte: Autor (2022).

5.5 Áreas de uso restrito

Na microbacia do Açude Catolé I também foi analisada a declividade, em graus, do terreno (Figura 14), onde foram classificados em três classes de declividade: áreas sem restrição que apresentam declividade menor que 25°; áreas de uso restrito com declividade entre 25° a 45° e por fim, área de preservação permanente de encostas com declividade superior a 45°.

Após o mapeamento dessas áreas constatou-se que a maior representatividade foi da classe sem restrição 98,06%, seguida das áreas de uso restrito 1,94% e APP de encostas com declividade superior a 45° correspondendo a 0,004% conforme resumido na Tabela 5.

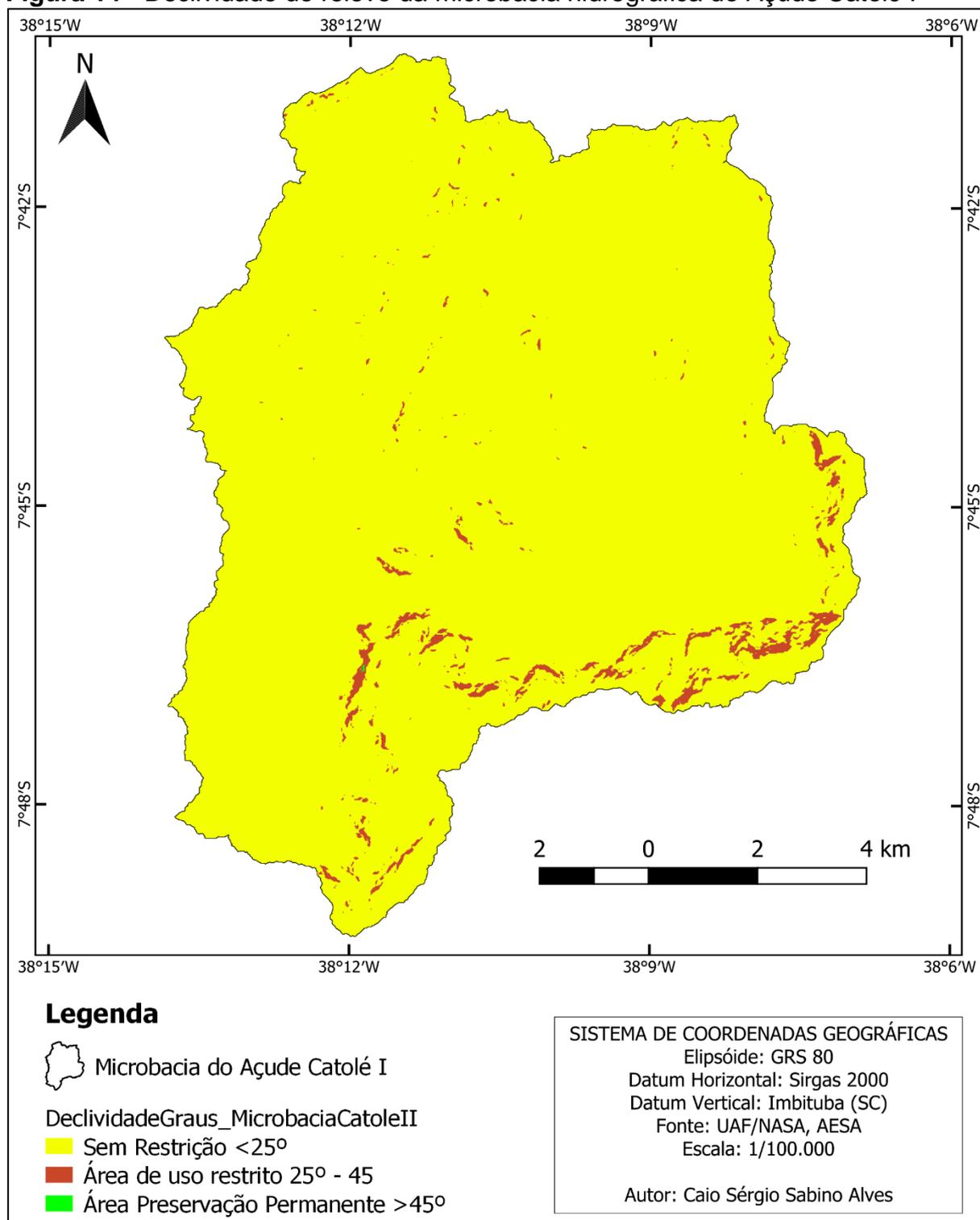
Tabela 5 – Área com restrição ambiental

CLASSE DE RELEVO	CLASSES DE DECLIVIDADE		Área ha	Peso %
	%	Graus		
Sem restrição	0 - 47	0° - 25°	12.945,73	98,06
Área de uso restrito	47 - 100	25° - 45°	256,03	1,94
Preservação permanente	> 100	> 45°	0,52	0,004

Fonte: Adaptado de LEPSCH, 1983.

Provavelmente, essas áreas com declividade, quando analisadas em uma escala maior e, conseqüentemente, com maior detalhamento espacial, apresentarão representatividade maior, pois o MDS utilizado tem média resolução espacial e só são detectadas áreas superiores a 144 m². Sendo importante ressaltar que quanto melhor for a base de dados melhor será o resultado das análises

Figura 14 - Declividade do relevo da microbacia hidrográfica do Açude Catolé I



Fonte: Autor (2022).

5.6 Parâmetros Morfométricos

Dependendo da finalidade do estudo pode-se, por meio dos parâmetros morfométricos, avaliar as características físicas mais importantes de uma região.

Na Tabela 6 são apresentados os dados e indicadores referentes às características geométricas, de relevo e da rede de drenagem da microbacia do Açude Catolé I.

Tabela 6 – Características morfométricas da microbacia hidrográfica do Açude Catolé I

Características	Parâmetros	Siglas	Unidades	Valores
Geométricas	Área de drenagem	A_{bh}	km ²	132,01
	Perímetro da bacia	P_{bh}	km	79,20
	Coeficiente de compacidade	K_c	-	1,93
	Fator de forma	K_f	-	0,30
	Índice de circularidade	I_c	-	0,26
Relevo	Maior altitude da bacia	$H_{máx}$	m	1118,00
	Maior altitude do canal principal	$HC_{máx}$	m	1036,00
	Menor altitude da bacia	$H_{mín}$	m	623,00
	Menor altitude do canal principal	$HC_{mín}$	m	594,00
	Diferença de cota no dreno principal	ΔH	m	442,00
	Equidistância vertical entre curvas de nível	D	km	0,03
	Comprimento total das curvas de nível	CN	km	837,13
	Declividade média da bacia	$I_{(%)}$	%	0,16
	Declividade do curso d'água principal	I_{eq}	m/km	21,03
Rede de Drenagem	Ordem da bacia	-	Ordem	4 ^a
	Número Total de Drenos	N	Und	227,00
	Comprimento do curso d'água principal da bacia	L	km	21,02
	Distância vetorial entre os extremos do canal	L_t	km	13,43
	Índice de Sinuosidade	Sin	-	1,57
	Rede de drenagem	R_d	km	172,11
	Densidade de drenagem	D_d	km/km ²	1,30
	Densidade da Rede de Drenagem	D_r	Drenos/km ²	1,72
	Extensão média do escoamento Superficial	C_m	km	0,19
Tempo de concentração	T_c	min	275,17	

Fonte: Autor (2022).

As características geométricas são determinadas por parâmetros relacionados com formas geométricas conhecidas como o Coeficiente de Compacidade (K_c), Fator de Forma (K_f) e Índice de Circularidade (I_c) (NOBRE et al., 2020).

O coeficiente de compacidade está vinculado à irregularidade da bacia quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade e quanto mais se assemelhar ao formato do círculo mais próximo o K_c será de 1 e terá maior chance de cheias de grande proporção (VILLELA; MATTOS, 1975). A classificação das bacias pelos valores de K_c ocorre da seguinte forma: $1,00 < K_c < 1,25$ – bacia com alta propensão a grandes enchentes; $1,25 < K_c < 1,50$ – bacia com tendência mediana a grandes enchentes; $K_c > 1,50$ – bacia não sujeita a grandes enchentes (ROCHA et al.,

2014). Portanto obteve-se $K_c = 1,93$ e a microbacia hidrográfica do Açude Catolé I não está sujeita a grandes enchentes.

Sabendo que o parâmetro fator de forma (K_f), indica que a bacia está sujeita à enchentes quando $K_f = 1$ em contrapeso a bacia não está sujeita a enchentes quando $K_f < 0,50$, como o fator de forma obtido foi de 0,30 é entendido que a microbacia hidrográfica do Açude Catolé I tem baixo risco a enchentes.

Conforme ALMEIDA et al. (2013) para os valores do índice de circularidade (I_c), considera-se uma bacia circular quando $I_c = 1$, e bacia alongada quando valores do I_c forem mais próximos de 0. Carvalho et al. (2020) acrescenta que o $I_c = 0,51$ aponta para escoamento superficial moderado e menor probabilidade de cheias rápidas, $I_c > 0,51$ indica uma bacia circular, favorecendo os processos de inundação, $I_c < 0,51$ caracteriza uma bacia mais alongada, colaborando para o escoamento superficial.

Com os valores calculados e os mapas produzidos a microbacia hidrográfica do Açude Catolé I possui índice de circularidade de 0,26, corroborando ao K_f constatado anteriormente, e é tida como alongada de rápido escoamento superficial, pouco susceptível a enchentes e inundações em condições normais de precipitação sendo favorável para implantação de um reservatório artificial, como é o caso.

Nas características de relevo e rede de drenagem constatou-se que a maior altitude da bacia ($H_{máx}$) é de 1.118 m e a menor ($H_{mín}$) é de 623 m, apresentando uma declividade média da bacia de 0,16%, calculada a partir da razão entre o produto da equidistância vertical ($D = 0,03$ km) e o comprimento total das curvas de nível ($CN = 837,13$ km), tudo isso, pela área de drenagem ($A_{bh} = 132,01$ km²). A declividade média da bacia hidrográfica é importante para saber, aliado com informações da vegetação, classe do solo e intensidade de chuvas, a distribuição do escoamento superficial e subterrâneo da água (RIBEIRO e PEREIRA, 2013).

O canal principal possui 21,02 km de comprimento e apresenta maior altitude ($H_{Cmáx}$) de 1036 m e a menor ($H_{Cmín}$) de 594 m e a diferença de cota no dreno principal ΔH de 442 m a partir disso, obteve-se 21,03 m/km de declividade do curso d'água principal.

O índice de Sinuosidade (S_{in}) é a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial do canal principal (REIS et al., 2017) obtendo-se respectivamente 21,020 km, 13,427 km e 1,57 para o índice de Sinuosidade da microbacia hidrográfica do Açude Catolé I. De acordo com Moura (2013) a classificação da sinuosidade ocorre da seguinte forma: valores próximos a 1,0 indicam

que o canal tende a ser retilíneo e, portanto, com velocidade de escoamento maior; quando superiores a 2 ($Sin > 2,0$) indicam canais tortuosos em que a velocidade de escoamento da água é menor favorecendo cheias rápidas; já os valores intermediários ($1 < Sin < 2,0$) sugerem formas transicionais, regulares e irregulares em que a sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica e estruturação geológica.

A microbacia hidrográfica do Açude Catolé I é endorreica visto que a drenagem é interna e deságua em um reservatório artificial, conforme a classificação de Christofolletti (1980) na Tabela 7 sobre os tipos de bacia de drenagem. Apresentou um total de 227 drenos, que totalizaram 172,11 km de rede de drenagem (soma de todos os comprimentos dos cursos d'água), obtendo uma densidade da rede de drenagem de 1,72 drenos/km² e a extensão média do escoamento superficial de 0,19 km, e ramificação de quarta ordem, de acordo com a proposta de Strahler (1957) para hierarquia de sistema de drenagem.

Tabela 7 - Classificação segundo Christofolletti (1980), para rede de drenagem

Tipos de Bacia de Drenagem	Descrição
Exorreica	Quando o escoamento se faz de modo contínuo até o mar ou oceano
Endorreica	Quando a drenagem é interna, e não possui escoamento até o mar, desaguando em um lago
Arreica	Quando não há uma estruturação em bacias hidrográficas, como no caso de áreas desérticas
Criptorreica	Quando as bacias são subterrâneas, como em áreas cársticas

Fonte: Christofolletti (1980).

A densidade de drenagem indica que quanto maior a densidade de drenagem maior será a capacidade de transformação da precipitação em escoamento superficial aliada a velocidade, máxima ou mínima, que a água sai da bacia hidrográfica (MELLO E SILVA, 2013). Para a microbacia hidrográfica do Açude Catolé I obteve-se 1,30 km/km² densidade de drenagem considerada mediana, conforme sugerido por Beltrame (1994) na classificação em faixas, quando $Dd > 0,50$ é considerada baixa, $0,50 < Dd < 2,00$ é mediana, entre $2,01 < Dd < 3,50$ é alta, e $Dd > 3,50$ é muito alta.

O tempo de concentração é uma grandeza importante e sua determinação deve ser rigorosa, pois permite a compreensão do escoamento produzido na bacia hidrográfica, bem como, para o dimensionamento de sistemas de drenagem, armazenamento e controle. Obteve-se o tempo de concentração de 275,17 minutos, é importante destacar que quanto maior a declividade de uma bacia, maior a

velocidade do escoamento superficial direto, menor o tempo de concentração, consequentemente, maiores os riscos de picos de enchentes (NOBRE *et al.*, 2020).

6 CONCLUSÃO

A análise possibilitou o conhecimento: dos limites e dimensões da microbacia, hipsometria, classificação do relevo, áreas de uso restrito, bem como os índices morfométricos da microbacia do Açude Catolé I.

O software QGIS e a extensão TauDEM mostraram-se completos para as análises, como ferramentas capazes de realizar as principais operações sobre o MDE, para extração das informações físicas da microbacia.

Percebeu-se que o uso do Geoprocessamento foi eficiente para promover a delimitação e a obtenção dos dados para realizar os cálculos dos parâmetros morfométricos, bem como a caracterização do relevo e da rede hidrográfica da microbacia do Açude Catolé I. Foi possível analisar uma extensa área por meio de processos automatizados e foram obtidos resultados importantes para melhor compreensão de diversas questões associadas à dinâmica hidrológica e ambiental, bem como auxiliar no planejamento e tomada de decisão na gestão mais eficiente da bacia hidrográfica. Sendo importante ressaltar que quanto melhor for a base de dados, melhor será o resultado das análises.

Por meio dos resultados dos parâmetros na microbacia hidrográfica do Açude Catolé I constatou-se que as características geométricas, de relevo e rede de drenagem se mostraram propícios ao abastecimento hídrico. Portanto, a elaboração e execução de um planejamento e gerenciamento adequado dos recursos hídricos nessa região podem, a médio e longo prazo, minimizar os impactos ambientais que venham a atingir a disponibilidade da qualidade e quantidade de recursos hídricos.

Portanto é de extrema importância, em um estudo posterior, mapear os conflitos de uso e ocupação da terra e a susceptibilidade de degradação dessa área para um planejamento socioambiental adequado pelos órgãos gestores.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Açudes do Estado**. [S.l. : s.n.], 2007. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>. Acesso em: 09 jun. 2019.
- Agência Nacional de Águas (Brasil); MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu** / Resumo Executivo. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2016.
- Agência Nacional de Águas. **Portal de Metadados Geoespaciais**. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>.
- ALMEIDA, R. F. B. **Morfometria e uso da terra da bacia hidrográfica do rio do coco e suas implicações sobre a produção e transporte de sedimentos**. 2017. 134f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.
- ALMEIDA, W. S.; SOUZA, N. M.; REIS JÚNIOR, D. S.; CARVALHO, J. C. Análise morfométrica em bacias hidrográficas fluviais como indicadores de processos erosivos e aporte de sedimentos no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Corumbá IV. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, 2013.
- BARBOSA, Marx Prestes. **Desertificação no Estado da Paraíba**. UFCG/CTRN: Campina Grande, 2006. 37f (Apostila).
- BASSOI, L. J.; GUAZELLI, M. R. Controle ambiental da água. In: PHILIPPI JR., Arlindo; ROMÉRO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Collet. (Org.). **Curso de gestão ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004. cap. 3, p. 55.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: ED. UFSC, 1994.
- BEZERRA, J. M.; REGO, V. G. S.; POSSAS, J. M. C.; SOUZA, E. P.; FERNANDES NETO, S. **Análise morfométrica da microbacia hidrográfica riacho das piabas/PB**. CONTECC, p. 4, 2015.
- BRASIL. **Lei 12.651/2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília: Palácio do Planalto / Casa Civil, 2012.
- BRUNO, L.O. GRASS. A free and open source solution for hydrographic body analysis. **Nativa**, v.5, n.1, p.24-30, 2017.
- CARVALHO, A. C. F.; SILVA, C. W. G.; RODRIGUES, E. S.; CALDAS, A. M. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Terra Nova – PE. **Revista Semiárido de Visu**, v. 8, n. 1, p. 3-14, 2020.
- CASTRO, L.I.S.; CAMPOS, S.; ZIMBACK, C.R.L.; KAISER, I.M. Sistema de Informação Geográfica na formulação de indicadores ambientais para sustentabilidade dos recursos hídricos. **Irriga**, Botucatu, v.19, n.4, p.655, 2015.

CECÍLIO, R. A.; REIS, E. F. **Manejo de bacias hidrográficas**. Vitória, Espírito Santo: Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. **Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 1, p. 336, 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ªed. São Paulo. Edgard Blücher, p. 03- 50, 1980.

FANTINEL, R.A.; BENEDETTI, A.C.P. Avaliação dos fatores influentes na vulnerabilidade à erosão do solo por meio de decisão multicritério e de técnicas de geoprocessamento no município de Piratini-RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.38, n.1, p.156-163, 2016.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba, CATIE, 1996.

GUIMARÃES, Carlos Lamarque et al. Uso de geotecnologias para análise da bacia hidrográfica do açude Cachoeira dos Alves, município de Itaporanga-PB. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 5, n. 1, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE/Diretoria de Geociências Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013**: Perfil do município de Manaíra, PB. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: http://ideme.pb.gov.br/servicos/perfis-do-idhm/atlasidhm2013_perfil_manaira_pb.pdf. Acesso em: 23 maio 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**: Resultados da Amostra Domicílios. Rio de Janeiro: IBGE, 2012a. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=250900&idtema=94&search=paraiba|manaira|censo%C2%ADdemografico%C2%AD2010:%C2%ADresultados%C2%ADda%C2%ADamostra%E2%80%A61/3>. Acesso em: 15 Jun. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**: Sistema fitogeográfico; Inventário das formações florestais e campestres; Técnicas e manejo de coleções botânicas; Procedimentos para mapeamentos. 2. ed. Revista e ampliada. Rio de Janeiro: IBGE / Diretoria de Geociências Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2012b.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Manaíra-PB uso e ocupação do solo**. Natal: INPE-CRN, 2015. Disponível em: http://geopro.crn.inpe.br/manaira_pb.htm. Acesso em: 06 jun. 2019.

LEAL, M.S., TONELLO, K.C. **Morfometria e do uso e cobertura da terra da microbacia do córrego Ipaneminha de Baixo**, Sorocaba/SP. **FLORESTA**, v.46, n.4, p.439-446,2017.

LEPSCH, Igo Fernando et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.

LIMA, Sanmy S.; ALMEIDA, José A P.; SIQUEIRA, José B.; ALMEIDA, Gabriela M.; ROSA, Lauro R J. Aplicação de Geoprocessamento e Dados SRTM no Estudo Geomorfológico do Município de Malhador-SE. In. SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO – GEONORDESTE, 2014, Aracaju. **Anais...** nov/2014.

LUCENA, E. M. P. de. Ecossistemas do Nordeste (semiárido). In: Eliseu Marlônio Pereira de Lucena. (Org.). **Mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável**. 1ed. Fortaleza: Universidade Aberta do Nordeste, 2010, v. 1, p. 321-352.

MASCARENHAS, J.de C. et al. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Estado da Paraíba** / Diagnóstico do município de Manaíra. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

MELLO, C. R. De.; SILVA, A. M. Da. **Hidrologia: Princípios e Aplicações em Sistemas Agrícolas**. Ufla/MG: Ufla. 2013, 455p.

MOURA, C. A. Avaliação de tendência a enchentes das bacias hidrográficas do município de Caraguatatuba (SP). **Revista de Geografia**, v. 30, n. 2, p. 123–138, 2013.

NOBRE, N. C.; SILVA, C. M.; SANTANA, J. S.; SILVA, W. A. Caracterização morfométrica, climática e de uso do solo da Bacia hidrográfica do rio Farinha-MA. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 1, p. 11–34, 2020.

NYS, Erwin; ENGLE, Nathan L.; MAGALHÃES, Antonio Rocha. Secas no Brasil: política e gestão proativas. **Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos-CGEE**, v. 292, 2016.

PINTO, Rodrigo W P. **Evolução da Paisagem Geomorfológica do Rio Grande: Dinâmicas de Dissecção e Capturas de Drenagem**. 2015. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2015.

REIS, V.; ALVES, L. A.; ALVES, M. V.; MIRO, J. M. R. Caracterização morfométrica e dinâmica hídrica na bacia hidrográfica do Rio Guaxindiba, São Francisco de Itabapoana/RJ. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 771-783, 2017.

RIBEIRO, G, F.; PEREIRA, S. Y. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Vargens de Caldas, Planalto de Poços de Caldas, MG. **TERRÆ**, n.10, v.1-2, p.15-20, 2013.

RICCOMINI, C; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Rios e Processos Aluviais. In: TEIXEIRA, Wilson et al (org). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. Reimpressão, 2001.

ROCHA, R. M.; LUCAS, A. A. T.; ALMEIDA, C. A. P. D.; MENEZES NETO, E. L.; NETTO, A. D. O. A. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA SUB-BACIA DO

RIO POXIM-AÇU, SERGIPE, BRASIL. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.

RODRIGUES, R. S. S.; FERNANDES, L. L.; CRISPIM, D. L.; VIEIRA, A. S. A.; PESSOA, F. C. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço, Pará, Brasil. **Revista Verde**, v. 11, n.3, p.143-150, 2016.

SANTANA, Derli Prudente. **Manejo integrado de Bacias Hidrográficas**. Embrapa Milho e Sorgo, 2003.

SILVEIRA, M. H. dos S. **Análise termodinâmica dos complexos convectivos de mesoescala atuantes na costa leste do nordeste brasileiro**, 2012. 59 f. Dissertação (mestrado em Meteorologia: Processos de Superfície Terrestre) - Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, 2012.

SOUSA, M.M., OLIVEIRA, W. **Análise morfológica da rede de drenagem do alto Juruá/ AC, extraída de mde-srtm**. Caminhos de Geografia, v.18, n.61, p.44-64, 2017.

SOUZA, E.R. e FERNANDES, M.R. **Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais**. Inf.Agropec., Belo Horizonte, 207: 15-20, 2000.

STEVAUX, José Cândido; LATRUBESSE, Edgardo Manuel. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 336 p.

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Haven: **Transactions: American Geophysical Union**, 1957. v.38. p. 913-920.

TUCCI, C. E. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**(4ª ed.). Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

TUNDISI, José Galizia; MATSUMURA-TUNDISI, Takako. **Recursos hídricos no século XXI**. Oficina de Textos, 2011.

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