



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFCH
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE – PRODEMA**

SUZANA DE ARAÚJO SILVA

**ANÁLISE DAS INTERAÇÕES ENTRE VARIABILIDADE CLIMÁTICA E
COBERTURA DA TERRA NO REGIME HIDROLÓGICO DA BACIA
HIDROGRÁFICA INTERESTADUAL DO RIO MUNDAÚ
(PERNAMBUCO/ALAGOAS)**

**RECIFE
2020**

SUZANA DE ARAÚJO SILVA

**ANÁLISE DAS INTERAÇÕES ENTRE VARIABILIDADE CLIMÁTICA E
COBERTURA DA TERRA NO REGIME HIDROLÓGICO DA BACIA
HIDROGRÁFICA INTERESTADUAL DO RIO MUNDAÚ
(PERNAMBUCO/ALAGOAS)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Lúcia Bezerra Candeias

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Dantas Moreira Gomes;

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Werônica Meira de Souza

**RECIFE
2020**

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

S586a Silva, Suzana de Araújo.
Análise das interações entre variabilidade climática e cobertura da terra no regime hidrológico da Bacia Hidrográfica Interestadual do Rio Mundaú (Pernambuco/Alagoas) / Suzana de Araújo Silva. – 2020.

152 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Lúcia Bezerra Candeias.

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Dantas Moreira Gomes.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Werônica Meira de Souza.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2020.

Inclui referências.

1. Gestão ambiental. 2. Recursos naturais. 3. Bacias hidrográficas. 4. Mudanças climáticas. I. Candeias, Ana Lúcia Bezerra (Orientadora). II. Gomes, Daniel Dantas Moreira (Coorientador). III. Souza, Werônica Meira de (Coorientadora). IV. Título.

363.7 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2020-159)

SUZANA DE ARAÚJO SILVA

**ANÁLISE DAS INTERAÇÕES ENTRE VARIABILIDADE CLIMÁTICA E
COBERTURA DA TERRA NO REGIME HIDROLÓGICO DA BACIA
HIDROGRÁFICA INTERESTADUAL DO RIO MUNDAÚ
(PERNAMBUCO/ALAGOAS)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: 05 / 03 / 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Ana Lúcia Bezerra Candeias (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof.^a Dr.^a Maria do Carmo Martins Sobral (Examinadora interna)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Dr.^a Janaina Maria Oliveira de Assis (Examinadora interna)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima (Examinador externo)
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza (Examinador externo)
Universidade Federal de Alagoas - UFAL

Ao meu filho Salomão que cresce em meu ventre, desde o último mês do doutorado. Esteve silencioso e discreto na minha barriga durante a defesa. Me surpreendeu com a descoberta de sua existência alguns dias depois. Me conecta profundamente com os ciclos da natureza e me faz transbordar de amor, alegria, beleza, coragem e criatividade. Dedico!

AGRADECIMENTOS

Aos bons espíritos que me acompanham, me aconselham e me protegem desde meu primeiro respirar até aqui, me orientando em cada tempo e momento da vida para cumprir minha missão e seguir os caminhos que me levem a evolução como ser humano, em todos os aspectos que essa experiência terrestre me possibilite vivenciar, através de todos os contrastes e desafios que a vida apresenta a cada dia, e que deles aprendo continuamente e obtenho, através dos estudos, da meditação e do silêncio, sabedoria e compreensão.

Ao meu esposo, companheiro e melhor amigo Pedro Evânio, que compartilha cotidianamente comigo vivências que me constroem, que me destroem e que me transformam. Obrigado por todos os abraços apertados nas horas difíceis, pelas incontáveis alegrias cotidianas, pelos sonhos conjuntos, pelo afeto inigualável, por dividir pensamentos, aprendizagens e sentimentos que tanto me fizeram e me fazem bem e sobretudo pelo amor que nos une e que faz a vida valer a pena em qualquer tempo e lugar.

Aos meus pais Miguel e Lourdes que me ensinaram desde cedo sobre coragem, resistência, honestidade e perseverança. E por terem escolhido sair da cidade e viverem no campo junto a natureza e sua rica biodiversidade, onde desde muito cedo tive acesso a milhares de formas de vida e pude tocar, olhar e cheirar o que viria a ser depois minha área de estudo, pesquisa e profissão. Aprendi imensamente desde criança, ‘investigando’ a natureza, sobre o que mais tarde viria a (re)descobrir através da teoria e da técnica.

Aos meus irmãos e irmãs Wagner, Edvânia, Clayton, Rosália, Jussara e Jaciana por dividirem desde o começo da vida e ao decorrer dela, as aventuras e descobertas junto a vida no campo, os afetos, a cumplicidade, o amadurecimento, o carinho, a alegria e os sonhos que permeiam e dão sentido a existência fraterna.

Ao meu avô Enoque (*in memória*), por ter me incentivado aos estudos, a descoberta do mundo e a autonomia. Aprendeu a ler sozinho e sem nunca ter frequentado uma escola, passou a vida inteira incentivando seus descendentes a estudar. Já em seus dias finais, sonhou que frequentava uma Universidade e se emocionou contando e sorrindo.

A minha orientadora Prof.^a Dr.^a Ana Lúcia, por ter aceitado desde o primeiro momento me orientar, me enchendo de coragem e confiança a cada dificuldade surgida ao decorrer do curso e da pesquisa. Com você aprendi não só sobre ciência, mas, sobre ser mais humana. Sua generosidade, carinho e amizade é a parte que fortalece, enobrece e dignifica qualquer jovem cientista.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Daniel Dantas, pelo incentivo e apoio na vida profissional e pelos diálogos que me estimularam na busca pela excelência das pesquisas realizadas nas ciências ambientais especialmente pelo saber compartilhado sobre a minha área de estudo.

À banca avaliadora que dispôs de seu precioso tempo e conhecimento acumulado ao longo de várias décadas, pelas contribuições que enriquecem e aperfeiçoam essa pesquisa.

Aos meus amigos e amigas de longa e curta data. Os que conheci nas mais diferentes circunstâncias. Os que ainda mantenho contato e aqueles que a vida afastou e os levou por outros caminhos, que de algum modo contribuíram no debate e no amadurecimento no âmbito pessoal e profissional. Em especial ao meu amigo Fabiano Peixoto uma das mentes mais brilhantes que já conheci e um ser humano que possui qualidades raras em muitos aspectos.

A todos os professores e professoras que desde o início dessa jornada no conhecimento formal e científico contribuíram de algum modo para o meu crescimento profissional, durante a Educação Básica, a Graduação, o Mestrado e especialmente os professores e professoras do Doutorado PRODEMA, os quais me proporcionaram o debate e a reflexão acerca das questões ambientais, da vida acadêmica e científica.

Aos colegas do Doutorado PRODEMA, da minha turma e das outras turmas e lugares onde estive e dialoguei, principalmente aqueles que compartilharam comigo o ideal de um mundo saudável ambientalmente e socialmente justo e pelos debates e vivências ao longo do curso, especialmente a Rennyse Cruz, Janaina Vital, Ivo Neto e Walter Gallego.

A todos(as) os(as) discentes que tive a oportunidade de trocar ideias como professora de Geografia na Educação Básica, no Ensino Superior e na Pós-Graduação nas diferentes instituições onde trabalhei. Essas experiências muito contribuíram nos debates e no amadurecimento das primeiras ideias do que viria a ser essa tese, durante as aulas que ministrei sobre recursos hídricos e meio ambiente.

À Solange secretária do PRODEMA sempre solícita, dedicada e disposta a auxiliar.

À ANA, APAC, INMET, SEMARH, IBGE e INPE pela disponibilização de dados que foram fundamentais para a construção dessa pesquisa.

À Capes pela concessão da bolsa de estudos que foi fundamental para minha dedicação exclusiva na construção desse trabalho.

“Ficamos cientes de que, onde a técnica se choca com as leis da natureza, a natureza é que prevalece e domina.” (PRIMAVESI, 2017, p. 155)

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM) é muito importante para os estados de Pernambuco e Alagoas no Nordeste do Brasil, através dos seus 33 municípios, inseridos total ou parcialmente na bacia. Essa bacia tem apresentado diversos problemas como estiagens severas e cheias desastrosas. Esse trabalho objetivou analisar de forma integrada aspectos climáticos, de cobertura da terra, do regime hidrológico, do crescimento populacional, de degradação ambiental, das principais enchentes e dos principais usos da água dessa bacia, para compreender de que modo uns impactam nos outros e o que pode ser feito para um melhor gerenciamento dos recursos naturais da mesma. Para alcançar tais objetivos utilizou-se dados de diversas instituições, como ANA, APAC, INMET, SEMARH, IBGE, INPE, entre outras. Também foram utilizados documentos históricos de diversos jornais, blogs e sites, onde constam os discursos políticos diante de eventos catastróficos da bacia ao longo dos anos e como funciona a indústria das enchentes na mesma. Para manusear os dados, realizar as análises e chegar aos resultados foram utilizados alguns métodos como: Índice de Anomalia da Chuva (IAC) e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), além de técnicas estatísticas para análise de séries históricas e construção de gráficos que melhor pudessem expor os resultados, correlacionando-os. Alguns softwares também foram utilizados no processamento de dados, correções de imagens de satélites e construção de mapas diversos como: ArcGIS 10.4; Hidro 1.3; QGIS 2.4.0 e Excel. Foi verificado que a precipitação da bacia aumentou levemente ao longo dos 31 anos analisados, entre 1986 e 2016, porém não teve relação direta com o El-Niño Oscilação Sul (ENOS) nem com a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). O regime hidrológico da bacia apresentou boa correlação com a precipitação da mesma. A área com vegetação, detectada por sensoriamento remoto na bacia, para os anos de 1987, 2001 e 2011 ficou em torno de 53,3% com tendência de redução. Para resolver tais problemas, as medidas adotadas pelo poder público, tem sido medidas emergenciais e remediativas que oneram amplamente os cofres públicos e mantém em vulnerabilidade a população atingida já que não há planejamento de curto, médio e/ou longo prazo para resolvê-los de forma efetiva. Os maiores reservatórios de abastecimento da BHRM, correm risco iminente de eutrofização. Houveram algumas tentativas de criação do comitê, porém, as oscilações, instabilidades, alternâncias e desinteresses da maioria dos gestores políticos em âmbito municipal, estadual e federal tem afetado de forma negativa a criação e consolidação do mesmo, assim como a ausência nas reuniões de usuários de água da bacia. Caso medidas preventivas não sejam tomadas, a BHRM continuará vulnerável, podendo servir novamente de cenário de destruição material e de vidas

humanas. Espera-se que esse trabalho contribua de maneira profícua para uma melhor compreensão do sistema ambiental da BHRM, para um melhor gerenciamento dos recursos naturais e sobretudo uma melhor qualidade de vida da população que dessa bacia depende para viver e se desenvolver.

Palavras-chave: Variabilidade Climática. Regime Hidrológico. Cobertura da Terra. Gestão de Bacias Hidrográficas. Rio Mundaú. Indústria das Enchentes.

ABSTRACT

Mundaú River Basin (BHRM) is very important for the states of Pernambuco and Alagoas in Northeast Brazil, through its 33 municipalities, inserted totally or partially in the basin. This basin has presented several problems such as severe droughts and disastrous floods. This work aimed to analyze in an integrated way climatic aspect, land cover, hydrological regime, population growth, environmental degradation, the main floods and the main uses of water in this basin, to understand how some impact on others and the that can be done to better manage its natural resources. To achieve these objectives, data from several institutions were used, such as ANA, APAC, INMET, SEMARH, IBGE, INPE, among others. Historical documents from several newspapers, blogs and websites were also used, which contain political speeches in the face of catastrophic events in the basin over the years and how the flood industry works there. To handle the data, perform the analyzes and arrive at the results, some methods were used, such as: Rain Anomaly Index (IAC) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), in addition to statistical techniques for the analysis of historical series and construction of graphs that could best expose the results, correlating them. Some software was also used in data processing, correction of satellite images and construction of various maps such as: ArcGIS 10.4; Hydro 1.3; QGIS 2.4.0 and Excel. It was found that the rainfall in the basin increased slightly over the 31 years analyzed, between 1986 and 2016, but it had no direct relationship with the El-Niño Oscilação Sul (ENOS) nor with the Pacific Decadal Oscillation (ODP). The hydrological regime of the basin showed a good correlation with its precipitation. The area with vegetation, detected by remote sensing in the basin, for the years 1987, 2001 and 2011 was around 53.3% with a downward trend. In order to solve these problems, the measures adopted by the public authorities have been emergency and remedial measures that greatly burden public coffers and keep the affected population in vulnerability since there is no short, medium and / or long-term planning to solve them in a timely manner. effectively. BHRM's largest supply reservoirs are at imminent risk of eutrophication. There were some attempts to create the committee, however, the oscillations, instabilities, alternations and disinterest of most political managers at the municipal, state and federal levels have negatively affected the creation and consolidation of the same, as well as the absence in user meetings of water from the basin. If preventive measures are not taken, BHRM will remain vulnerable, and may once again serve as a scenario for material destruction and human lives. It is hoped that this work will contribute in a fruitful way to a better understanding of BHRM's environmental system, to a better

management of natural resources and, above all, to a better quality of life for the population that depends on this basin to live and develop.

Keywords: Climate Variability. Hydrological Regime. Land Cover. Watershed Management. River Mundaú. Floods Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da BHRM.....	34
Figura 2 – Clima da BHRM.....	35
Figura 3 – Precipitação da BHRM.....	36
Figura 4 – Vegetação da BHRM.....	37
Figura 5 – Geomorfologia da BHRM.....	38
Figura 6 – Altitude da BHRM.....	39
Figura 7 – Aspectos Físico-Naturais da BHRM.....	41
Figura 8 – Precipitações Médias Anuais (1986 - 2016)	51
Figura 9 – Precipitação Média de Janeiro (1986 - 2016)	53
Figura 10 – Precipitação Média de Fevereiro (1986 - 2016)	54
Figura 11 – Precipitação Média de Março (1986 - 2016)	55
Figura 12 – Precipitação Média de Abril (1986 - 2016)	56
Figura 13 – Precipitação Média de Maio (1986 - 2016)	57
Figura 14 – Precipitação Média de Junho (1986 - 2016)	58
Figura 15 – Precipitação Média de Julho (1986 - 2016)	59
Figura 16 – Precipitação Média de Agosto (1986 - 2016)	60
Figura 17 – Precipitação Média de Setembro (1986 - 2016)	61
Figura 18 – Precipitação Média de Outubro (1986 - 2016)	62
Figura 19 – Precipitação Média de Novembro (1986 - 2016)	63
Figura 20 – Precipitação Média de Dezembro (1986 - 2016)	64
Figura 21 – Precipitação Média do 1º Quadrimestre (1986 - 2016)	66
Figura 22 – Precipitação Média do 2º Quadrimestre (1986 - 2016)	67
Figura 23 – Precipitação Média do 3º Quadrimestre (1986 - 2016)	68
Figura 24 – Localização e vazão dos postos fluviométricos da BHRM.....	80
Figura 25 – Área de drenagem de cada posto fluviométrico da BHRM.....	82
Figura 26 – Impacto da construção de reservatórios na BHRM.....	85
Figura 27 – Área de drenagem de dois reservatórios da BHRM.....	90
Figura 28 – Reservatório Mundaú II (Cajueiro).....	91
Figura 29 – Análise da eutrofização das águas do reservatório Mundaú I, a partir de SR.....	93
Figura 30 – Áreas de drenagens dos reservatórios Mundaú I e II.....	94
Figura 31 – Vegetação pretérita da BHRM.....	97
Figura 32 – NDVI da BHRM em 1987.....	99

Figura 33 – NDVI da BHRM em 2001.....	100
Figura 34 – NDVI da BHRM em 2011.....	101
Figura 35 – Variabilidade espaço-temporal da vegetação na BHRM.....	102
Figura 36 – NDVI da BHRM delimitado em Santana do Mundaú (AL).....	104
Figura 37 – NDVI da BHRM delimitado em São José da Laje (AL).....	105
Figura 38 – NDVI da BHRM delimitado em União Dos Palmares (AL).....	106
Figura 39 – NDVI da BHRM delimitado em Murici (AL).....	107
Figura 40 – NDVI da BHRM delimitado em Rio Largo (AL).....	108
Figura 41 – Degradação ambiental do Rio Canhoto, importante Afluente do Rio Mundaú.....	110
Figura 42 – Enchente ocorrida em São José da Laje (AL), em 1969.....	114
Figura 43 – Enchente na bacia do Rio Canhoto em 2010, importante afluente do Mundaú.....	116
Figura 44 – Enchente da BHRM, ocorrida em municípios alagoanos em 2010.....	118
Figura 45 – Tipos de captação das águas outorgadas em 2016 na BHRM.....	122
Figura 46 – Tipos de usos outorgados na BHRM em 2016.....	124
Figura 47 – Finalidades de usos da BHRM.....	125
Figura 48 – Volumes de captação e lançamentos na BHRM.....	127
Figura 49 – Alternativa A de gestão da BHRM, sugerida pelo PDRH.....	134
Figura 50 – Alternativa B de gestão da BHRM, sugerida pelo PDRH.....	135

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Precipitação Média Mensal da BHRM (1986 – 2016).....	70
Gráfico 2 – Precipitação Média Anual da BHRM (1986 - 2016).....	71
Gráfico 3 – Índice de Anomalia da Chuva da BHRM (1986 - 2016).....	72
Gráfico 4 – Oscilação Decadal do Pacífico - ODP (1986 - 2016).....	73
Gráfico 5 – Relação entre o IAC e a ODP (1986 - 2016).....	73
Gráfico 6 – Correlação entre IAC e ODP (1986 - 2016).....	74
Gráfico 7 – Índice de Anomalia da Chuva para Pernambuco (1986 - 2016).....	75
Gráfico 8 – Índice de Anomalia da Chuva para Alagoas (1986 - 2016).....	76
Gráfico 9 – Tendência de precipitação total anual da BHRM.....	77
Gráfico 10 – Tendência de vazões médias da BHRM.....	78
Gráfico 11 – Impacto da precipitação na vazão da BHRM.....	78
Gráfico 12 – Comparação da vazão entre postos fluviométricos da BHRM.....	79
Gráfico 13 – Análise do impacto da construção de reservatórios na BHRM	84
Gráfico 14 – População absoluta e estimada dos municípios que compõe a BHRM.....	86
Gráfico 15 – Comparação entre crescimento populacional e vazão da BHRM.....	87
Gráfico 16 – Captação de Água na BHRM.....	128
Gráfico 17 – Captação de Água em Pernambuco e Alagoas (%).....	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Postos pluviométricos distribuídos na BHRM e utilizados nessa pesquisa.....	42
Tabela 2 – Postos fluviométricos distribuídos na BHRM e utilizados nessa pesquisa.....	45
Tabela 3 – Municípios selecionados para a análise do crescimento populacional da BHRM....	46
Tabela 4 – Ocorrências de ENOS entre 1986 – 2016.....	72
Tabela 5 – Dados de qualidade das águas dos reservatórios Mundaú I e II.....	95
Tabela 6 – Tipos de usos da água da BHRM.....	129
Tabela 7 – Esquema proposto no PDRH sobre as quatro Unidades de Gestão.....	130
Tabela 8 – Esquema proposto no PDRH sobre as duas grandes Unidades de Gestão.....	131

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Área Com Vegetação
ASV	Área Sem Vegetação
AL	Alagoas
ANA	Agência Nacional de Águas
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Climas
AT	Atlântico Tropical
BHRM	Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CELMM	Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Mangaba
CF	Constituição Federal
CNUMA	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ENOS	El-Niño Oscilação Sul
IAC	Índice de Anomalia da Chuva
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Inverse Distance Weighting
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	International Panel on Climate Change
NEB	Nordeste Brasileiro
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
MME	Ministério das Minas e Energia
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
PDI	Processamento Digital de Imagens
PDRH	Plano Diretor de Recursos Hídricos
PE	Pernambuco
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico
QGIS	Quantum GIS
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SEMARH	Secretaria de meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVO GERAL.....	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3	REVISÃO DE LITERATURA	22
3.1	A BACIA HIDROGRÁFICA: UM SISTEMA AMBIENTAL.....	22
3.2	MUDANÇAS E VARIABILIDADES CLIMÁTICAS	24
3.3	COBERTURA E USO DA TERRA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS	26
3.4	GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	28
4	METODOLOGIA	33
4.1	ÁREA DE ESTUDO DA BHRM	33
4.2	VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO.....	42
4.2.1	Dados utilizados	42
4.2.2	Variabilidade Espacial da Precipitação	43
4.2.3	Variabilidade Temporal da Precipitação	43
4.2.4	Índice de Anomalia da Chuva (IAC)	43
4.3	CARACTERIZAÇÃO DO REGIME HIDROLÓGICO.....	44
4.3.1	Dados utilizados	44
4.3.2	Crescimento populacional da BHRM	45
4.3.3	Análise de alguns reservatórios da bacia	46
4.4	COBERTURA VEGETAL DA BHRM	47
4.4.1	Vegetação Pretérita da BHRM	47
4.4.2	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)	47
4.5	GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DA BHRM	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1	VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO.....	48

5.1.1	Variabilidade espacial da precipitação.....	48
5.1.2	Variabilidade temporal da precipitação.....	69
5.2	REGIME HIDROLÓGICO DA BHRM	76
5.2.1	Variabilidade do regime hidrológico	76
5.2.2	Crescimento populacional e regime hidrológico	86
5.2.3	Impacto da construção de reservatórios sobre o regime hidrológico da BHRM.....	88
5.3	COBERTURA VEGETAL DA BHRM.....	96
5.3.1	Análise espaço-temporal da vegetação na BHRM	96
5.3.2	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)	98
5.3.3	Degradação Ambiental da BHRM.....	108
5.4	A INDÚSTRIA DAS ENCHENTES DA BHRM	111
5.4.1	A enchente de 1969 da BHRM em Alagoas	111
5.4.2	A enchente de 2010 da BHRM em Pernambuco	115
5.4.3	A enchente de 2010 da BHRM em Alagoas	117
5.5	GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ.....	121
5.5.1	Os principais usos da água da BHRM.....	121
5.5.2	O Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú.....	130
5.5.3	A criação do Comitê da Bacia do Rio Mundaú: avanços e desafios	133
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	141
	REFERÊNCIAS	145

1 INTRODUÇÃO

Os estudos de bacias hidrográficas, devem sempre considerar a delimitação territorial como um sistema ambiental. Os processos atmosféricos e terrestres que estão inseridos num ciclo hidrológico de uma bacia, são compostos por diversos elementos que em diferentes combinações causam impactos diretos e indiretos sobre a quantidade e qualidade das águas de uma bacia.

A Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM) é de grande importância para os estados de Pernambuco e Alagoas através dos seus 33 municípios, inseridos total ou parcialmente na bacia. Essa bacia tem apresentado diversos problemas, como estiagens severas e cheias desastrosas.

Diversas pesquisas foram realizadas caracterizando aspectos distintos da BHRM como: aspectos climáticos e agroeconômicos (DA SILVA, 2009), análises de cheias (FRAGOSO JR. et al, 2010), aspectos morfométricos (GOMES, 2014), problemática socioambiental das nascentes (SOARES, 2015), zoneamento de sistemas ambientais (GOMES, 2015), variabilidade espaço-temporal da precipitação (SILVA et al, 2018), entre outros.

Ao analisar tais estudos ficou evidenciado a necessidade de análises conjuntas, ou seja, de considerar os diversos aspectos que influenciam a bacia em sua complexidade e integralidade.

No Capítulo 1 foi caracterizado a variabilidade espaço-temporal da precipitação da BHRM ao longo de 31 anos. Mapeia a distribuição espacial da chuva, caracterizando as regiões com maior e menor incidência de precipitação ao longo do tempo, assim como aponta a enorme heterogeneidade entre regiões no que tange a quantidade de água precipitada ao longo do tempo. Verifica a influência do fenômeno climático El-Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre as chuvas da bacia e o Índice de Anomalia da Chuva (IAC).

No Capítulo 2 foi analisado o impacto que a variabilidade da precipitação tem sobre o regime hidrológico da bacia, correlacionando-os. Compara o crescimento demográfico da bacia com a vazão, para o mesmo período. Também analisa o impacto que a construção de um reservatório teve sobre a regularização da vazão dessa bacia, assim como aponta a necessidade de medidas conservacionistas para a prevenção de cheias. Ainda nesse capítulo é feita uma análise da qualidade das águas dos mais importantes reservatórios de abastecimento da BHRM a partir de imagens de satélite e de dados da Agência Nacional das Águas (ANA).

No Capítulo 3 foi mapeada e caracterizada a cobertura vegetal da BHRM, através da Vegetação Pretérita e do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Analisa as

mudanças ocorridas na cobertura vegetal em três diferentes momentos: 1987, 2001 e 2011. Também caracteriza o percentual das Áreas Com Vegetação e Sem Vegetação na BHRM.

Nesse capítulo também são feitas algumas reflexões sobre o impacto que a cobertura vegetal pode ter no regime hidrológico dessa bacia, já que diferente da precipitação que tem suas causas distantes da BHRM, a cobertura da terra pode ser gerenciada na própria bacia, podendo contribuir para a amenização dos impactos nos ciclos alternados de estiagens e cheias na região.

No capítulo 4 foi realizada uma análise das principais enchentes que ocorreram ao longo do tempo e que se tem registro histórico na BHRM, em Pernambuco e Alagoas. Considera como funciona a “Indústria das Enchentes” na bacia, desenvolvendo uma discussão sobre danos socioambientais e econômicos e sobre as imensas verbas emergenciais destinadas aos gestores públicos para lidar com os desastres de forma paliativa sem uma autêntica resolução do problema de forma efetiva.

E por fim, no Capítulo 5, refletiu-se sobre a gestão dos recursos hídricos na BHRM, analisando os diferentes usos de águas na mesma, os tipos de captação e lançamento entre os estados de Pernambuco e Alagoas.

Ao final, foram analisados nesse capítulo os ensaios de construção de uma gestão descentralizada e participativa na bacia, desde a criação do Plano Diretor de Recursos Hídricos, construído em 1999, até as tentativas de criação do Comitê em 2017, 2018 e 2019. Analisou-se os discursos políticos, os entraves e dificuldades para a gestão democrática e participativa entre os estados de Pernambuco e Alagoas e apontou-se sugestões para concretização dessa que é até o atual momento, a forma mais completa de gerir as bacias hidrográficas no Brasil. Sugere adequação no gerenciamento dos recursos hídricos e naturais dessa bacia.

Partindo do conhecimento que já foi suscitado por outros pesquisadores sobre essa bacia, e buscando ampliar e aprofundar esses saberes, essa pesquisa objetivou analisar aspectos climáticos, de cobertura da terra, do regime hidrológico e dos diferentes usos das águas dessa bacia, para compreender de que modo uns impactam nos outros e como podem ser melhor gerenciados os recursos hídricos da mesma.

Espera-se que esse trabalho contribua de maneira profícua para uma melhor compreensão do sistema ambiental da BHRM, para um melhor gerenciamento dos recursos naturais e sobretudo uma melhor qualidade de vida da população que dessa bacia depende para viver e se desenvolver.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as interações entre a variabilidade climática e a cobertura da terra no regime hidrológico da bacia hidrográfica do rio Mundaú e caracterizar os diferentes usos da água da bacia assim como os avanços e desafios para o desenvolvimento da gestão hídrica da mesma.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Avaliar a variabilidade espaço-temporal das precipitações na bacia hidrográfica do rio Mundaú;
- ✓ Caracterizar o regime hidrológico da bacia hidrográfica do rio Mundaú;
- ✓ Mapear a cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Mundaú em diferentes escalas espaço-temporais;
- ✓ Analisar as principais enchentes ocorridas na bacia hidrográfica do rio Mundaú;
- ✓ Classificar os diferentes usos da água da bacia hidrográfica do rio Mundaú;
- ✓ Discutir os avanços e desafios para implementação da gestão democrática e participativa dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Mundaú.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A BACIA HIDROGRÁFICA: UM SISTEMA AMBIENTAL

Objeto de estudo em diversas áreas do conhecimento, a bacia hidrográfica, tornou-se termo recorrentemente utilizado de forma vasta em estudos cada vez mais diversificados nas ciências ambientais. Ganhou maior enfoque nos últimos anos devido à necessidade de se conhecer em profundidade os processos que interferem no excesso ou na escassez hídrica que afeta direta ou indiretamente o funcionamento e a manutenção da vida na Terra.

Adotada como unidade de gestão territorial, planejamento e aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei 9.433/97, a bacia hidrográfica ultrapassou as barreiras políticas tradicionais (municípios, estados, países) para uma unidade física de gerenciamento, planejamento e desenvolvimento econômico e social (Tundisi, 2003).

Sua conceituação varia desde a simplista definição de uma área drenada por um rio principal e seus afluentes até conceituações mais precisas e detalhadas, segundo uma abordagem sistêmica (Machado & Torres, 2012).

A bacia hidrográfica foi conceituada por Garcez & Alvares (1988), como sendo “uma área definida e fechada topograficamente num ponto do curso de água, de forma que toda a vazão afluente possa ser medida ou descarregada através desse ponto”. Para Coelho Netto (2007) ela é: “uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial”.

Segundo Botelho e Silva (2014, p. 153), “a visão sistêmica e integrada do ambiente está implícita na adoção desta unidade fundamental”, permitindo assim, analisar seus diversos processos e interações de modo conjunto.

Para Tucci (2014, p. 41), “a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório”. Nesta mesma perspectiva Collischonn & Tassi (2011), concordam com essa definição sistêmica e complementam que a bacia hidrográfica transforma uma entrada concentrada no tempo (precipitação) em uma saída relativamente distribuída no tempo (escoamento).

Segundo Capra (2006, p. 33): “Os pioneiros do pensamento sistêmico foram os biólogos, que enfatizavam a concepção dos organismos vivos como totalidades integradas”. Dentre esses, destaca-se Ludwig von Bertalanffy com a sua Teoria Geral dos Sistemas que teve seus primeiros enunciados entre 1925-1926 e foi apresentada de forma organizada em 1937.

Bertalanffy em sua teoria, sugeriu que certos “princípios gerais” e conceitos sistêmicos poderiam ser aplicados a diferentes áreas do saber, em oposição à ciência clássica: mecanicista, reducionista e disciplinar. Para Bertalanffy (2015, p.64): “todo organismo vivo é essencialmente um sistema aberto” que “pode ser definido como um complexo de elementos em interação” (Idem, ibidem., p. 84). O autor ainda acrescenta que: “(...) o sistema, portanto comporta-se como um *todo*, no qual as variações de qualquer elemento dependem de todos os outros” (Idem, ibidem, p. 97).

Segundo Christofolletti (2014), o conceito de *sistemas* na Geografia foi introduzido primeiramente na Geomorfologia, por Chorley (1962), e vários aspectos dessa abordagem foram considerados por Christofolletti (1979), Strahler (1980), Hugger (1985) e Scheidegger (1991).

Entretanto, a ciência sistêmica demonstra que os sistemas não podem ser compreendidos através das partes, pois estas não são propriedades intrínsecas, mas só podem ser entendidas dentro do contexto do *todo* maior (Christofolletti, 2014).

A análise sistêmica procura compreender o conjunto mais que as suas partes e sugere que o *todo* é maior que a somatória das propriedades e relações de suas partes, pois surgem novas propriedades que não emergem do conhecimento das suas partes constituintes (Christofolletti, 1999).

A bacia hidrográfica pode ser caracterizada como um sistema dinâmico, complexo e não-linear, não sendo possível determinar com exatidão as respostas resultantes de cada impulso provocado dentro desse sistema, sendo possível apenas estimar o comportamento resultante de interações entre os elementos que a compõe e simular cenários, conforme a capacidade de representação e análise dos diversos elementos que a constitui.

Um sistema complexo pode ser definido como sendo composto por grande quantidade de componentes interatuantes, capazes de intercambiar informações com seu entorno condicionante e capazes, também, de adaptar sua estrutura interna como sendo consequências ligadas a tais interações (Christofolletti, 1999).

Segundo Tricart (1977, p. 85), “O conceito de sistema é, atualmente, o melhor instrumento lógico de que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente”, pois, “segundo o enfoque sistêmico pesquisado, examina-se não como algo imóvel, mas como um objeto que muda constantemente, devido o metabolismo de suas partes inter-relacionadas em um *todo* integral” (Rodriguez, et al., 2004).

Nesta perspectiva a bacia hidrográfica sendo considerada um sistema ambiental insere e está inserida em sistemas maiores e menores; em âmbito maior: insere sub-sistemas que

correspondem as sub-bacias – bacias menores-, assim como também está inserida em bacias maiores, regiões hidrográficas, biomas e no sistema global, em nível máximo.

A bacia hidrográfica é um sistema ambiental aberto, onde recebe e transmite matéria e energia, e todos os elementos que a compõe (solo, vegetação, clima, água, etc.) exercem funções essenciais para o equilíbrio desse sistema, fazendo-se necessário compreender o papel de cada um deles individualmente e principalmente das suas devidas interações conjuntas.

Torna-se indispensável também considerar os impactos das ações antrópicas sobre esse sistema e como o ser humano altera-o, assim como analisar quais consequências advém destas ações para o mesmo, haja vista que a análise de bacias hidrográficas apenas do ponto de vista biológico (físico) seria no mínimo insatisfatório e longe de atender a necessidade de compreensão da realidade hodierna.

3.2 MUDANÇAS E VARIABILIDADES CLIMÁTICAS

Segundo o International Panel on Climate Change - IPCC, tem-se observado a nível global, um aumento gradual de temperatura no planeta, isso tem gerado uma preocupação pertinente com as ocorrências de eventos extremos de enchentes e secas, registrados em todo o mundo (IPCC, 2014).

Existem discussões sobre as causas desse aumento de temperatura, a nível global, as que divergem entre a responsabilidade antrópica (MARENCO, 2009), e as causas naturais que não dependem do homem, como as manchas solares e a erupção de vulcões que ciclicamente ocorrem (MOLION, 2005) ou ainda as causas incertas (TUCCI, 2005).

Nesse sentido, a observação e análise científica a nível global e também local, tem aperfeiçoado e esclarecido de forma crítica e contínua as análises das variabilidades do clima e como isso afeta a humanidade.

Para estudos mais aprofundados é necessário fortalecer o conhecimento a priori com os bancos de dados ao longo de muitos anos para que se possa compreender em que escalas se dão esses ciclos e quais suas origens.

Também é fundamental a compreensão de como suas múltiplas facetas se entrelaçam de forma sistêmica (CHRISTOFOLETTI, 1999; BERTALANFFY, 2015).

O Brasil, sendo um país de imensas dimensões territoriais, tem diferentes condições climáticas assim como distintos problemas relacionados ao excesso ou escassez hídrica. Atualmente o maior problema é a escassez relativa (MACHADO & TORRES, 2012), pois

mesmo nos lugares onde a quantidade de água é suficiente para os distintos usos, sua qualidade é por vezes insuficiente para os mesmos.

O Nordeste Brasileiro (NEB), ao longo de séculos, enfrenta problemas de escassez hídrica e muito se tem discutido sobre causas e soluções para lidar com as secas recorrentes que afetam de modo profundo o desenvolvimento econômico e social da população nordestina (ANDRADE, 2005).

Levando em consideração os aspectos climatológicos do NEB, área considerada de alto risco as mudanças climáticas (MARENGO & DIAS, 2006; MARENGO, 2009), pesquisas têm sido realizadas no intuito de compreender quais fenômenos afetam os sistemas climáticos e o regime de chuvas (UVO, 1998; KAYANO & ANDREOLI, 2004, 2007, 2009; GONZALES *et al.* 2013; PAREDES, BARBOSA & GUEVARA, 2015; NÓBREGA, SANTIAGO & SOARES, 2016; MARENGO *et al.*, 2018).

Outros trabalhos mais específicos têm trazido importantes contribuições para compreensão do clima desde o litoral, mata, agreste e sertão pernambucanos (SILVA, MONTENEGRO & SOUZA, 2017; BARBOSA *et al.*, 2016; RODRIGUES *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2017; FERREIRA. *et al.*, 2017); agreste, mata e litoral paraibano (ARAÚJO, MORAES NETO & SOUSA, 2009; ÁVILA & BRITO, 2015; ARAÚJO & DA SILVA, 2011; CHAGAS NETO & ARAÚJO, 2017), ao litoral cearense (ANDREOLI *et al.*, 2004), entre outros.

Esses trabalhos locais têm contribuído principalmente no sentido de correlacionar as variabilidades pluviométricas locais, com os sistemas globais, especialmente com o El-Niño/Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) entre outros fenômenos, utilizando índices climáticos e gerando um conhecimento mais aprofundado para a área estudada que pode ser aplicado ao desenvolvimento regional de forma mais profícua.

É importante salientar que os estudos sobre o clima têm grande relevância em todas as escalas (micro, meso e macroescalas). É fundamental correlacionar os dados de diferentes regiões, em diferentes escalas (espaço-temporais).

Torna-se fundamental também observar atentamente as semelhanças e diferenças em diferentes escalas (espaço-temporais), para que não se utilize de forma viciosa de generalizações grosseiras e superficiais que pouco contribuem para o desenvolvimento regional e atrasa o entendimento sobre os diferentes climas e suas variabilidades, em suas especificidades e nas suas correlações com o todo.

3.3 COBERTURA E USO DA TERRA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

O estudo da cobertura e uso da terra de bacias hidrográficas tem se tornado fundamental para o planejamento de diversas atividades humanas e a avaliação de impactos que geram no regime hidrológico.

Segundo Rocha e Tommaselli (2012, p.70) “o desmatamento ou o desflorestamento exerce considerável efeito nas perdas de água”. Esses efeitos geralmente estão associados aos processos de infiltração, escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo, assim como ao amortecimento do impacto das precipitações sobre a erosão mecânica do solo ou a erosão química (FERNANDES, NOLASCO e MORTATTI, 2009).

O desmatamento de áreas florestadas acarretará um impacto diferenciado conforme o tipo de vegetação, clima e solo. Segundo Bayer (2014, p. 5): “A consequência do desmatamento é uma redução da evapotranspiração e o aumento do escoamento superficial”.

Num primeiro estágio ocorre um aumento na vazão média, com redução da evapotranspiração, devido à retirada da cobertura. Segundo Tucci (2005), com o crescimento da vegetação o balanço tende a voltar às condições iniciais, devido à recuperação de suas condições prévias. Porém é necessário observar que essas condições prévias geralmente não ocorrem numa bacia hidrográfica desmatada/desflorestada, ao menos num tempo em que o ser humano possa medir.

É necessário ainda compreender que o fato do desmatamento aumentar a vazão e o reflorestamento a diminuir (BAYER, 2014), deve ser analisado em diferentes escalas de tempo. Nem sempre o aumento da vazão pode ser considerado algo benéfico à população residente na bacia (mesmo aquela que ocupa bacias do semiárido), pois esse aumento de vazão pode ocorrer de forma concentrada em um curto espaço de tempo, transformando essa vazão em enxurradas calamitosas e perigosas.

O reflorestamento tenderá a reduzir os picos de vazão, distribuindo o escoamento ao longo de um tempo muito maior, fazendo com que a água da chuva seja infiltrada no solo, gerando uma vazão distribuída e acertadamente mais proveitosa para os diversos usos que a população assim faz dela, ao longo de todo o ano.

O reflorestamento também preserva a fertilidade do solo e a qualidade das águas, reduzindo o assoreamento e a eutrofização dos cursos de água.

A existência ou retirada da cobertura vegetal assim como os diversos usos do solo, tem um impacto direto sobre o escoamento superficial, porém, quanto à precipitação Tucci (2005), afirma que “o sistema climatológico local depende muito pouco da evaporação da superfície da

área. Quando a precipitação local é dependente principalmente dos movimentos de massas de ar globais, o efeito da alteração da cobertura é mínimo”.

O Manual Técnico de Uso da Terra desenvolvido pelo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2013), realiza uma diferenciação entre *uso da terra* e *cobertura da terra*.

Segundo o IBGE (2013), o uso da terra é “(...) uma série de operações desenvolvidas pelos homens, com a intenção de obter produtos e benefícios, através do uso dos recursos da terra (...)” e “(...) está relacionado com a função socioeconômica(...)” (id, ibid, p. 43-44), já a cobertura da terra é definida como “(...) os elementos da natureza como a vegetação (natural e plantada), água, gelo, rocha nua, areia e superfícies similares, além das construções artificiais criadas pelo homem que recobrem a superfície da terra (...)”(id, ibid, p. 44).

Através das atuais ferramentas de Processamento Digital de Imagens (PDI) e Sensoriamento Remoto (SR) é possível avaliar os diferentes tipos de uso e cobertura da terra e assim planejar o seu melhor aproveitamento e gerenciamento.

O SR tem servido de grande suporte para estudos de detecção de mudanças na cobertura vegetal e uso da terra ao longo do tempo. Importantes contribuições nesse sentido têm sido somadas, ampliadas e aperfeiçoadas, tendo grande destaque alguns trabalhos essenciais como Jensen (2011), Novo (2010), Ponzoni e Shimabukuro (2009) entre outros.

O conjunto de técnicas desenvolvidas no SR podem oferecer resultados extremamente eficientes, com respostas rápidas e baixo custo comparado a outras técnicas mais tradicionais, principalmente em grandes áreas, como é o caso das bacias hidrográficas.

Com as técnicas de SR e PDI pode-se analisar uma determinada região sob o aspecto temporal, espacial, espectral e radiométrico. A escala de representação dos produtos depende do contexto a ser analisado. Por exemplo, para escala municipal utiliza-se sensores com média resolução espacial. Para um detalhamento maior da área é necessário imagens de alta resolução ou voos com VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado).

Já no âmbito de médias e grandes bacias hidrográficas os trabalhos se tornam mais complexos, exigindo maior esforço, principalmente nas bacias hidrográficas localizadas em regiões mais úmidas, ou que perpassa áreas úmidas como é o caso da parte baixa da BHRM, localizada próxima ao litoral alagoano.

Essas áreas mais úmidas, geralmente apresentam nuvens, dificultando a análise e interpretação visual dos alvos. Porém, é necessário considerar que sendo a bacia hidrográfica um sistema ambiental onde aspectos como cobertura e uso da terra impactam no regime hidrológico, torna-se mais do que necessário buscar soluções através de técnicas que abarquem

os diferentes tipos de bacias hidrográficas para que se possam fazer esse tipo de análise no nível de bacia hidrográfica e não apenas na escala dos municípios.

Dentre os diversos usos e coberturas da terra capazes de serem detectados por SR o estudo da vegetação tem sido bastante valorizado. Segundo Eckhardt, Silveira e Rempel (2013, p.151): “É um elemento do meio natural muito sensível as condições e tendências da paisagem, reagindo distinta e rapidamente às variações”.

Métodos e técnicas bastante eficientes têm se desenvolvido no SR para estudos da vegetação entre os diferentes índices para caracterizar os inúmeros tipos de vegetação destacam-se na literatura científica o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*), desenvolvido por Rouse et al., em 1973.

De modo geral, o NDVI mede a vegetação fotossinteticamente ativa, registrando a resposta, no intervalo de valores de -1 à 1 (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009). No NDVI tem-se que quanto mais próximos os valores a 1, tem-se áreas com vegetação densa.

Analisar as alterações temporais na vegetação de uma bacia hidrográfica de forma conjunta com outros aspectos hidrológicos como precipitação e vazão pode trazer uma compreensão mais ampla sobre os sistemas ambientais da bacia, seu nível de degradação, sua correlação com o regime hidrológico e utilizar essas informações para melhor gerir os recursos naturais da mesma.

3.4 GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Nas últimas décadas os debates e as preocupações acerca das questões ambientais ficaram mais evidentes em todo o mundo, ganhando espaço na academia e na sociedade em geral, principalmente após as décadas de 60 e 70.

Nas frequentes e importantes reuniões e conferências internacionais, como a RIO+20 ocorrida no Rio de Janeiro em junho de 2012, por exemplo, nota-se uma necessidade cada vez maior do fortalecimento da gestão dos recursos naturais, principalmente dos recursos hídricos.

Diante dessas novas mudanças que sugerem uma aderência ao desenvolvimento sustentável, faz-se necessário uma nova forma de gestão sobre os recursos hídricos. A nova gestão deve integrar e abranger de forma sistêmica e estrategicamente bem articulada, os setores políticos, econômicos, sociais, culturais e ambientais.

A poluição de corpos d'água, secas e enchentes, têm trazido graves consequências para alguns segmentos da sociedade. Essas consequências vêm desafiando diversos estudiosos de variadas áreas do conhecimento a dar enfoque aos modelos de gestão com análise sistêmica

numa visão holística das bacias hidrográficas, e quando se trata de bacias interestaduais, como é o caso da bacia do rio Mundaú, o esforço dessa compreensão se amplifica ainda mais.

A gestão de recursos hídricos em bacias interestaduais como a do rio Mundaú, por exemplo, submete maior grau de complexidade em termos de gerenciamento. Além das dificuldades previsíveis existentes devido à multiplicidade de usos, ainda ocorre a possibilidade de conflitos entre os territórios. Nesse caso os estados de Pernambuco e Alagoas, já que ambos possuem suas particularidades físicas, sociais, políticas, econômicas e culturais que precisam ser articuladas conjuntamente em prol do benefício de toda a bacia.

Dentro dos novos paradigmas, a Agenda 21 recomendou para as décadas de 90 e anos futuros, o manejo holístico da água doce, tratada como um recurso finito e vulnerável, e a integração de planos e programas hídricos setoriais aos planos econômicos e sociais nacionais (CAMPOS, 2001).

Conforme o consenso em encontros internacionais sobre o assunto, essas medidas devem incluir: 1) uma visão abrangente de planejamento e gerenciamento que leve em conta os fatores físicos, econômicos, sociais e ambientais; 2) participação da sociedade nos processos de decisão e operação; 3) descentralização das decisões para os níveis mais baixos possíveis; 4) aumento de confiança nas técnicas de gestão da demanda e 5) proteção da qualidade das águas e dos ecossistemas aquáticos (Moigne et al, 1994).

A água antes considerada como recurso natural, renovável e abundante, hoje é considerada recurso finito. Inúmeras são as preocupações acerca desse recurso, pois a degradação hidroambiental em prol do desenvolvimento econômico sem o planejamento adequado a curto, médio e longo prazo e principalmente a deficiência da gestão atual nos diversos segmentos, tem levado muitos países a repensarem o valor da água e relacioná-la como fator mais importante para a qualidade de vida e desenvolvimento socioeconômico, buscando aderir a um planejamento adequado do uso e conservação desse recurso.

Planejamento, no conceito da ciência econômica, onde é bastante empregado, é a forma de conciliar recursos escassos e necessidades abundantes. Em recursos hídricos, o planejamento pode ser definido como conjunto de procedimentos organizados que visam ao atendimento das demandas de água, considerada a disponibilidade restrita desse recurso (BARTH et al, 1987, p.12).

Todavia, o planejamento de recursos hídricos reveste-se de especial complexidade, haja vista as peculiaridades expostas anteriormente.

Em 1920, no Brasil, foi criada a Comissão de Estudos de Forças Hidráulicas e em 1933, com a reformulação deste serviço, a Diretoria de Águas (LANNA, 1995). No ano de 1934

surge o Código das Águas, sendo este o primeiro marco legal para o gerenciamento de recursos hídricos no país.

Segundo Cruz (2001), a legislação teve como finalidade o estabelecimento de um regime jurídico das águas no Brasil. A partir dela, foram instituídas a classificação e utilização das águas, a definição do aproveitamento do potencial hidráulico e a fixação das limitações administrativas e do interesse público sobre os mananciais.

A principal preocupação do Código das Águas era resolver o conflito da quantidade, não se preocupando com a qualidade dos recursos hídricos (CAMPOS, 2001).

Em 1960 o governo brasileiro criou o Ministério das Minas e Energia e em 1972, após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, em Estocolmo, onde a questão ambiental ganhou destaque no cenário mundial, o Brasil, passou a se preocupar mais com as questões voltadas ao uso dos recursos hídricos.

No Brasil, a Constituição Federal de 1988, definiu as águas como bens públicos e colocou os corpos d'água sob os domínios Federal e Estadual. São considerados estaduais os rios que nascem e desaguam dentro do território de um mesmo Estado. Quando este ultrapassa as fronteiras do Estado, fica sob o domínio da União.

Em 8 de janeiro de 1997, é sancionada no Brasil a Lei 9.433, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH, estabelece meios legais e direciona a sociedade brasileira para um novo modelo de gestão de águas. A Lei, seguindo os rigores técnicos para o estabelecimento de uma Política, foi construída sobre os seis fundamentos a seguir:

1. O domínio das Águas;
2. O valor econômico;
3. Os usos prioritários;
4. Os usos múltiplos;
5. A unidade da gestão;
6. A gestão descentralizada.

Em 17 de julho de 2000, consolida-se a ampla reforma institucional do Setor de Recursos Hídricos, com a edição da Lei Federal nº 9.984, que cria a Agência Nacional de Águas – ANA. Vinculada ao Ministério do meio Ambiente – MMA e dotada de autonomia administrativa e financeira, a ANA tem como missão regular e disciplinar a utilização dos rios e lagos do domínio da União, assegurando água em quantidade e qualidade para usos múltiplos, e implementar a SINGREH em parceria com os governos estaduais e municipais (BRAGA et al, 2006). Além das leis federais acima citadas, a bacia do rio Mundaú está submetida as leis

estaduais além de outros regulamentos mais específicos quando necessário, como veremos a seguir.

O conceito de bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão de recursos hídricos vai muito além da delimitação física da bacia, ela compreende outras dimensões, como sociais, culturais e principalmente políticas.

Território, segundo Sposito (2004), pode ser considerado, juridicamente, como a base geográfica de um estado, sobre o qual ele exerce sua soberania e que abrange o conjunto dos fenômenos físicos (rios, mares, solos) e dos fenômenos decorrentes das ações da sociedade civil (cidade, portos, estradas).

Nem sempre a delimitação territorial da bacia hidrográfica coincide com a delimitação territorial das unidades federativas, isso implica na necessidade de se fazer uma gestão compartilhada entre dois governos, sugere o desafio de desenvolver projetos sem favorecer o estado que tem maiores poderes políticos e econômicos e buscar soluções para a melhoria do uso e conservação das águas de toda a bacia.

Muitos autores como Amaral (2002), afirmam que esquemas de subdivisão de grandes bacias devem ser adotados, sendo necessária articulação entre as partes. Sugere, desse modo, a subdivisão das grandes bacias em unidades de gestão menores visando diminuir os conflitos geralmente comuns entre os usuários, principalmente em bacias interestaduais como a do Mundaú.

As águas transfronteiriças são aquelas que ultrapassam os limites territoriais de um estado ou país, sendo então compartilhada por duas ou mais gestões, sejam elas interestaduais ou internacionais, sendo considerada nessa análise toda a diversidade geográfica, cultural, econômica e política desses territórios, por isso a grande probabilidade de ocorrência de conflitos.

Segundo Haftendom (1999), os conflitos mais significativos em águas transfronteiriças, internacionais ou interestaduais, ocorrem em função de disputas quanto ao uso, problemas de poluição e acesso equitativo aos recursos em situação de escassez absoluta ou relativa.

A bacia do Mundaú é considerada uma bacia de domínio da União, e tem como regulamentos a Lei 9.433, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), além de estar também submetida a Lei 5.965/97 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado de Alagoas (ALAGOAS, 1997), assim como à Lei 11.426/97 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado de

Pernambuco (PERNAMBUCO, 1997). Esta bacia também pode submeter-se a outros regulamentos municipais ou locais dependendo das suas necessidades e especificidades.

O Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do Rio Mundaú – PDRH/Mundaú, elaborado pela COTEC Consultoria Técnica Ltda., contratado pela Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco delimitou a BHRM em quatro Unidades de Análises (UA1, UA2, UA3 e UA4), sendo duas situadas em Pernambuco e duas em Alagoas e três sub regiões: Baixo Mundaú (BM), Médio Mundaú (MM) e Alto Mundaú (AM), esta última localizada exclusivamente no Estado de Pernambuco (PERNAMBUCO, 1999).

Esse Plano tomou como indicador o termo de referência básico para elaboração de Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas disponibilizado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Ressalta-se que o PDRH/Mundaú, ora em análise, foi concluído em janeiro de 1999, quando vigorava uma versão menos completa do que a atual do termo de referência básico (SILVA; MORORO; GURGEL, 2002).

Mesmo estando desatualizado, o PDRH/Mundaú ainda é um documento importante de consulta sobre a bacia acima citada. O mesmo ainda está dentro do prazo de validade, segundo a ANA (2020). É evidente a necessidade de atualização, visto as transformações que a bacia sofreu em mais de vinte anos após esse estudo.

O rio Mundaú é o mais saturado de toda a bacia, pois além de ter quatro usinas canavieiras instaladas ao longo do rio ele ainda serve para irrigação, fornece água para as fábricas de açúcar e álcool, gera energia, ‘doa’ areia, é usado para o lazer e pesca e abastece praticamente todas as cidades por onde passa (SILVA; SOUSA e KAYANO, 2007).

A economia desenvolvida na bacia do Mundaú, apesar da sua heterogeneidade espacial que apresenta os dois estados ainda é em sua maioria de ordem primária. Verifica-se que os maiores volumes de água, são utilizados para irrigação, concentrados na parte alagoana da bacia onde predomina a cultura da cana-de-açúcar pelo segmento privado. Atualmente a demanda para irrigação não é significativa na parte pernambucana da bacia, bem como a demanda de água para indústria. Já na parte alagoana da bacia destaca-se a agroindústria sucroalcooleira (SILVA; MORORO e GURGEL, 2002).

Alguns estudos revelam, como o de Ferreira et al (2012), que a bacia do Mundaú se encontra visivelmente degradada e vulnerável, pondo em risco a oferta que supre a demanda atual. Isto coloca em risco o meio de sobrevivência de muitas comunidades, que utilizam de suas águas, na agricultura, criação de animais, uso e consumo variado e até mesmo para o lazer.

Atualmente há o risco à saúde da população, visto que é evidente a poluição das águas do Mundaú, principalmente no período de estiagem ou próximo as suas nascentes em

Pernambuco, onde a vazão não é suficiente para diluir os poluentes encontrados em grande abundância no rio.

Outro problema bastante comum nessa bacia é a qualidade e compatibilização de dados, que estão à disposição dos pesquisadores de ambos os Estados. Estudos realizados por Fragoso; Pedrosa e Souza (2010) evidenciam a ausência de sincronia entre dados pluviométricos entre Pernambuco e Alagoas, aumentando o grau de incerteza quanto às estimativas de futuras enchentes, sendo estas um dos grandes problemas atuais da bacia, principalmente em Alagoas.

Apesar dos esforços de alguns pesquisadores e/ou organizações civis, governamentais e não-governamentais, a bacia do rio Mundaú ainda não tem um comitê atuante, é este talvez seja o maior desafio a superar. Mesmo mantendo as responsabilidades no âmbito federal e estadual de forma a proporcionar meios que possibilitem a adequada gestão dos recursos hídricos, a legislação transferiu para a comunidade, representada pelo comitê de bacia, a responsabilidade pela tomada de decisão a nível local, que é onde se detém o maior conhecimento dos problemas (SANTOS, 2003).

Numa sociedade tão desigual como a brasileira, permitir a participação equânime dos diferentes usuários das águas e das comunidades, é o maior desafio. Grande parte do discurso da equidade da participação coletiva na gestão dos bens naturais, dissimula interesses divergentes, em alguns casos inconciliáveis, que estão envolvidos na gestão da água. (SILVA, 2012).

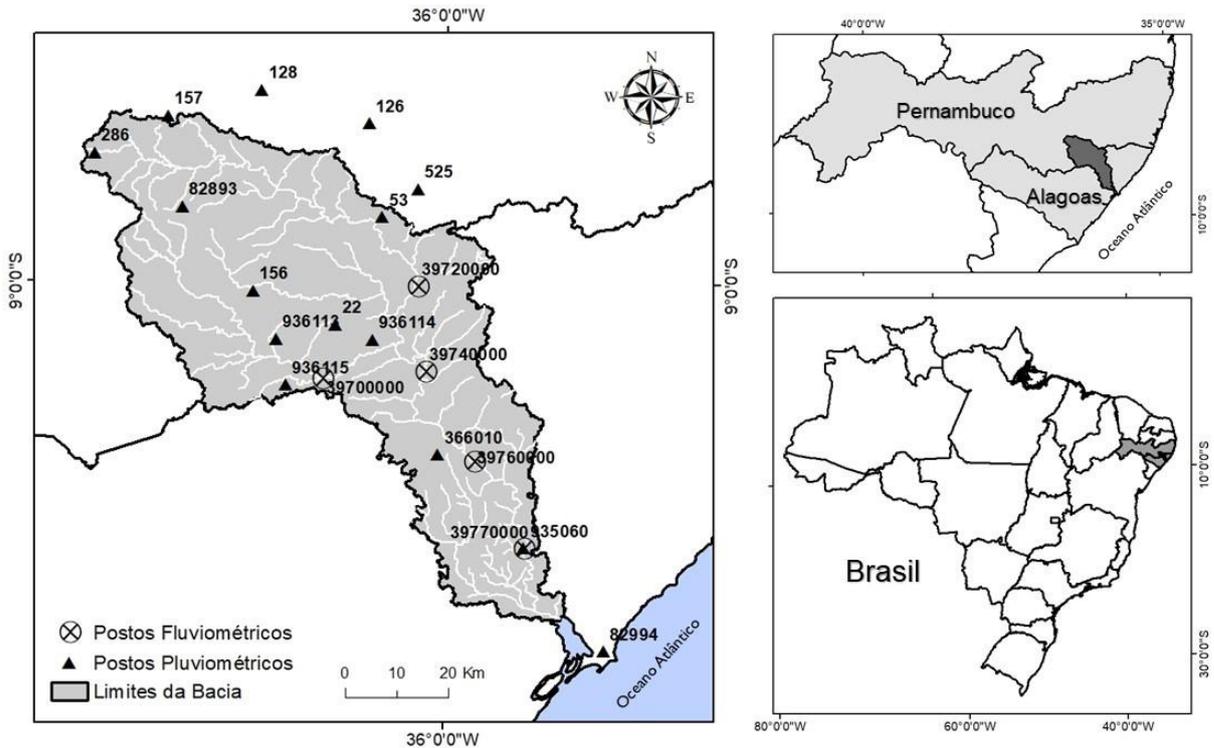
É necessário não só oferecer o acesso as informações sobre a bacia, mas, também permitir o amplo entendimento através de diferentes linguagens (além dos estudos técnicos) e permitir a ampla participação consciente nas decisões importantes, para quem nela vive e dela tira o seu sustento e sustenta sua existência, daí a importância do Comitê.

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO DA BHRM

A bacia hidrográfica do rio Mundaú está localizada entre em os estados de Pernambuco e Alagoas, e está limitada pelas coordenadas 8°42' e 9°36' de latitude Sul e 36°39' e 35°47' de longitude Oeste (Figura 1). Ocupa uma área de 4.101,90 km² e abrange 16 municípios do Estado de Pernambuco e 17 municípios do Estado de Alagoas (GOMES *et al.*, 2014).

Figura 1: Localização da BHRM.

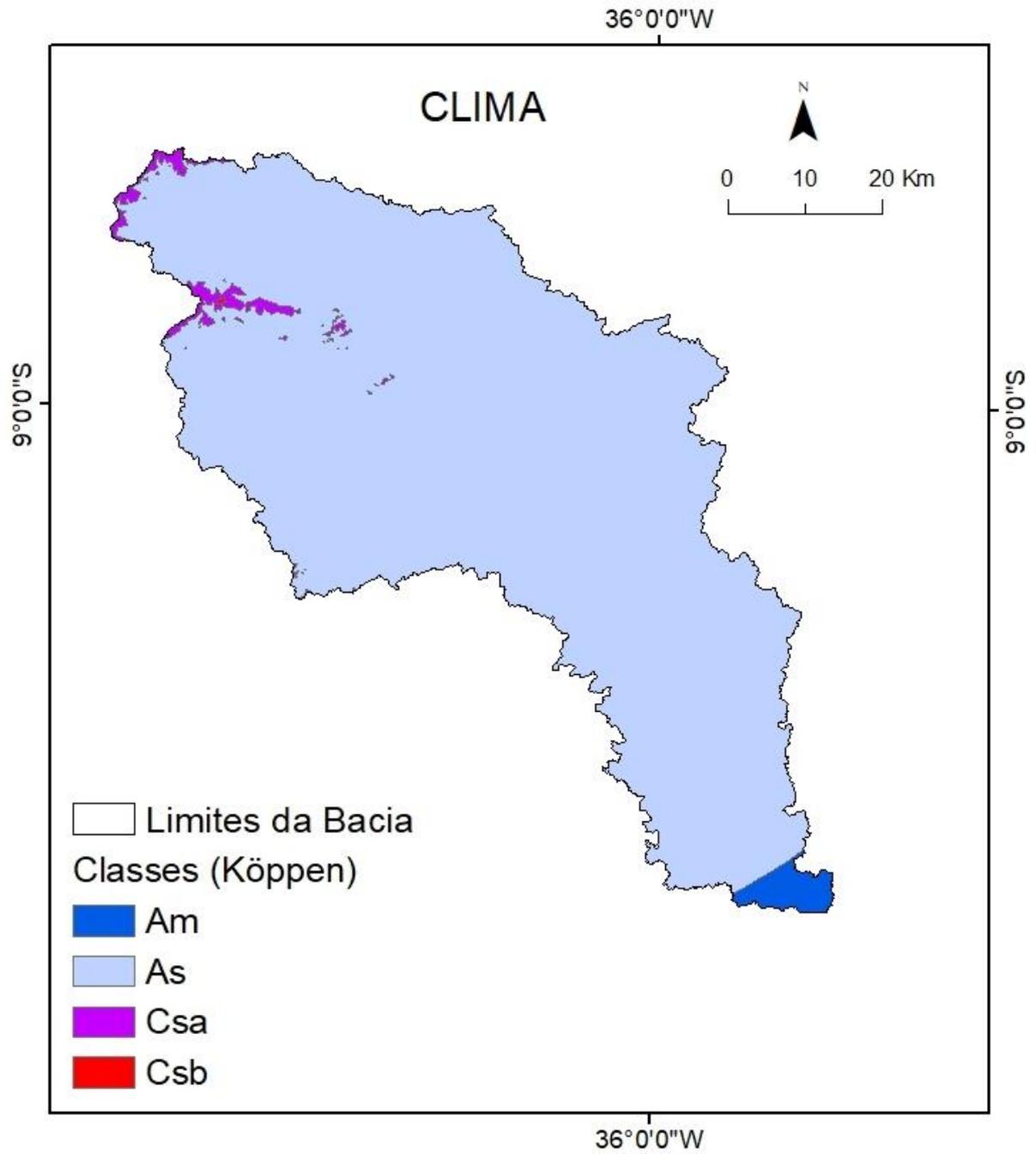


Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017; IBGE, 2019 e Gomes 2009.

As médias pluviométricas anuais na área da bacia, variam entre 527 mm e 1.910 mm (Figura 3), sendo essas chuvas distribuídas de forma bastante heterogênea ao longo de toda a bacia (SILVA et al, 2018).

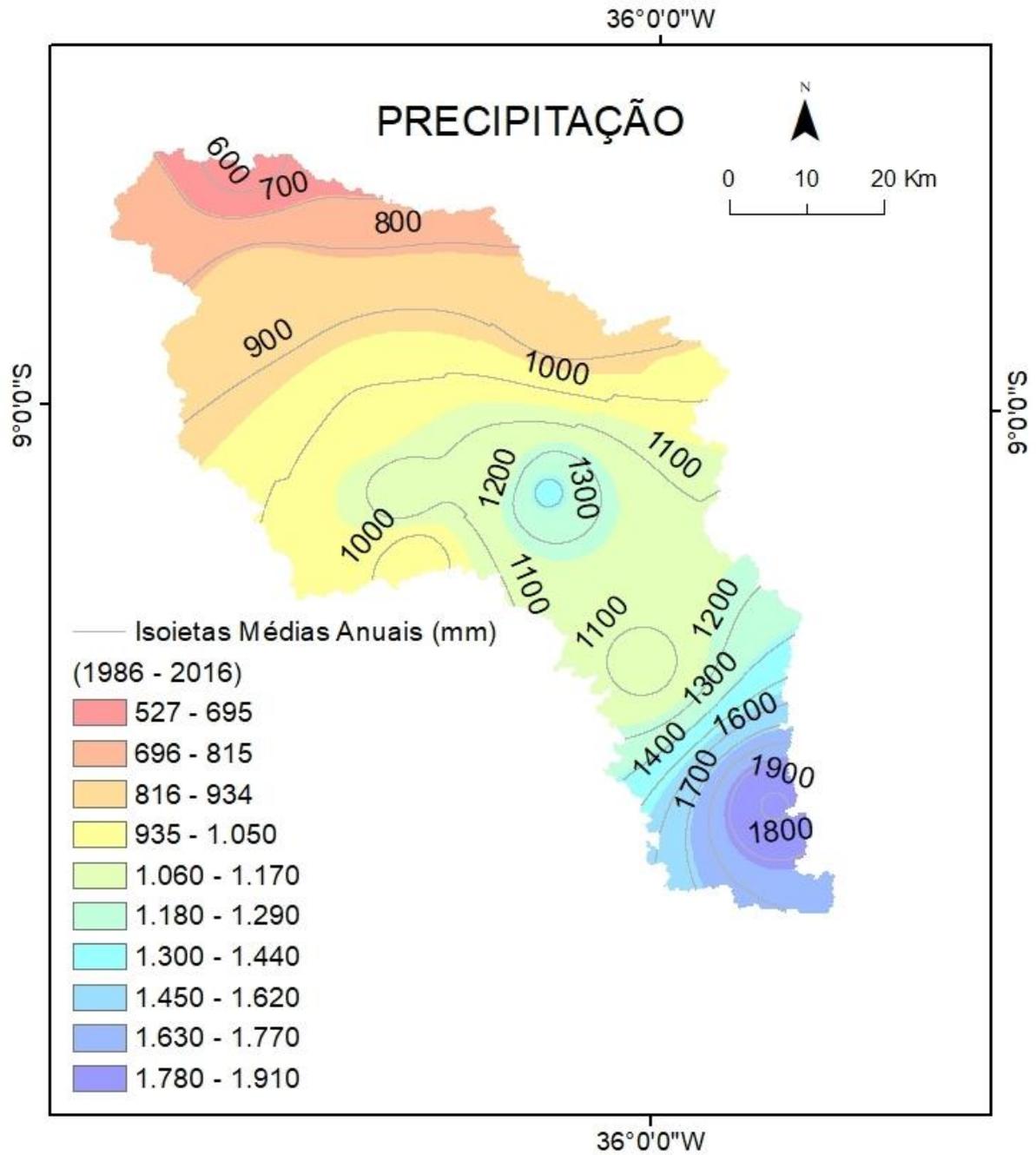
Conforme a classificação climática de Köppen (1931). Na bacia ocorrem os seguintes tipos climáticos: As (clima tropical com estação seca de verão), Am (clima de monção), Csa (clima temperado húmido com verão seco e quente) e Csb (clima temperado húmido com verão seco e temperado), com predominância do tipo As sobre os demais (Figura 2). Aqui se adotou a classificação supracitada, pois segundo Alves *et al.* (2014), a classificação de Köppen (1931) continua sendo a mais utilizada em todo o mundo, por critérios geográficos e climáticos

Figura 2: Clima da BHRM.



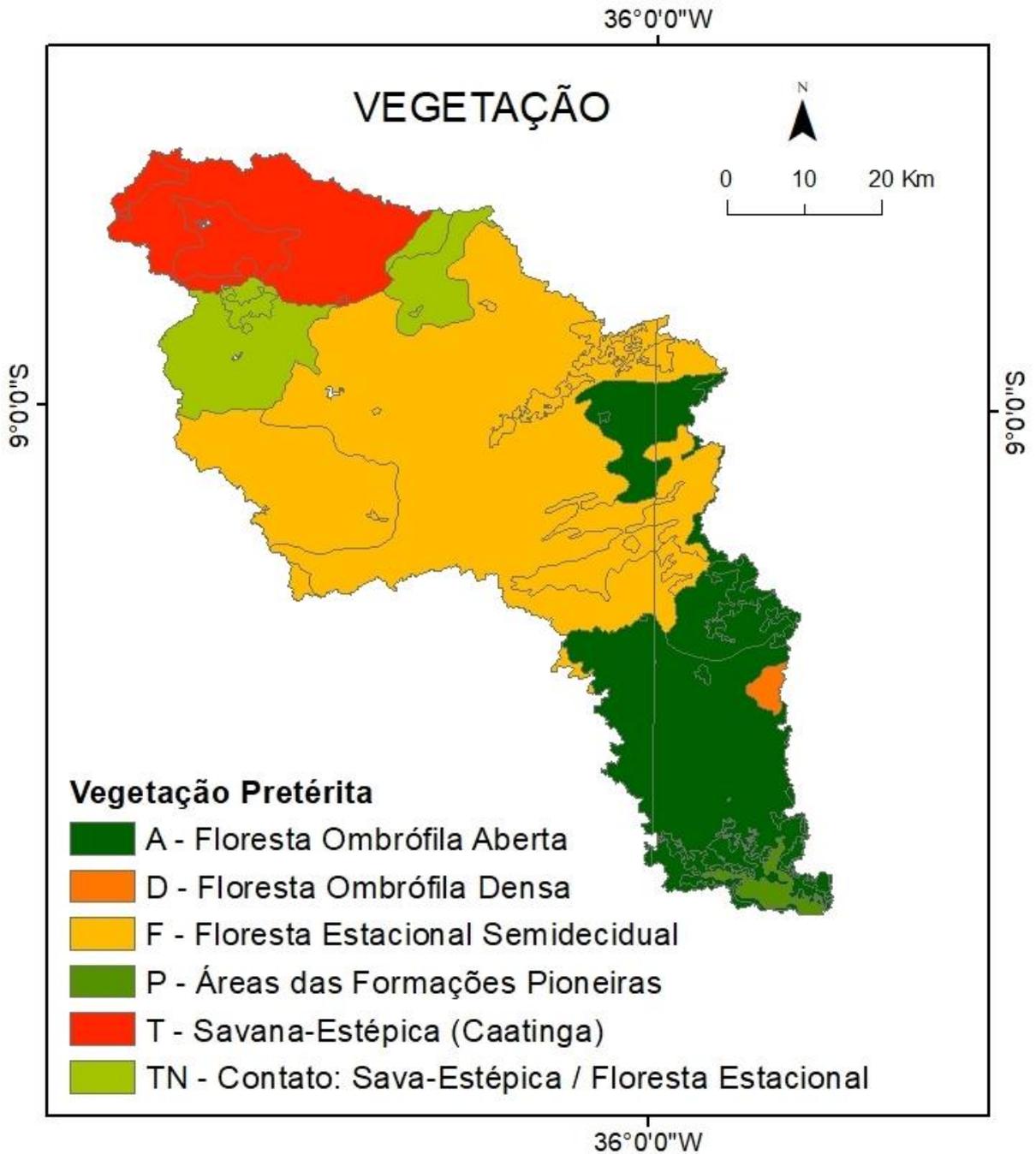
Fonte: Elaborado pela autora a partir de Alves *et al.*, 2014.

Figura 3: Precipitação da BHRM.



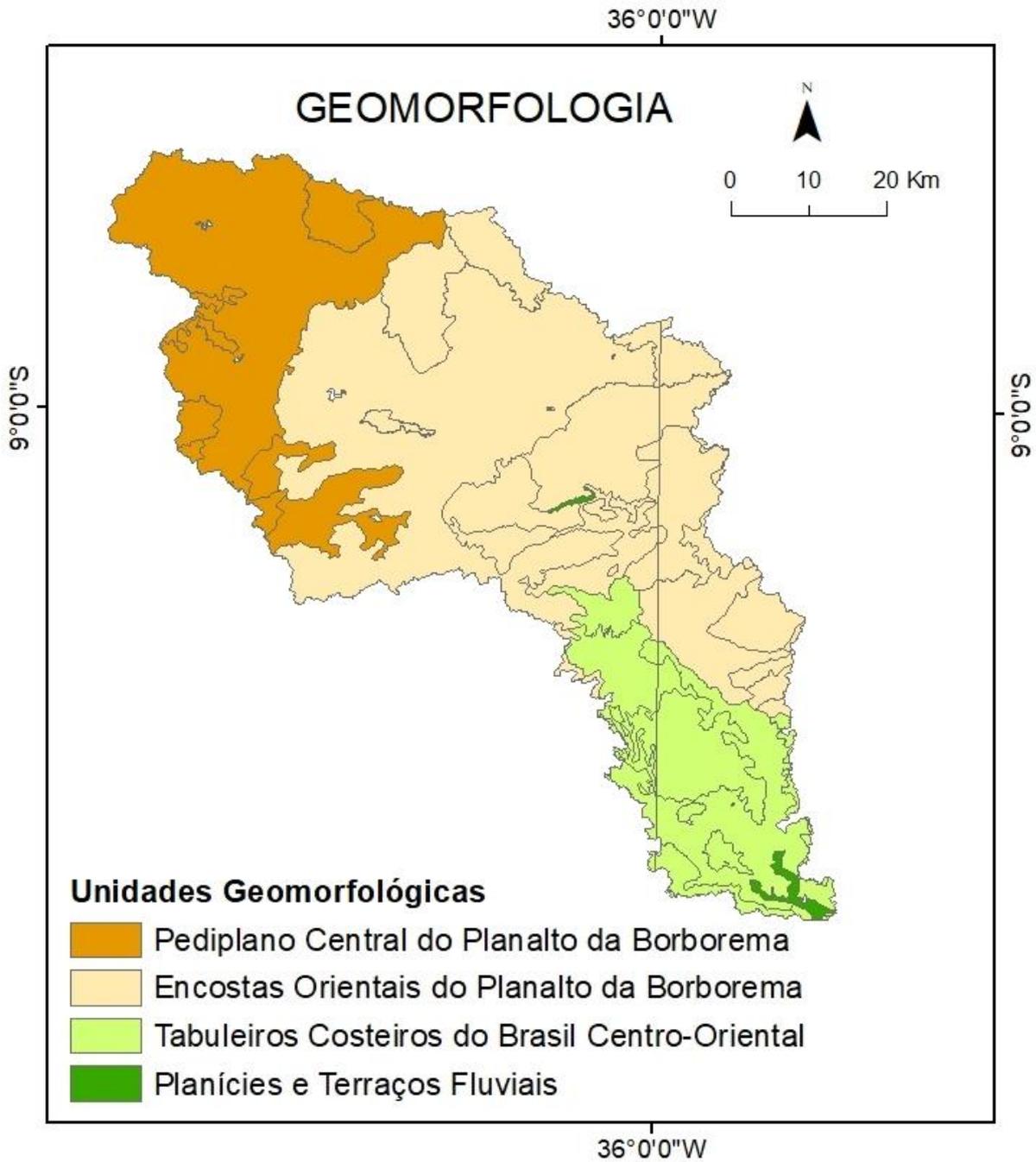
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Figura 4: Vegetação da BHRM.



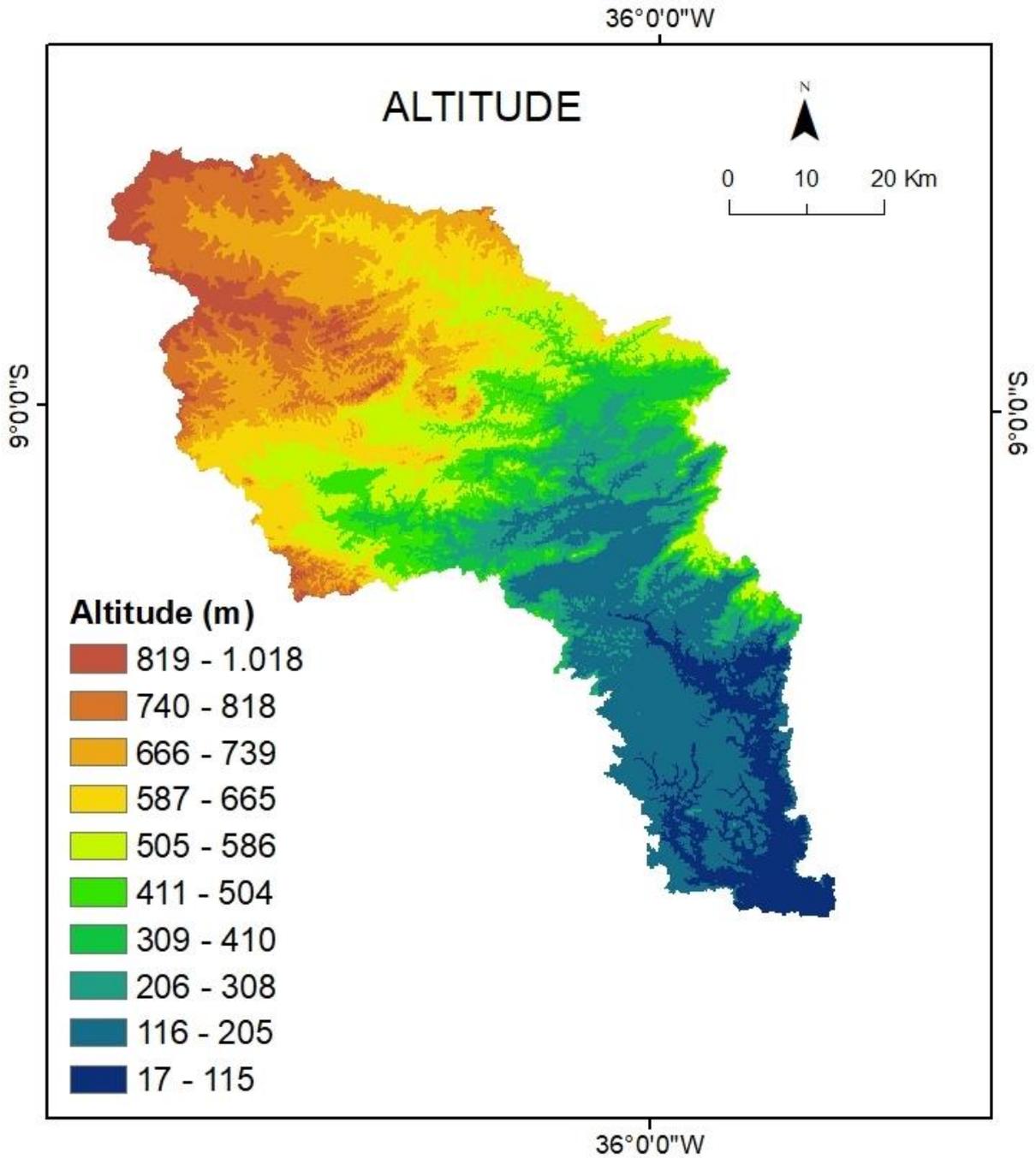
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE, 2019.

Figura 5: Geomorfologia da BHRM



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE, 2017.

Figura 6: Altitude da BHRM



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE, 2017.

A bacia hidrográfica do Mundaú apresenta características físicas diferenciadas ao longo de toda sua área. As nascentes do rio principal nascem em região semiárida e perpassa por regiões de Caatinga, Agreste, Mata Atlântica e Litoral. Possui diferentes condições hidrológicas, climáticas, geomorfológicas, fitogeográficas e pedológicas ao longo de todo percurso.

Segundo Gomes (2016), as principais estruturas geológicas que formam a bacia são: Planalto da Borborema; Depressão Periférica da Borborema e Depósitos Sedimentares do Quaternário. Este autor, também classificou os principais tipos de solos da BHRM como: argissolos; gleissolos; latossolos; neossolos litólicos; neossolos regolíticos; planossolos e solos indiscriminados de mangue.

Conforme a classificação da vegetação realizada pelo IBGE (2012), a cobertura vegetal nativa que existia na BHRM, era composta por: Floresta Ombrófila Aberta (Faciações da Floresta Ombrófila Densa); Floresta Ombrófila Densa (Floresta Tropical Pluvial); Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifolia); Áreas das Formações Pioneiras (Sistema Edáfico de Primeira Ocupação); Savana-Estépica (Caatinga do Sertão Árido) e Contato Savana-Estépica /Floresta Estacional (Figura 4).

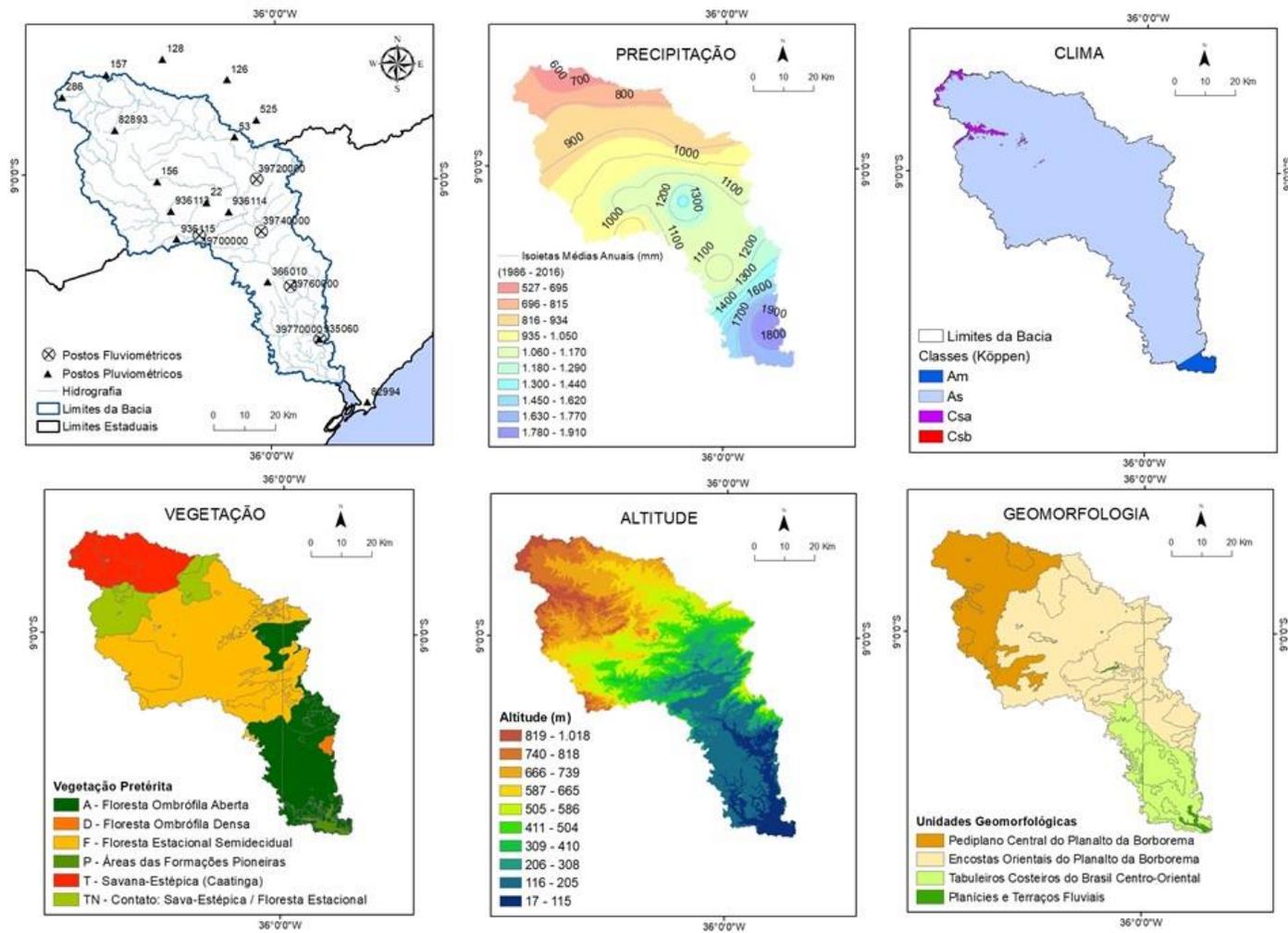
As principais unidades geomorfológicas da BHRM, se dividem em: Pediplano Central do Planalto da Borborema; Encostas Orientais do Planalto da Borborema; Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental e Planícies e Terraços Fluviais (Figura 5).

É importante observar na Figura 7, as correlações entre precipitação, clima, geomorfologia, altitude (Figura 6) e vegetação da BHRM. Observa-se por exemplo que tanto a precipitação, quanto a vegetação estabelecem conexões muito profundas com a geomorfologia da BHRM.

Nesse sentido à medida que se afasta do litoral e se adentra ao continente, a precipitação é reduzida drasticamente ao ultrapassar a barreira do Planalto da Borborema, modificando-se também a vegetação que de Floresta Ombrófila Densa e Aberta localizada nas Planícies e Terraços Fluviais e Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental, a vegetação vai aos poucos adquirindo características diferenciadas ao se aproximar do Pediplano Central do Planalto da Borborema, apresentando-se como Savana Estépica (Caatinga).

Essa análise conjunta dos aspectos físicos-naturais da bacia só reforça a importância de analisar a bacia hidrográfica como um sistema ambiental, complexo e interconectado e não de modo isolado.

Figura 7: Aspectos físico-naturais da BHRM



Fonte: Elaborados pela autora a partir de dados da ANA, 2017; IBGE, 2017 e 2019, Gomes, 2015 e Alves *et al.*, 2014.

4.2 VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO

4.2.1 Dados utilizados

Foram utilizados nessa pesquisa dados de precipitação diária, obtidos junto a Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), Agência Nacional das Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o período de 31 anos (de 1986 a 2016).

Preliminarmente, foram analisados 45 postos pluviométricos dentro dos municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM), porém destes, apenas 15 postos possuíam dados com uma boa representatividade do período escolhido conforme a Tabela 1, sendo 9 estações em Pernambuco e 6 em Alagoas. Os outros 30 postos foram descartados da análise devido ao grande número de falhas ou longos períodos sem dados.

Tabela 1: Postos pluviométricos distribuídos na BHRM e utilizados nessa pesquisa.

UF	Operadora	Código	Latitude	Longitude	Município
PE	APAC	156	-9,01	-36,34	Brejão
	APAC	286	-8,77	-36,62	Caetés
	APAC	53	-8,88	-36,11	Canhotinho
	APAC	22	-9,07	-36,19	Correntes
	INMET	82893	-8,87	-36,47	Garanhuns
	APAC	157	-8,71	-36,49	Jucati
	APAC	126	-8,72	-36,14	Jurema
	APAC	128	-8,66	-36,33	Lajedo
	APAC	525	-8,83	-36,05	Quipapá
AL	ANA	366010	-9,30	-36,01	Atalaia
	INMET	82994	-9,65	-35,72	Maceió
	ANA	936115	-9,18	-36,28	Quebrangulo
	ANA	935060	-9,47	-35,86	Rio Largo
	ANA	936114	-9,10	-36,13	União dos Palmares
	ANA	936113	-9,10	-36,30	Santana do Mundaú

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017; APAC, 2017 e INMET, 2017.

Segundo Tucci *et al.* (2014), na ocorrência de falhas, estas devem ser preenchidas por um dos métodos a seguir: a) Método da Ponderação Regional ou b) Método da Regressão Linear.

Optou-se nesse estudo por não aplicar o preenchimento de falhas dos postos pelos métodos acima, devido ao fato da BHRM, apresentar grande diversidade geográfica em sua área (clima, relevo, vegetação e especialmente diferentes médias de precipitação entre um posto e outro em municípios diferentes), o que tornaria o preenchimento de falhas sugerido por Tucci *et al.* (2014), para essa bacia especificamente, uma falha ainda maior.

O preenchimento de falhas dos postos selecionados foi realizado através da média ponderada dos postos do mesmo município que apresentava dados para o período com falhas,

porém não apresentava dados suficientes de toda a série para ser considerado integralmente no estudo.

4.2.2 Variabilidade Espacial da Precipitação

Para a distribuição espacial da precipitação foi utilizado o software ArcGis 10.4.1, tendo em posse do modelo matricial (raster) da BHRM, disponibilizado por Gomes (2015), o qual utilizou os dados altimétricos da missão Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), cenas: 08S375ZN, 09S375ZN, 08S36_ZN e 09S36_ZN.

Foram criadas tabelas utilizando o Excel, para inserir os postos pluviométricos através de suas coordenadas (latitude e longitude) no raster e assim poder criar um shapefile (.shp), dos postos pluviométricos. Em seguida também foi criado um shapefile da BHRM, a partir de seu modelo matricial e reprojutados do sistema de coordenadas geográficas WGS 1984 para o sistema de coordenadas planas UTM zona 24S, a qual a BHRM está inserida.

Para a representação da distribuição espacial da precipitação na BHRM, foi utilizado o método estatístico da Ponderação do Inverso da Distância (Inverse Distance Weighting – IDW) através de ferramentas do ArcGis 10.4.1 e em seguida foram geradas as isoietas para uma melhor visualização desses resultados.

Por fim, obteve-se os mapas da variabilidade espacial da precipitação com médias e totais pluviométricos (anuais e mensais) para o período de 1986 a 2016.

4.2.3 Variabilidade Temporal da Precipitação

Para a análise da distribuição temporal da precipitação, os dados de precipitação diária, foram selecionados e organizados numa planilha do Excel para análises estatísticas com o intuito de verificar tendências positivas (aumento) ou negativas (redução) da precipitação ao longo do período selecionado.

Também foi realizada a análise da distribuição da precipitação mensal e anual, assim como selecionada a quadra chuvosa (quadrimestre que concentra a maior quantidade de chuva do total anual) e calculada a média e os totais para todos os meses e período (1986 a 2016).

4.2.4 Índice de Anomalia da Chuva (IAC)

Para a análise de anomalias da chuva (chuvas acima ou abaixo da média) foi utilizado o Índice de Anomalia da Chuva (IAC). O IAC foi desenvolvido por Rooy (1965), e utilizado

por Da Silva (2009), para classificar os anos secos e chuvosos da bacia do Mundaú entre 1955 e 1991.

O IAC faz comparações entre diferentes anos verificando a contribuição da quadra chuvosa para o total anual, tornando claros os mecanismos meteorológicos atuantes. Para calcular o IAC é necessário apenas dados de precipitação e é útil para comparação do desvio da precipitação em relação à condição normal de diversas regiões.

O IAC é representado da seguinte forma:

$$IAC = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(M - \bar{N})} \right], \quad \text{Para anomalias positivas}$$

$$IAC = -3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right] \quad \text{Para anomalias negativas}$$

Sendo: N = precipitação anual atual, ou seja, do ano que será gerado o IAC (mm); \bar{N} = precipitação média anual da série histórica (mm); \bar{M} = média das dez maiores precipitações anuais da série histórica (mm); \bar{X} = média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm); e anomalias positivas são valores acima da média e negativas, abaixo da média.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO REGIME HIDROLÓGICO

4.3.1 Dados utilizados

Para a caracterização do regime hidrológico da bacia foram utilizados dados de vazão disponibilizados no site da Agência Nacional de Águas (ANA). Num primeiro momento foi realizado uma pré-análise com o auxílio do software Hidro 1.3 para selecionar os postos que tinha quantidade e qualidade suficiente de dados. De todos os postos pré-selecionados para essa pesquisa, após a análise de qualidade realizada com o Hidro 1.3, apenas cinco atendiam a necessidade desse estudo (Tabela 2).

É importante salientar que todos os postos selecionados estão localizados no estado de Alagoas, além disso nenhum deles se encontra na foz da BHRM, ou seja, para estudos mais precisos para essa bacia é necessário considerar essa ausência de informações sobre a vazão de cerca de 541 km² ou seja 13,19% da área total.

Após a análise dos dados e seleção das séries sem falhas, os dados consistidos da ANA foram importados para o Excel para análises estatísticas e correlação com os dados de precipitação.

Essa correlação teve como objetivo verificar aspectos da BHRM como o impacto que a variabilidade climática tem sobre o regime hidrológico da bacia, as particularidades da

capacidade de drenagem e escoamento de cada área compartimentada pelos postos no sentido nascentes-foz, suas similaridades e diferenças.

Tabela 2: Postos fluviométricos distribuídos na BHRM e utilizados nessa pesquisa.

UF	Operadora	Código	Latitude	Longitude	Município	Altitude(m)	Área Drenada (km ²)
Alagoas	CPRM	39700000	-9,16	-36,21	Santana do Mundaú	220	767
	CPRM	39720000	-9,00	-36,05	São José da Laje	256	1170
	CPRM	39740000	-9,15	-36,03	União dos Palmares	155	2900
	CPRM	39760000	-9,31	-35,94	Murici	82	3290
	CPRM	39770000	-9,46	-35,85	Rio Largo	42	3560

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

4.3.2 Crescimento populacional da BHRM

Para analisar o crescimento populacional da BHRM, foram consultados dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019) do Censo Demográfico dos anos de 1991, 2000 e 2010 para os 33 municípios que compõe a bacia (Tabela 3).

Apesar de alguns municípios possuírem apenas parte de seu território dentro dos limites da BHRM, optou por analisar toda a população, já que não foi medido quanto de cada população está estabelecida dentro da bacia e/ou quantos desses habitantes usam ou consomem a água da bacia causando assim impacto em seu regime hidrológico.

Também foram analisados os dados disponibilizados pelo IBGE (2019), que estimam a população para os demais anos do período analisado nessa pesquisa.

Tabela 3: Municípios selecionados para a análise do crescimento populacional da BHRM.

UF	Município	UF	Município
PE	Angelim	AL	Atalaia
	Brejão		Branquinha
	Caetés		Capela
	Calçado		Chã Preta
	Canhotinho		Flexeiras
	Capoeiras		Ibateguara
	Correntes		Maceió
	Garanhuns		Messias
	Jucati		Murici
	Jupi		Pilar
	Jurema		Quebrangulo
	Lagoa do Ouro		Rio Largo
	Lajedo		Santa Luzia do Norte
	Palmeirina		Santana do Mundaú
	Quipapá		São José da Laje
	São João		Satuba
	União dos Palmares		

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados de Gomes, 2015 e IBGE, 2019.

O período de análise delimitado foi o correspondente ao período em que se analisou concomitantemente o regime hidrológico (1993 a 2016), com o intuito de posteriormente correlaciona-los.

4.3.3 Análise de alguns reservatórios da bacia

Com o auxílio do ArcGis 10.4.1 foi possível também delimitar as áreas de drenagem de dois importantes reservatórios artificiais da BHRM e analisar qual o impacto que possivelmente eles teriam na regularização do escoamento (foi importante analisar esse aspecto devido ao fato que a construção de reservatórios nessa bacia foi defendida também como medida mitigadora de cheias, além da necessidade de atender ao abastecimento de vários municípios pernambucanos durante o período de estiagem).

Além disso foi analisado imagens de satélite disponibilizadas pelo Google Earth Pro onde foi possível verificar a eutrofização avançada das águas do reservatório Mundaú (velho) e a eminente contaminação das águas do reservatório Cajueiro ou Mundaú II (novo), já que as águas do reservatório eutrofizado são drenadas para o reservatório novo.

Essas imagens também serviram para avaliar as mudanças de uso da terra no entorno dos reservatórios ao longo do tempo e a proveniência das águas que são retidas neles.

Também foi utilizado dados de qualidade das águas de ambos os reservatórios, disponibilizadas pela ANA (2019).

4.4 COBERTURA VEGETAL DA BHRM

4.4.1 Vegetação Pretérita da BHRM

A análise da Vegetação Pretérita da BHRM foi realizada através do mapeamento realizado a partir da base cartográfica disponibilizada pelo IBGE (2019) na escala de 1:250.000.

Após recortada a área de interesse foi selecionada as classes da Vegetação Pretérita e classificada a partir do Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012).

Esse mapeamento serviu para compreender a vegetação nativa (atualmente quase extinta) e comparar com outros mapas dos aspectos físicos/naturais da BHRM, compreendendo assim em conjunto com aspectos climáticos e geomorfológicos, também mapeados, as suas devidas interconexões e correlações ambientais.

4.4.2 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*) foi desenvolvido por Rouse et al., em 1973 e de modo geral mede a vegetação fotossinteticamente ativa no intervalo de -1 à 1 (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

Os valores mais próximos de 1 representam uma vegetação mais vigorosa, enquanto os valores próximos a -1, medem a ausência da vegetação ou uma vegetação sem vigor.

O NDVI vem sendo utilizado para estudos de diferentes tipos vegetacionais, desde florestas densas à agricultura de precisão. Entre as vantagens de se utilizar esse índice está a possibilidade de análise temporal em diferentes escalas (mensal, anual, interanual, decadal etc).

Calcula-se o NDVI através da seguinte fórmula:

$$NDVI = [(P_{ivp} - P_v) / (P_{ivp} + P_v)]$$

Onde:

P_{ivp} = é a reflectância no infravermelho próximo e

P_v = é a reflectância no vermelho

Para realizar o cálculo do NDVI foram selecionadas as bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho próximo) do satélite Landsat 5 TM. Foram realizadas algumas correções visando diminuir o ruído das cenas: correções radiométrica e atmosféricas. Para tanto utilizou-se os softwares ArcGIS 10.4.1 e QGIS 2.4.0.

4.5 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DA BHRM

A análise dos diferentes usuários e outorgas da BHRM foi realizado utilizando dados da ANA. Para melhor explanação desses dados foi utilizado os softwares ArcGIS 10.4.1 e Excel, para a montagem de figuras, gráficos e tabelas.

Para analisar a gestão da BHRM, utilizou-se diversas fontes e registros históricos. Entre eles o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Mundaú (PERNAMBUCO, 1999), que é o documento técnico mais antigo e generalista de diagnóstico dos aspectos físicos e socioeconômicos da bacia, além de o mesmo fazer alguns prognósticos para a área de estudo.

Alguns trabalhos e pesquisas científicas também foram consultadas para compreender os diversos âmbitos referentes a quantidade e qualidade das águas da bacia, além das diversas questões ambientais, sociais, políticas e econômicas da mesma.

Foi consultado jornais antigos que trazem matérias com informações relevantes sobre as políticas públicas desenvolvidas na bacia desde o ano de 1969, armazenados na Hemeroteca Digital, dentre eles o mais importante foi o jornal Diário de Pernambuco.

Além disso foi consultado outros jornais mais atuais como Gazeta de Alagoas, Gazeta do Povo, UOL Notícias, Globo e Agência Brasil onde os mesmos retratam ao longo do tempo as articulações políticas desenvolvidas na bacia, além de destacar as medidas e verbas emergências destinadas as enchentes ocorridas na bacia, assim como destaca o poder público em âmbito municipal, estadual e federal compreendia e efetivava para resolver os problemas da bacia.

Para uma melhor compreensão dos textos disponibilizados pelas diferentes mídias digitais, foi realizado uma análise do discurso dos atores políticos em diferentes circunstâncias e épocas no que tange o planejamento e gestão da BHRM.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO

5.1.1 Variabilidade espacial da precipitação

Apesar do rio principal da bacia hidrográfica do rio Mundaú ser perene, esta bacia tem sido o cenário de secas dos seus afluentes – afetando a porção setentrional da bacia em Pernambuco e enchentes provocadas por eventos extremos na quadra chuvosa – na região meridional, causando muitos danos materiais e sobretudo de vidas humanas em municípios alagoanos.

Se, na parte setentrional da BHRM (PE) as características geográficas favorecem a escassez hídrica na maior parte do ano, na região meridional (AL) há excedente hídrico durante todo o ano.

As características do relevo na BHRM, segundo Gomes (2014) podem ser classificadas como sendo: Relevo Plano (5,49%); Suave Ondulado (15,83%); Ondulado (34,61%); Fortemente Ondulado (33,45%); Montanhoso (8,61%) e, Escarpado (2,02%).

O tipo de relevo predominante na BHRM (Ondulado), favorece um escoamento acelerado, ampliado ainda mais pelo crescente desmatamento da vegetação nativa e a erosão dos solos, provocada entre outros fatores pelo manejo inadequado do solo e práticas rudimentares de agropecuária.

Nos municípios de Pernambuco, onde existem afluentes do rio Mundaú, a maioria das nascentes estão desmatadas e/ou já não possuem mais mata ciliar.

Em alguns casos, como nos municípios de Canhotinho, Caetés e Capoeiras, em Pernambuco, é comum pequenos agricultores desmatarem a vegetação que cresce as margens do rio através da prática de queimadas, para inserir uma agricultura de subsistência, muitas vezes como sua única fonte de renda, ou construir moradias de forma irregular e com alto risco de alagamentos. (SILVA & SANTOS, 2011).

Esses aspectos geomorfológicos e as práticas antrópicas podem em conjunto com a espacialização da precipitação e sua variação climática temporal, explicar a ocorrência de secas ou enchentes na BHRM.

Observando a distribuição espacial da precipitação da BHRM (Figura 8), à medida que se afasta da região litorânea, há uma contínua diminuição das chuvas até atingir municípios que estão inseridos na região semiárida.

Dos 15 postos pluviométricos utilizados, aqueles que estão inseridos no estado de Alagoas possuem maior precipitação média e total anual. Já para aqueles que estão situados no estado de Pernambuco, a precipitação é expressivamente menor.

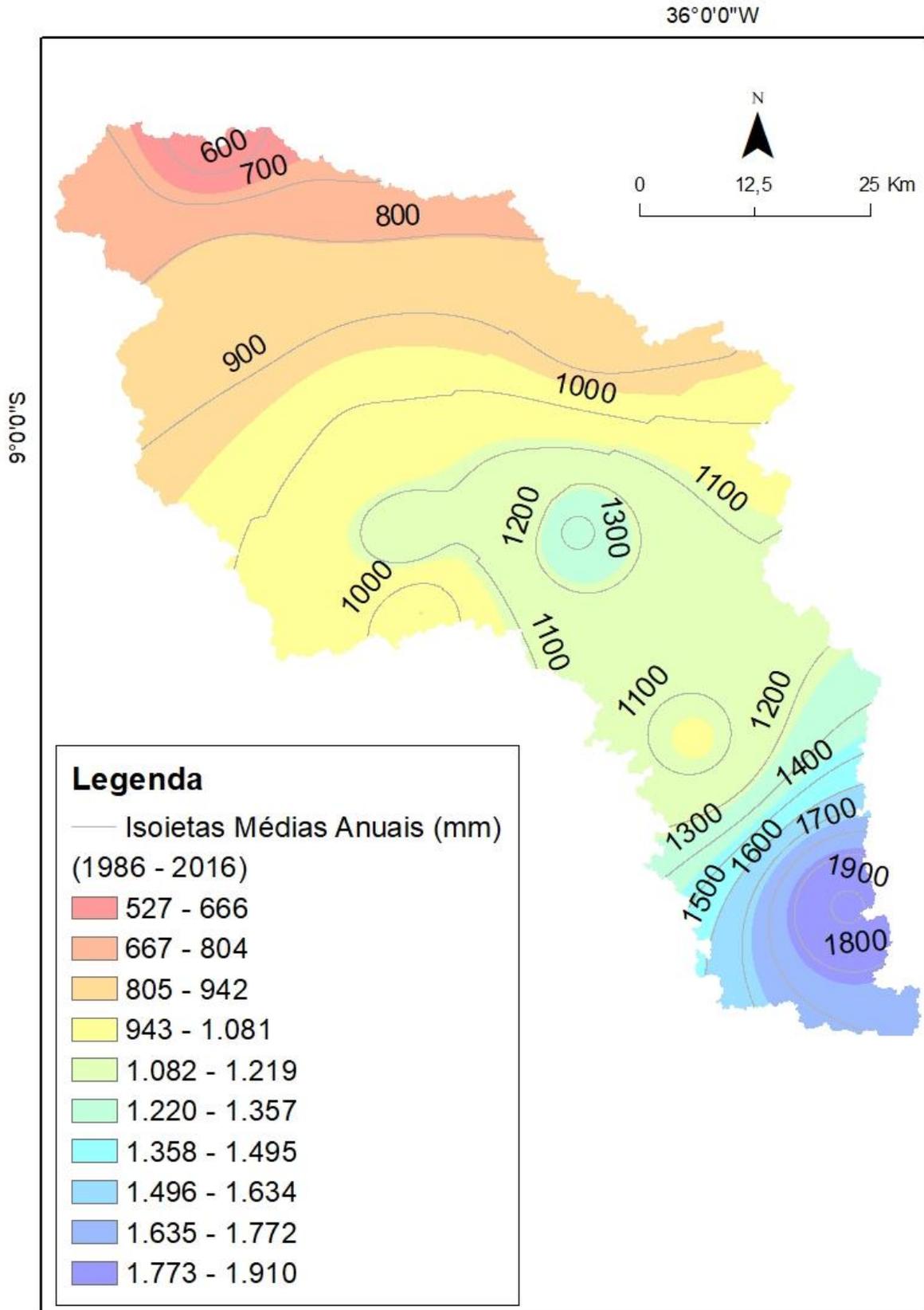
No primeiro trimestre do ano (Figuras 9, 10 e 11) as menores precipitações se encontram nas regiões noroeste e nordeste da bacia. Essas regiões em partes estão inseridas no semiárido pernambucano. Os valores mínimos variam em torno de 36mm (janeiro), 42mm (fevereiro) e 62mm (março) respectivamente.

O centro-oeste da bacia apresentou valores um pouco acima da média da região ao redor, com valores variando entre 62mm (janeiro), 66mm (fevereiro) e 96mm (março), (Figuras 9; 10 e 11 respectivamente).

Os maiores valores se encontraram próxima a região litorânea do Atlântico no sudeste da bacia, com valores máximos de 80mm (janeiro), 81mm (fevereiro) e 131mm (março).

Observa-se que em fevereiro há um aumento maior das chuvas no extremo noroeste da bacia, enquanto que em março o maior aumento se deu no sudeste com um aumento de mais de 50mm precipitados.

Figura 8: Precipitações médias anuais (1986 - 2016).



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

É no segundo trimestre do ano (Figura 12, 13 e 14), que as chuvas se intensificam na BHRM de modo geral. Este é o trimestre com maiores médias e totais anuais da bacia.

É importante observar que na parte noroeste da bacia em abril (Figura 12) e maio (Figura 13), chove menos do que em março (Figura 14), sendo o oposto em todo o restante da bacia. Possivelmente essa região recebe influência nesse período (março) de fenômenos, que não atingem o sudeste da bacia.

Em abril as chuvas variam entre 68,39mm no extremo noroeste à 224mm no sudeste da bacia. O aumento prevalece ainda em maio, atingindo seus máximos em junho que é o mês que apresenta os maiores picos da BHRM, assim como aquele onde há mais probabilidade de ocorrência de desastres causados por cheias.

Junho (Figura 14), atinge sua máxima precipitação na zona da mata alagoana no sudeste, onde ocorre valores acima do chovido no litoral alagoano, com uma média anual máxima de 348,81mm e mínima de 76,84mm na região semiárida pernambucana.

Já na região agreste da bacia, localizada no centro-oeste da BHRM, as máximas precipitações também ocorrem em junho com valores médios de 220mm.

O mês de julho (Figura 15) é o segundo mais chuvoso do ano, ficando atrás apenas de junho, de modo geral ele contribui de forma valiosa para o total anual da bacia. Sua precipitação mínima é de 70,50mm e sua máxima é de 301,75.

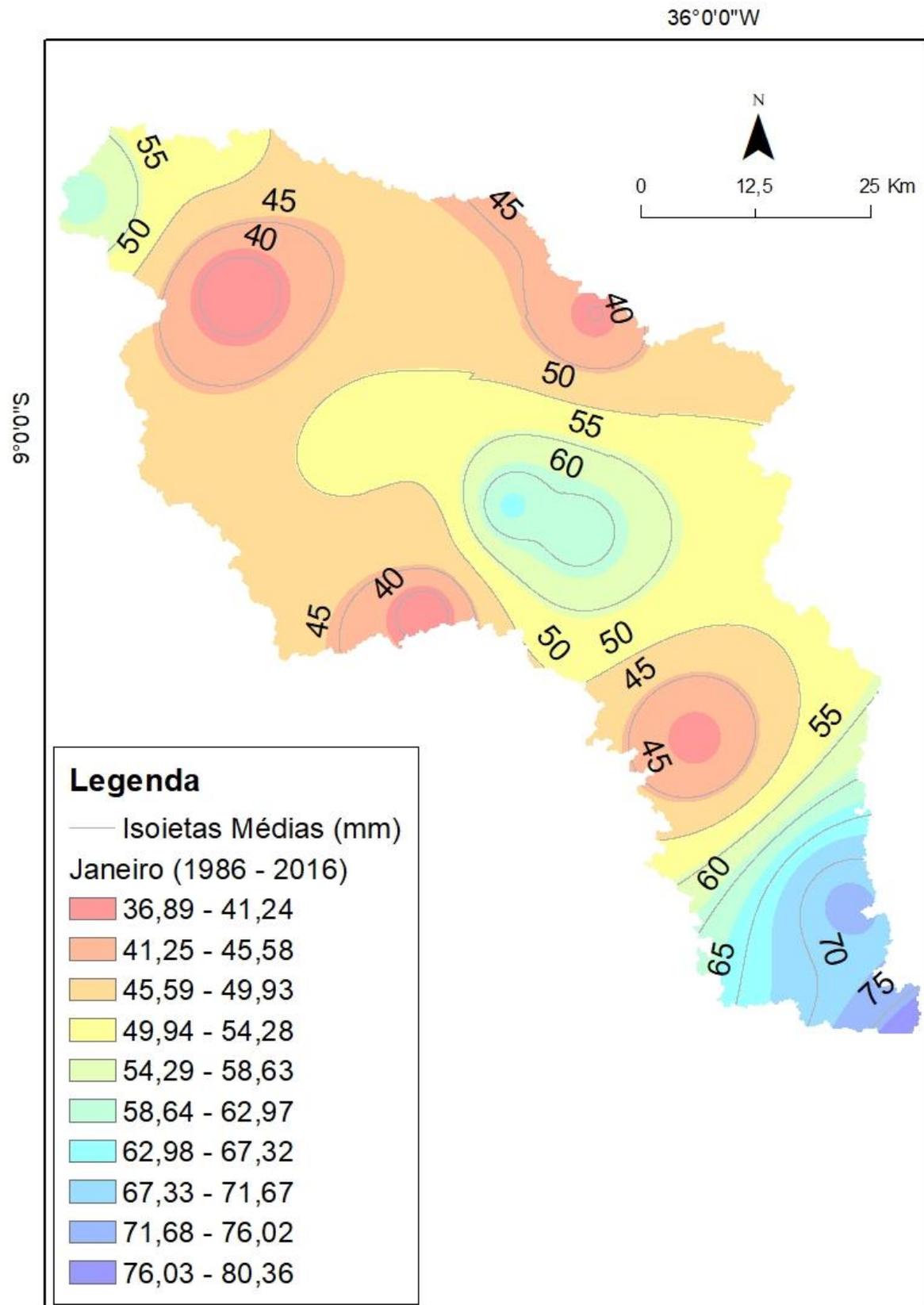
Já em agosto (Figura 16), as chuvas começam a reduzir na bacia havendo uma redução em torno de 100mm das precipitações máximas, comparando ao mês anterior.

Em setembro (Figura 17), a redução é brusca, havendo uma redução de cerca de 50% com relação a agosto, com valores mínimo de 23,50mm e máximo de 113,35mm.

O trimestre mais seco da BHRM é o último: outubro (Figura 18), novembro (Figura 19) e dezembro (Figura 20). O mês de novembro especialmente, é aquele que historicamente apresentou as menores precipitações médias em Pernambuco, o que contribuiu para a menor média mensal de toda a bacia. Na região semiárida esse valor chega a 11,52mm precipitados, podendo causar sérios problemas de escassez hídrica.

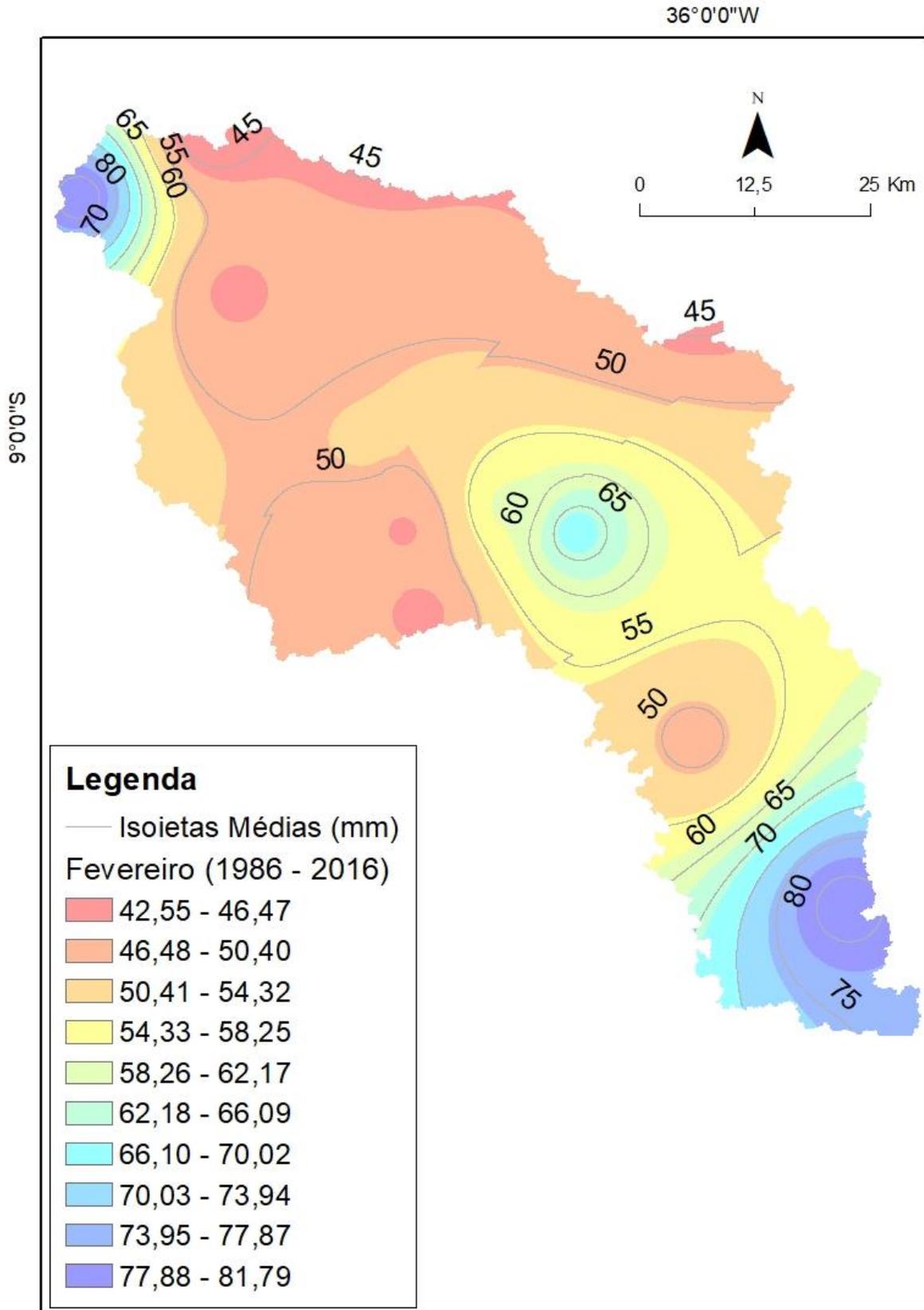
Já o mês mais seco do ano para a região sudoeste e sudeste da bacia, em Alagoas, é o mês de dezembro com valor máximo nessa região de 36mm. No centro-oeste da bacia, região agreste os valores são menores que no semiárido, chegando a 22,57mm em média.

Figura 9: Precipitação média de janeiro (1986 - 2016)



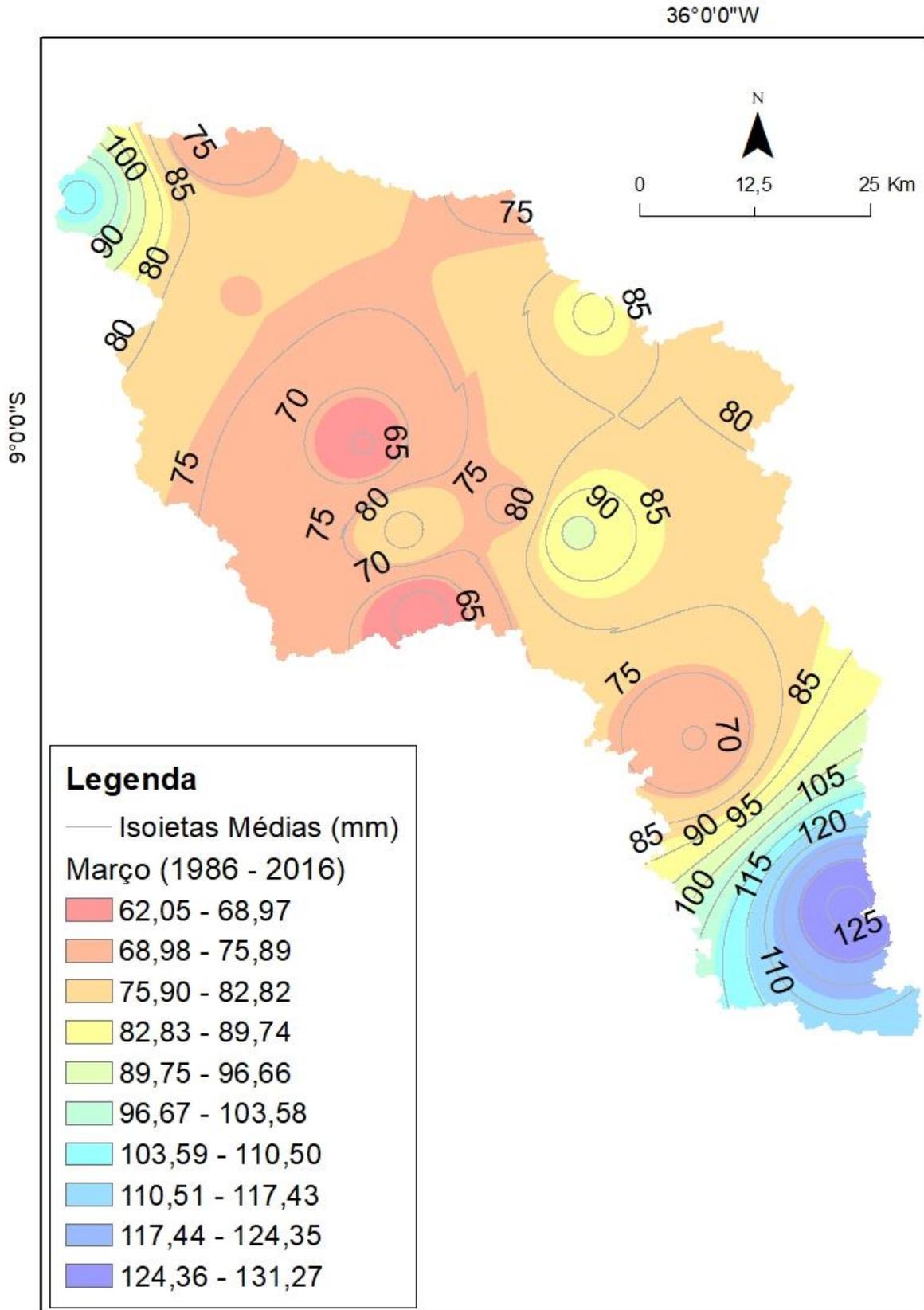
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Figura 10: Precipitação média de fevereiro (1986 - 2016)



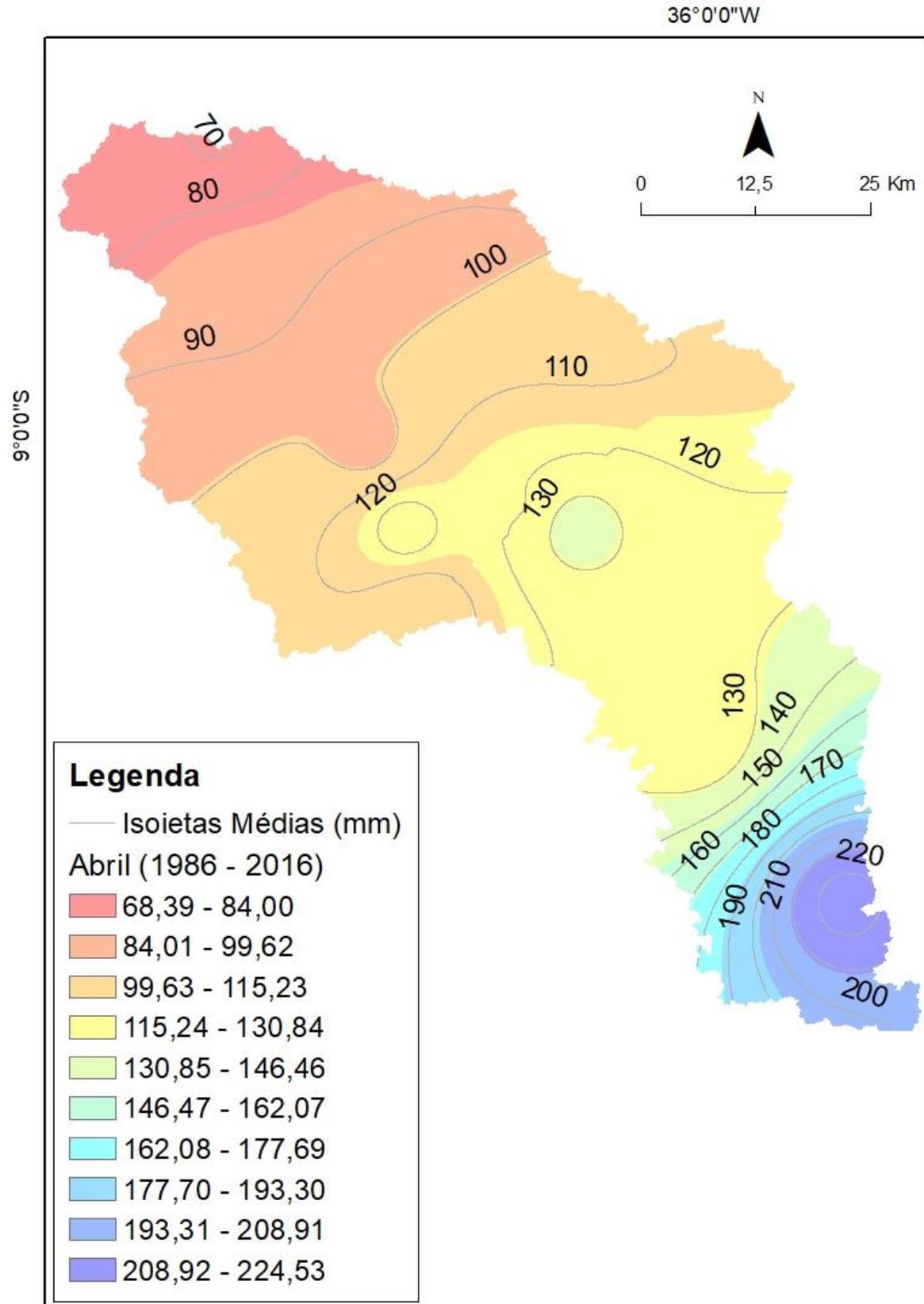
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Figura 11: Precipitação média de março (1986 - 2016)



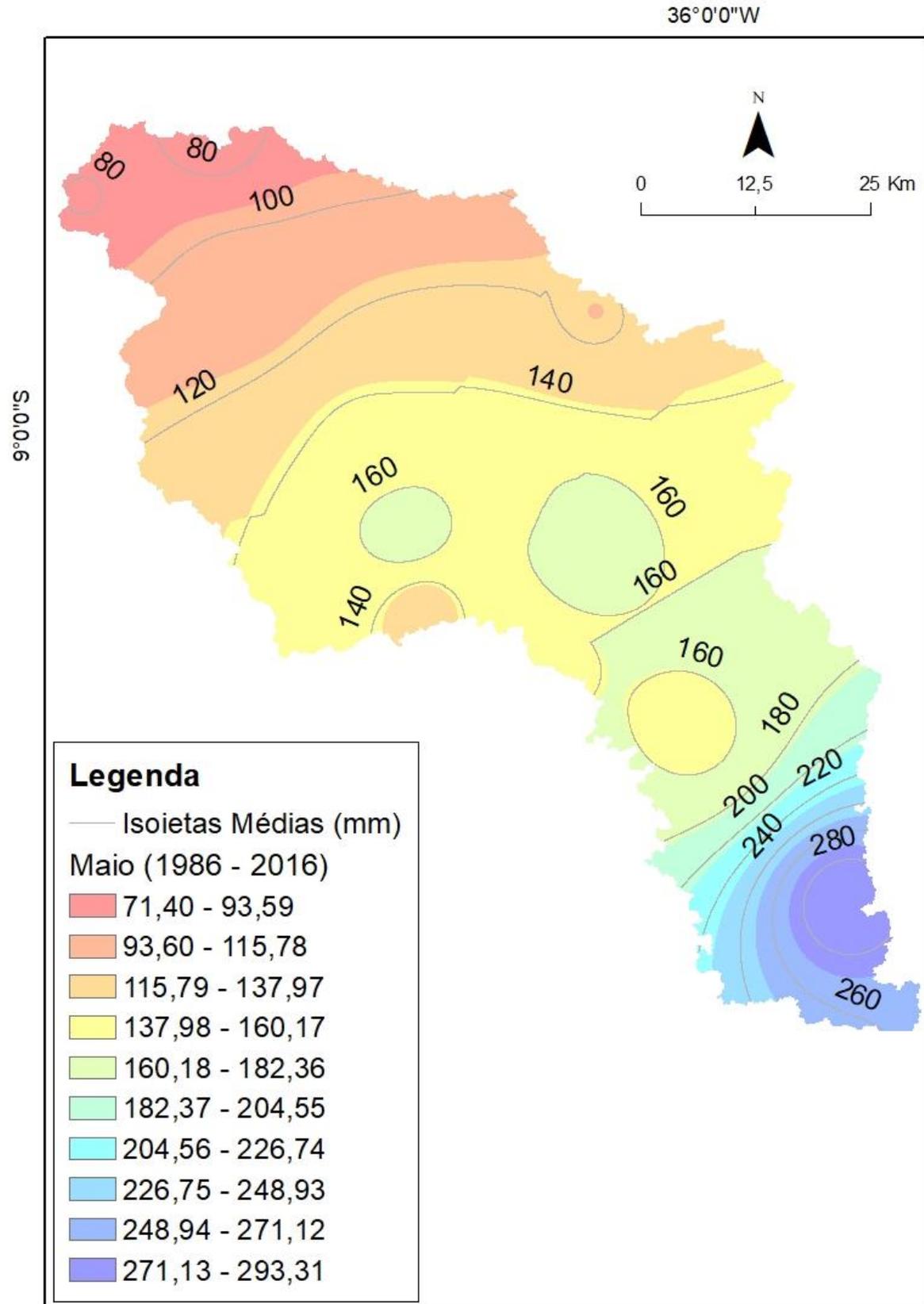
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Figura 12: Precipitação média de abril (1986 - 2016)



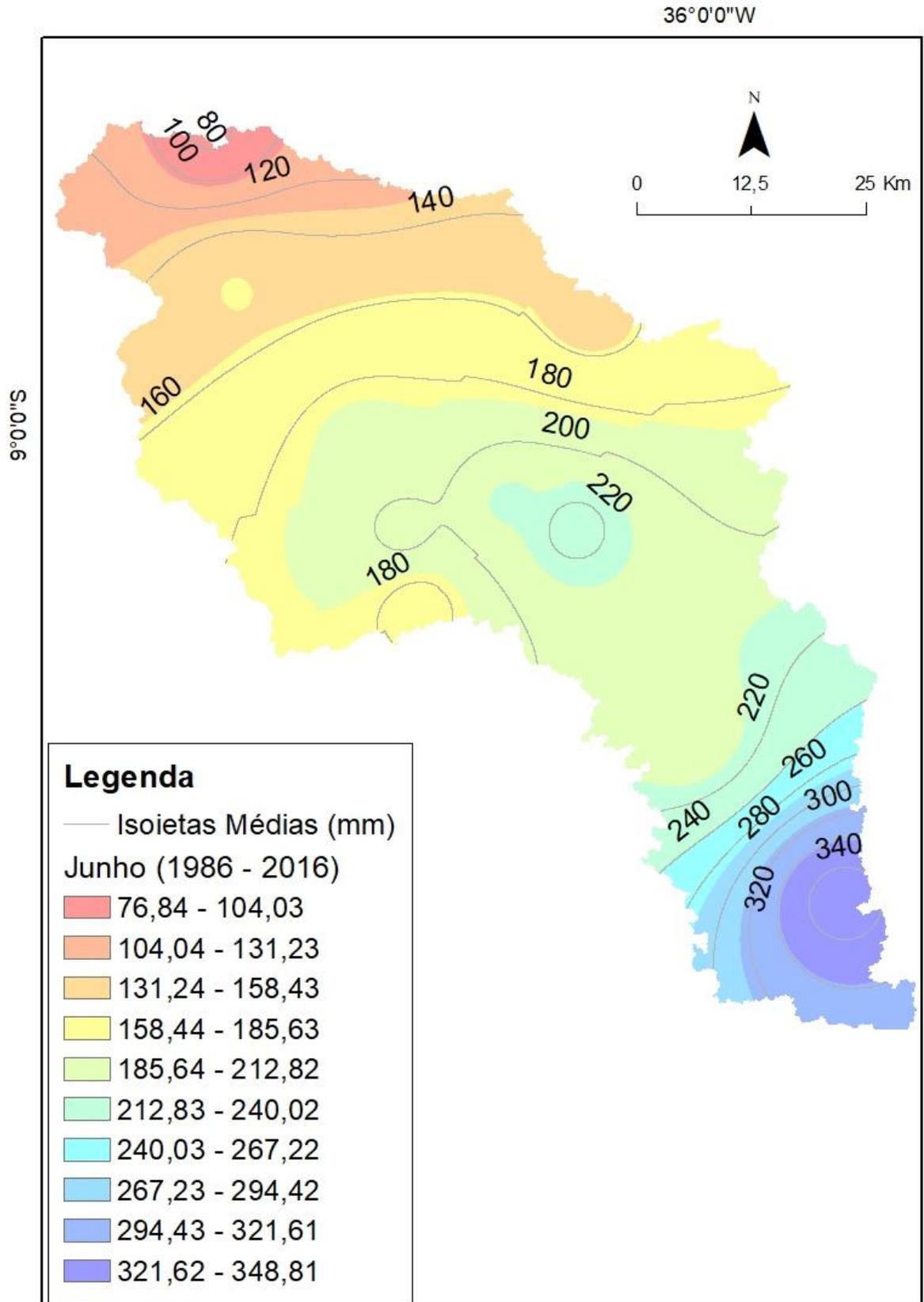
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Figura 13: Precipitação média de maio (1986 - 2016)



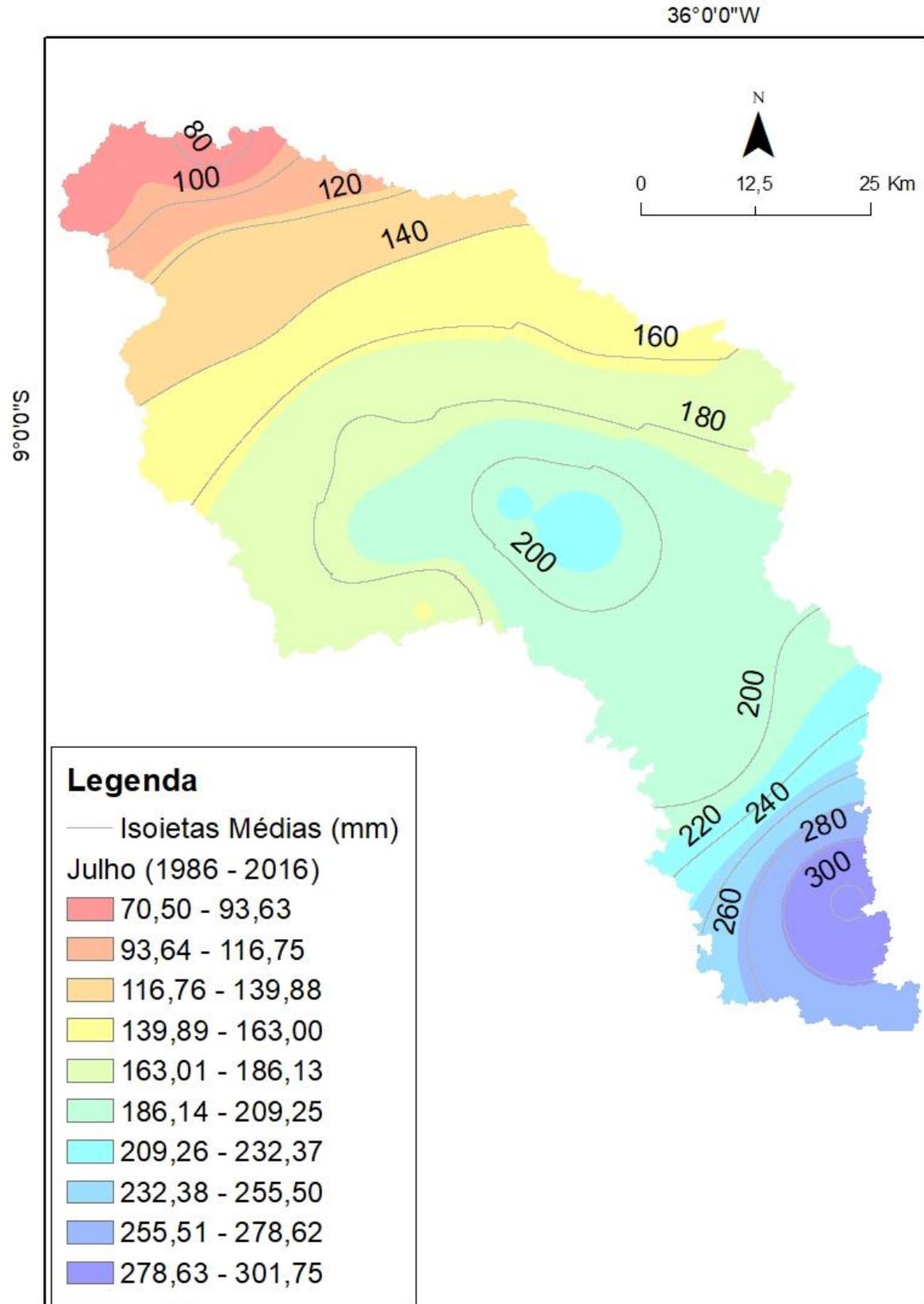
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Figura 14: Precipitação média de junho (1986 - 2016)



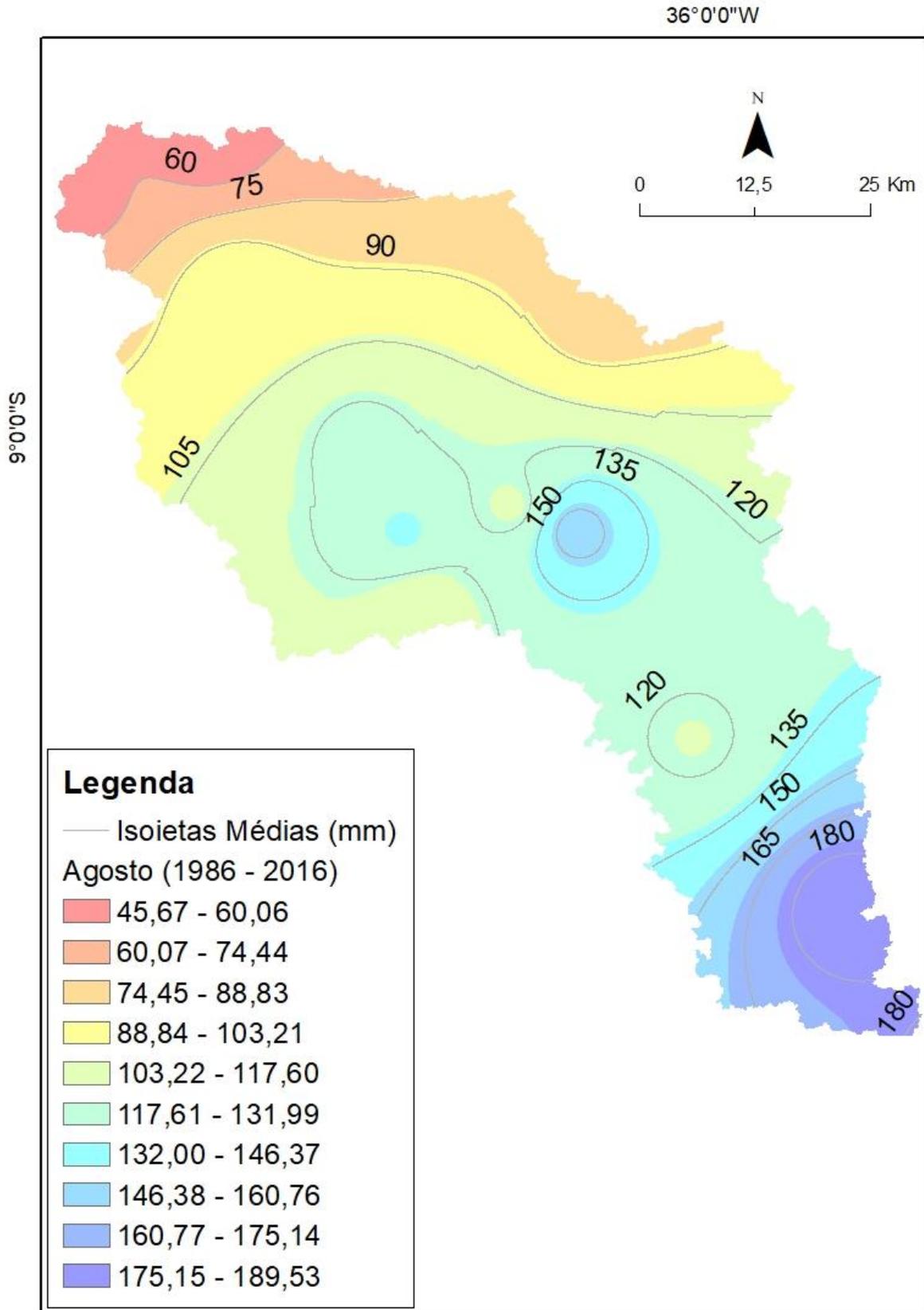
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Figura 15: Precipitação média de julho (1986 - 2016)



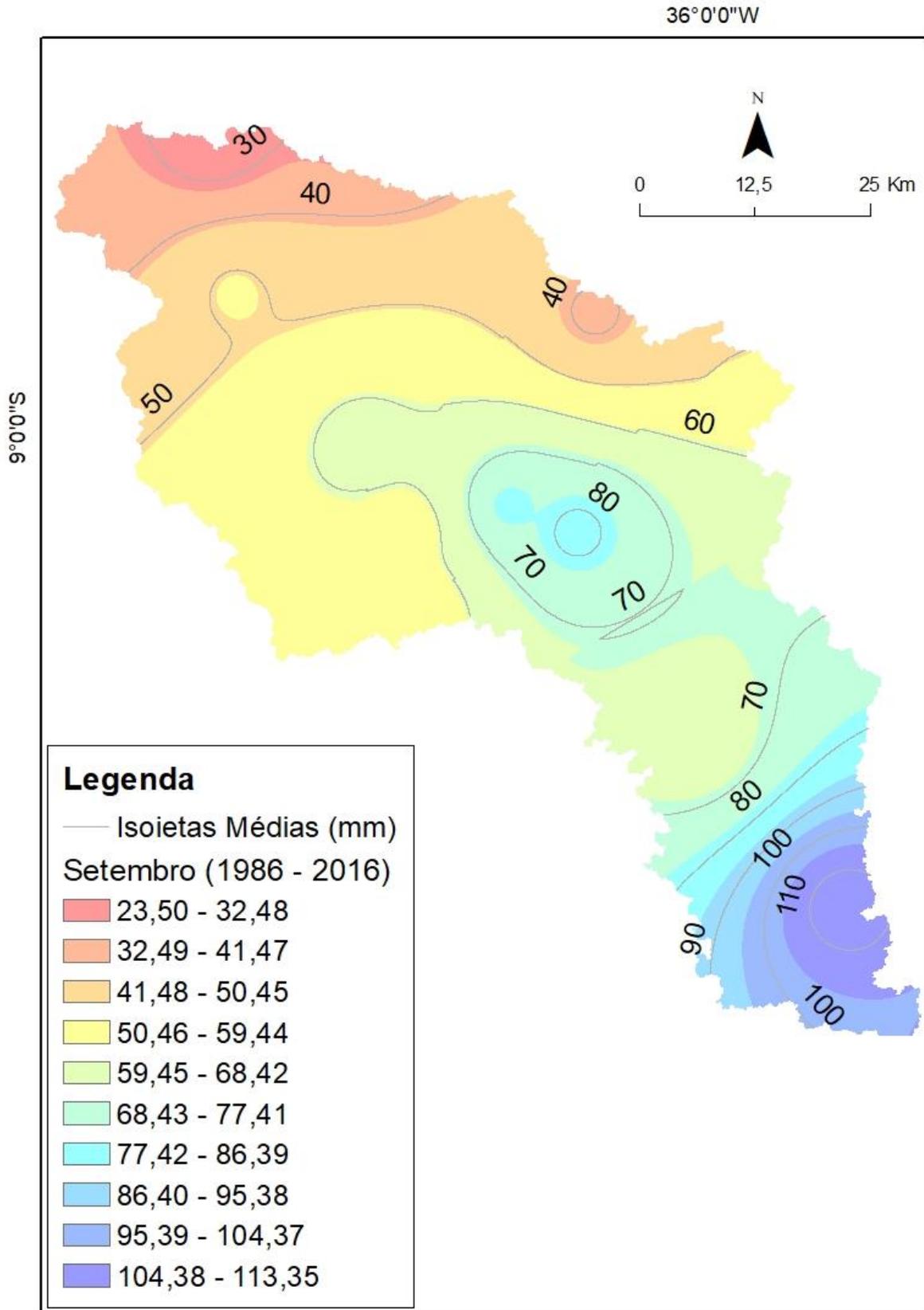
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Figura 16: Precipitação média de agosto (1986 - 2016)



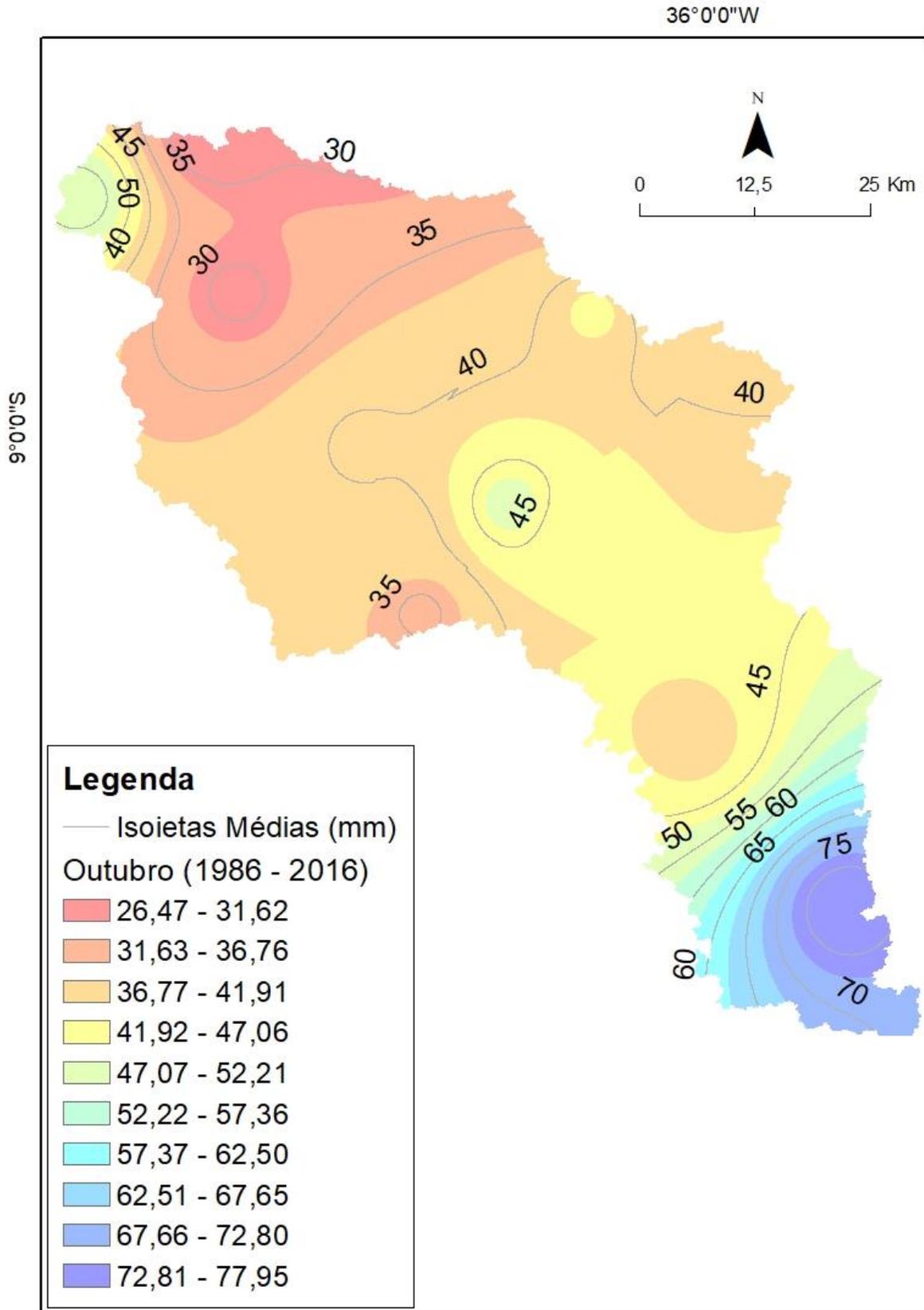
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Figura 17: Precipitação média de setembro (1986 - 2016)



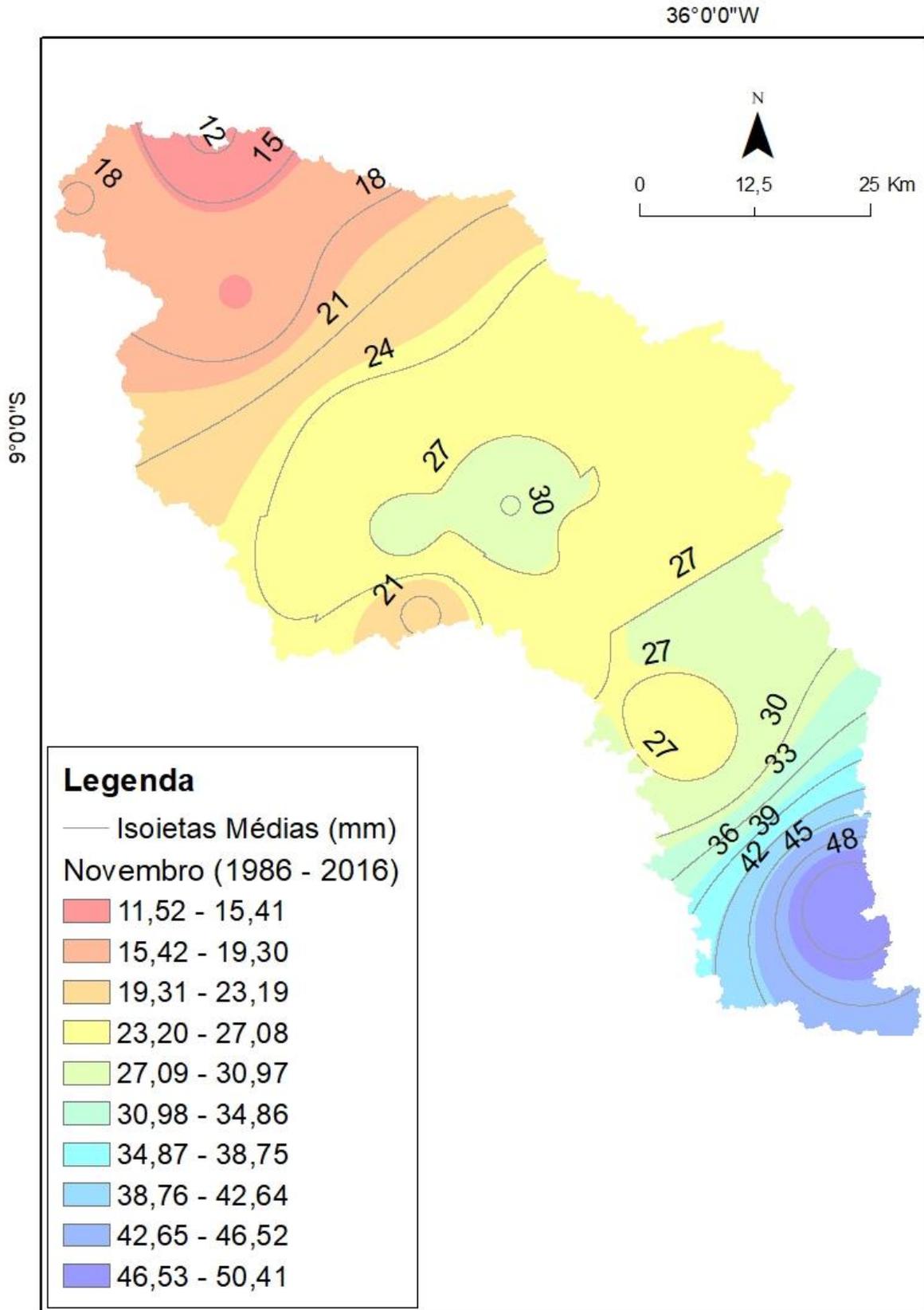
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Figura 18: Precipitação média de outubro (1986 - 2016)



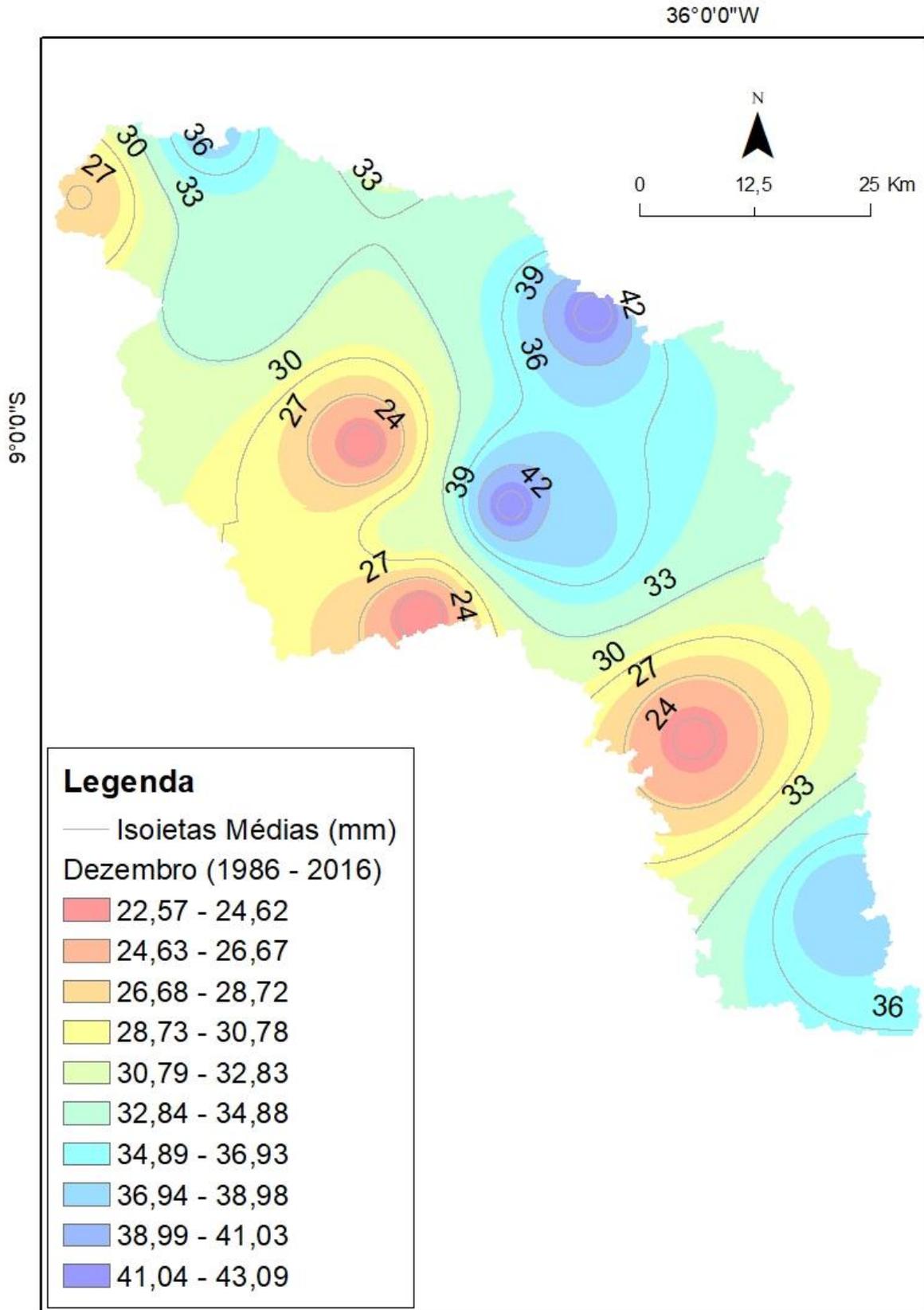
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Figura 19: Precipitação média de novembro (1986 - 2016)



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Figura 20: Precipitação média de dezembro (1986 - 2016)



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Nas Figura 21, 22 e 23, podemos observar a média dos quadrimestres da BHRM e compará-los. O quadrimestre mais chuvoso do ano é o segundo, correspondendo aos meses de maio, junho, julho e agosto (Figura 22).

Este quadrimestre é especialmente favorável para o armazenamento de água nos reservatórios pernambucanos, assim como para a recarga dos lençóis freáticos em toda a bacia. É também o quadrimestre que de certo modo determina, conforme a quantidade de chuva precipitada, se os pequenos produtores rurais terão resultados satisfatórios ou insuficientes, economicamente falando, no agreste pernambuco.

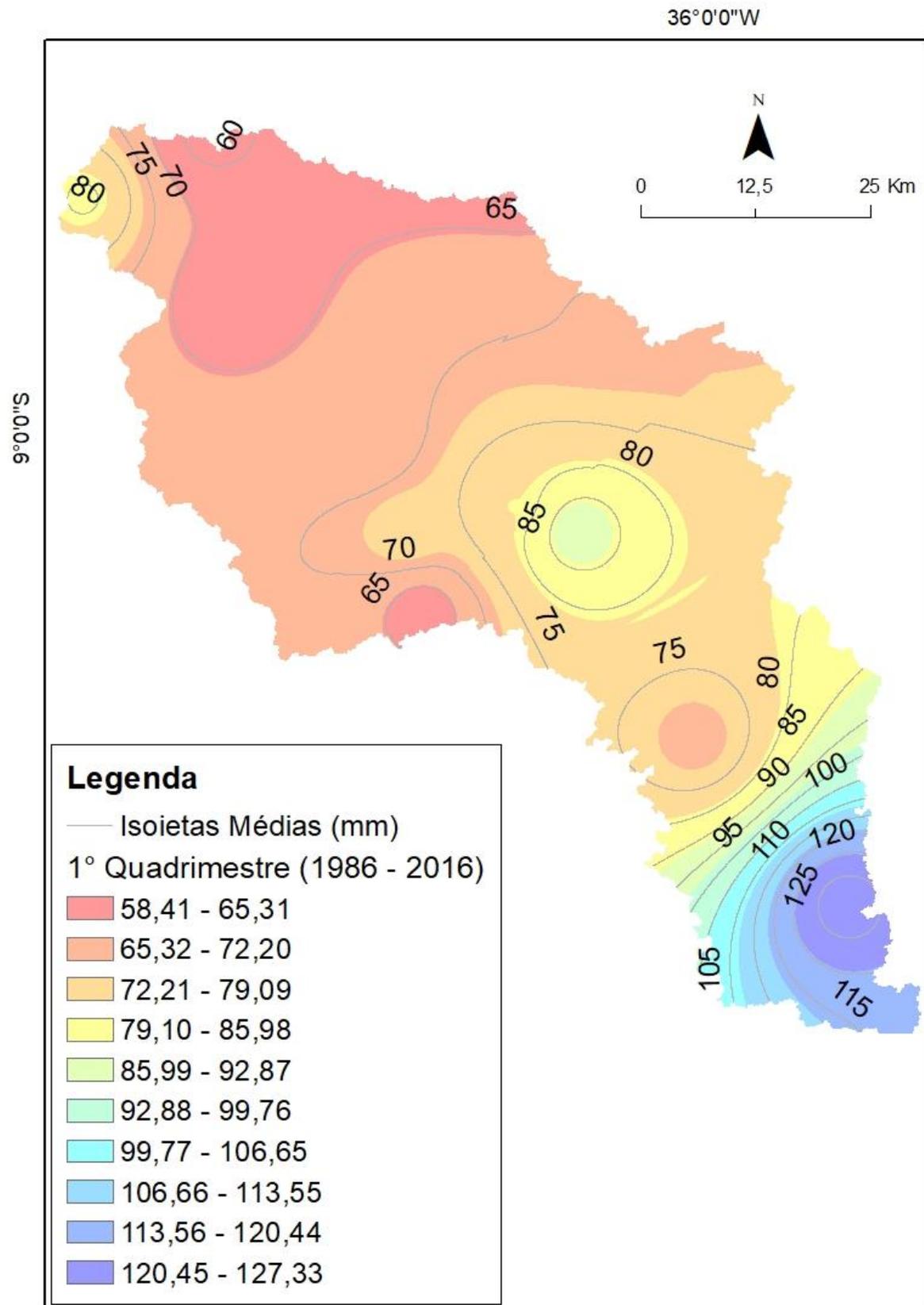
Segundo o Plano Diretor de Recursos Hídricos da BHRM (CONSULTORIA TÉCNICA LTDA.,1999), as atividades de uso e ocupação da terra da BHRM, que predominam em Pernambuco é a agropecuária, cobrindo 70,4% da área da bacia, enquanto que em Alagoas, são as atividades agrícolas de cana-de-açúcar que predominam, correspondendo a 21,76% da área da BHRM.

Como já citado antes, a BHRM têm como base de sua economia as culturas agropecuárias. Em Pernambuco esse quadrimestre é essencial para os pequenos agricultores, que em sua maioria não utilizam técnicas de irrigação e dependem diretamente das condições climáticas para sua safra ou criação de animais (bovinos, aves, caprinos e suínos). Em anos em que a precipitação desse quadrimestre é baixa, os municípios pernambucanos, podem ter sua economia drasticamente afetada, chegando em alguns casos ao estado de “emergência”, por escassez hídrica.

Já no estado de Alagoas, o segundo quadrimestre representa de modo geral a expectativa de enchentes em vários municípios localizados as margens do rio Mundaú, como Rio Largo, Santana do Mundaú, União dos Palmares, Quebrangulo entre outros. Esses e outros municípios alagoanos, têm históricos de enchentes e alagamentos nesse quadrimestre, principalmente no mês de junho, onde ocorreram os maiores prejuízos causados pela chuva.

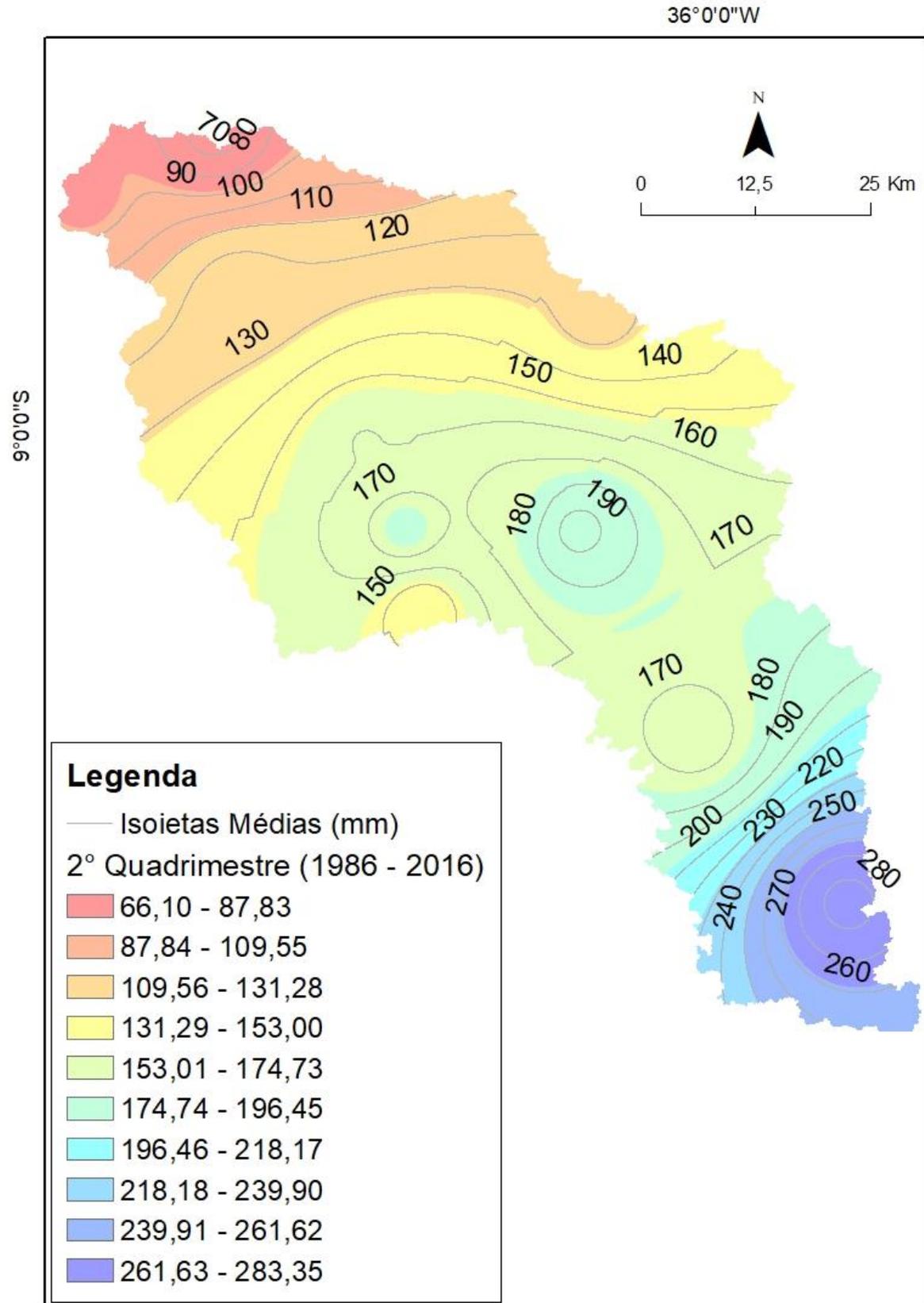
Em pesquisa realizada por Oliveira, Souza & Fragoso Jr. (2014), os autores analisaram o histórico de enchentes ocorridas na BHRM e na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio – que faz fronteira com a do Mundaú, e juntas desaguam suas águas no Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Mangaba (CELMM) em Alagoas, especialmente a cheia ocorrida em junho de 2010, onde os desastres foram tão impactantes principalmente nos municípios alagoanos, que além de ser amplamente noticiado em todo o Brasil, os prejuízos trouxeram consequências que são sentidas até hoje na área afetada.

Figura 21: Precipitação média do 1º Quadrimestre (1986 - 2016)



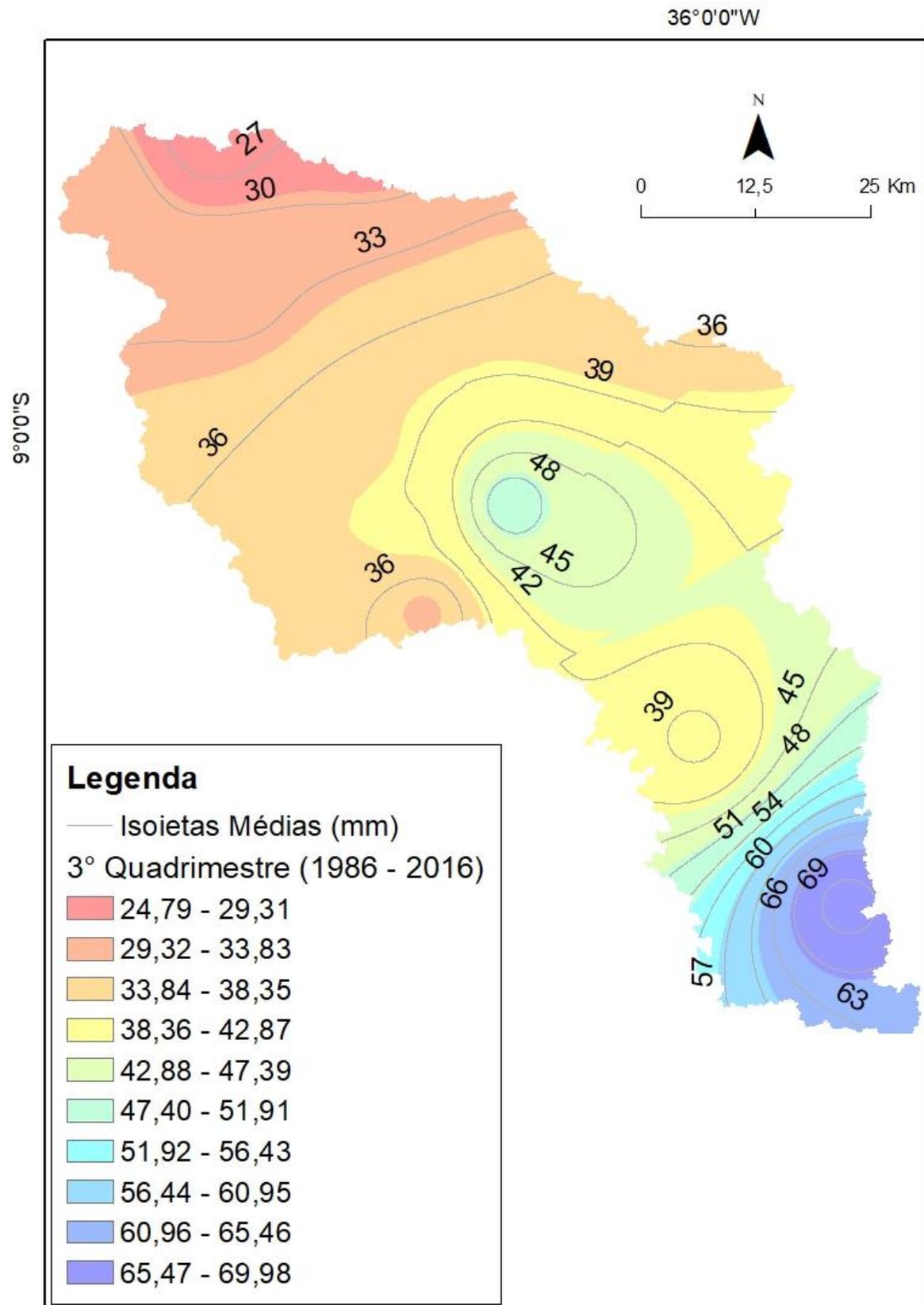
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Figura 22: Precipitação média do 2º Quadrimestre (1986 - 2016)



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Figura 23: Precipitação média do 3º Quadrimestre (1986 - 2016)



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Segundo Oliveira, Souza e Fragoso Jr. (2014), ocorreram cinco grandes cheias (que se tem registros), na BHRM e na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio (nos anos de 1969; 1988; 1989; 2000 e 2010). O total de óbitos decorrentes dessas cheias, segundo esses autores, foram de 1.281, o total de casas destruídas ou danificadas foram de 56.734 e o total de pessoas afetadas foram de 338.347 até a cheia de 2010.

Sobre o primeiro quadrimestre do ano (Figura 21), correspondente aos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, pode-se afirmar que é o segundo mais chuvoso. Na BHRM é a partir de abril que se inicia o ano hidrológico. Também durante esse período ocorrem chuvas fortes e repentinas em várias regiões da BHRM, especialmente nos municípios próximo ao litoral alagoano, como Rio Largo e Macéio.

Já o terceiro quadrimestre: setembro, outubro, novembro e dezembro, (Figura 22) é o mais seco, da BHRM, onde boa parte da população recorre aos reservatórios, para satisfazer seus diversos usos e consumos, devido ao fato da maioria dos afluentes do rio Mundaú serem intermitentes, começando a reduzir sua vazão a partir de agosto.

Nos municípios pernambucanos, em anos muito secos, ainda ocorre a prática de abastecimento por carros-pipa, ou seja, naqueles municípios que não possuem reservatórios com boa capacidade de abastecimento como Caetés e Capoeiras que se deslocam para os municípios mais próximos, como Garanhuns visando abastecer a população local ou dessedentar seus animais.

Em Garanhuns foi inaugurado o reservatório Cajueiro (ou Mundaú II) em agosto de 2010, com capacidade de armazenamento de 14,5 milhões de metros cúbicos, para fortalecer o abastecimento do município e serviu de suporte para o abastecimento de municípios vizinhos nos períodos de escassez hídricas.

Antes da construção do reservatório Cajueiro havia os reservatórios Mundaú (em Garanhuns) e Inhumas (no município de Palmeirina), porém ambos se tornaram limitados para abastecimento, devido o aumento populacional e a eutrofização das águas do reservatório Mundaú. A eutrofização do reservatório Mundaú tornou suas águas inadequadas para o abastecimento e onerosas para o tratamento.

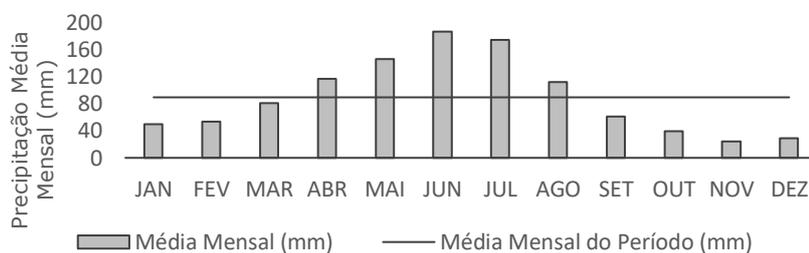
5.1.2 Variabilidade temporal da precipitação

As variabilidades climáticas naturais que afetam o regime pluviométrico global, podem ser definidas, de modo geral em variabilidades anual (ou sazonal), interanual, decenal e multidecenal.

São variações que podem ser observadas em séries históricas da precipitação, são recorrentes e podem afetar positivamente ou negativamente a quantidade de água precipitada numa bacia hidrográfica, assim como também caracterizam a ocorrência de anos muito chuvosos ou muito secos.

Analisando o variabilidade anual das chuvas na BHRM (Gráfico 1), têm-se no mês de junho a maior média (186,09), seguido por julho (173,71mm), maio (146,23mm) e abril (116,35mm). Já os meses mais secos são novembro (24,59mm) e dezembro (28,87mm), respectivamente.

Gráfico 1: Precipitação Média Mensal da BHRM (1986 – 2016).



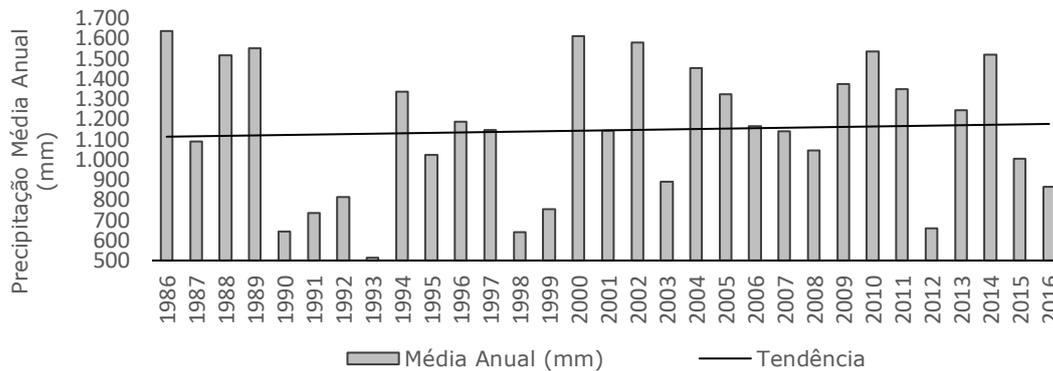
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

A partir da análise dos dados selecionados para a BHRM, no período de 31 anos (1986 a 2016), observa-se que a média anual da precipitação para a bacia é de 1.072mm.

Conforme a Gráfico 2, o ano menos chuvoso do período analisado para a BHRM, foi 1993 (514mm), seguido por 1998 (641mm) e 1990 (644mm), respectivamente. Observa-se que todos eles fazem parte da década de 1990, é que contém a maioria dos anos secos do período, assim também pode confirmar que conforme afirmar Marengo (2009), a década de 1990 foi realmente a mais seca, não só para as regiões do Sul/Sudeste do Brasil mas também para o Norte/Nordeste, assim como confirmou-se nessa análise.

Observando o Gráfico 2, nota-se que o ano mais chuvoso de toda a série foi 1986 (1.637mm). Em seguida têm-se os anos 2000 (1.612mm); 2002 (1.578mm); 1989 (1.550mm) e 2010 (1.535mm).

Gráfico 2: Precipitação Média Anual da BHRM (1986 - 2016).



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Segundo Oliveira, Souza e Fragoso Jr. (2014), os anos de 1989, 2000 e 2010, foram anos onde ocorreram as cheias mais intensas na BHRM, causando óbitos e destruição de casas e atingindo 50.000; 76.000 e 157.124 pessoas, respectivamente.

Apesar do ano de 1986 ter sido o mais chuvoso, foi o ano de 2010 àquele que causou os maiores danos a população. Nesse sentido, torna-se importante analisar as condições de infiltração, drenagem, escoamento e retenção das águas pluviais da BHRM nesses anos, onde choveu bastante mais não causou cheias fortes.

Ainda sobre o Gráfico 2, observa-se uma leve tendência positiva de aumento das chuvas ao longo do tempo, não sendo no entanto, tão significativa, para ser considerada como uma mudança climática, seria necessário analisar uma série muito mais longa para afirmar isso.

Ao analisar o Índice de Anomalia da Chuva (IAC), percebemos algumas diferenças entre os dados anteriores.

Conforme a Gráfico 3, o ano com anomalia negativa mais forte foi 1999, ano de La Niña Moderado (Tabela 4) e o que apresentou a maior anomalia positiva foi 2010, ano de El Niño Fraco (onde ocorreu a maior cheia que se tem registros na BHRM). Observa-se também que a segunda maior anomalia positiva ocorreu no ano de 2004 e em terceiro lugar 2001 (anos El Niño Fraco e Moderado respectivamente).

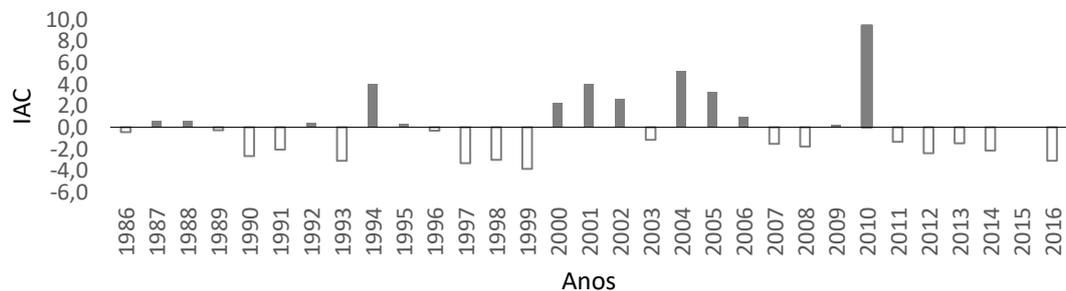
Tabela 4: Ocorrências de ENOS entre 1986 - 2016

Ocorrências de ENOS	
Ocorrência de El Niño	Ocorrência de La Niña
1986-1988 (Moderado)	1988-1989 (Forte)
1990-1993 (Forte)	1995-1996 (Fraco)
1994-1995 (Moderado)	1998-2001 (Moderado)
1997-1998 (Forte)	2007-2008 (Forte)
2002-2003 (Moderado)	
2004-2005 (Fraco)	
2006-2007 (Fraco)	
2009-2010 (Fraco)	

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do INPE, [2017](#).

É possível observar que as maiores anomalias negativas ocorreram na década de 1990 que dentre os 10 anos têm 7 abaixo da média, ou seja apenas 3 anos na década de 1990 superaram a média pluviométrica. A Tabela 4 mostra que nessa década houve mais ocorrências de El Niño do que de La Niña.

Gráfico 3: Índice de Anomalia da Chuva da BHRM (1986 - 2016).



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Ao analisar o Gráfico 3, observa-se que há uma variabilidade decenal no regime pluviométrico. Enquanto a década de 1990 possui 7 anos abaixo da média, a década de 2000 é inversamente proporcional, ou seja, possui 7 anos acima da média, sendo portanto considerada um década chuvosa.

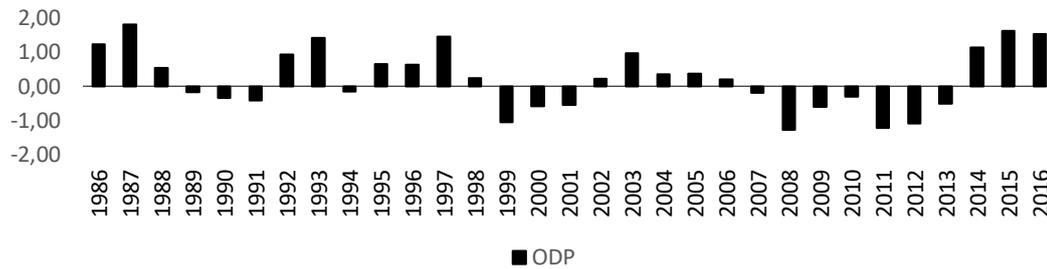
Conforme a análise dos resultados encontrados através do IAC para o período de 1986 à 2016 (Gráfico 3), podemos observar que há alternâncias decenais no período de 7 à 10 anos, não se comprovando escalas maiores do que isso. Também observa-se, que há picos menores, geralmente na escala de 3 anos.

No IAC analisado para a BHRM, dos 31 analisados (de 1986 à 2016), têm-se 14 positivos e 17 negativos. Observa-se que apesar da maioria dos anos estarem abaixo da média

para o período analisado, ainda assim, há uma leve tendência positiva no total, ou seja, é possível que eventos extremos estejam contribuindo para essa tendência. Já na década seguinte, a partir de 2010, observa-se uma redução da precipitação.

O Gráfico 3, também demonstra que além da variabilidade interanual também há uma variabilidade interdecadal, com perceptíveis alternâncias que em alguns anos, coincidem com as variações da ODP para o mesmo período, porém, em outros não. As variações da ODP estão expostas no Gráfico 4:

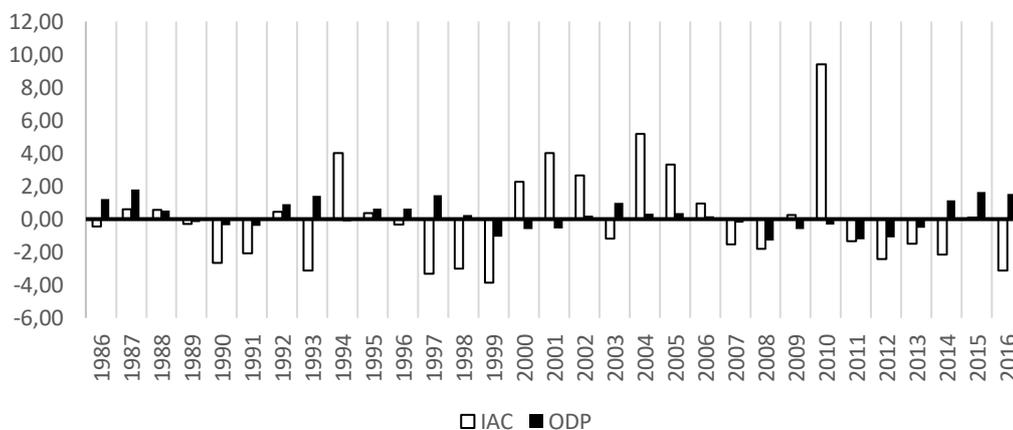
Gráfico 4: Oscilação Decadal do Pacífico - ODP (1986 - 2016).



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do [Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean, 2017](#).

No Gráfico 5, observa-se a relação do IAC com a ODP. Dos 31 anos analisados. Ao analisar todo o período, observa-se que conforme o IAC, ocorreram 17 anos secos na BHRM, assim como houve 17 anos em que a ODP apresentou dados positivos de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), ou seja, a temperatura esteve acima da média, porém esses anos não são coincidentes de modo geral, na variabilidade interanual, como pode-se observar abaixo:

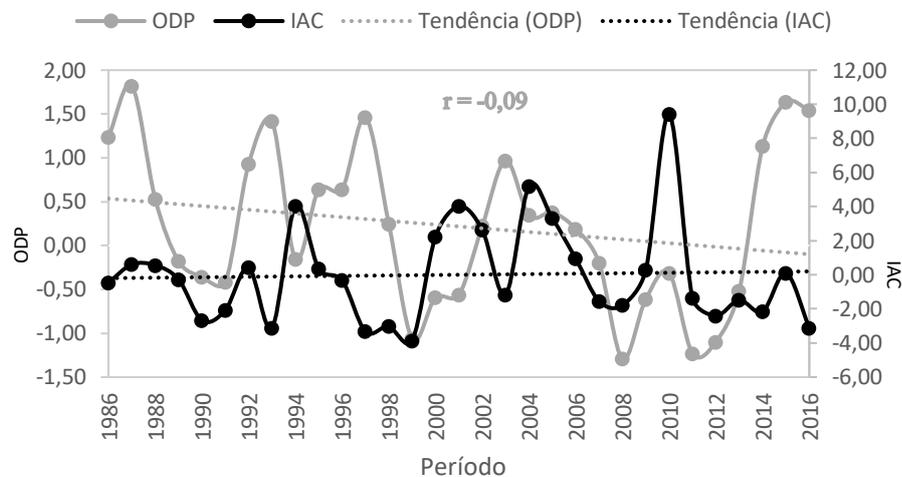
Gráfico 5: Relação entre o IAC e a ODP (1986 - 2016).



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017 e do [Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean, 2017](#).

Ao analisar o Gráfico 6, observa-se a correlação entre o IAC e a ODP. A correlação entre os dois valores, para o mesmo período se mostrou baixa após a realização do cálculo do Coeficiente de Correlação de Pearson (r), (BUSSAB & MORETIN, 2017) onde $r = -0,09$, ou seja, existe uma pequena correlação inversamente proporcional, porém mínima. Isso demonstra que em escala interanual, o IAC da BHRM é pouco afetado pela ODP, mesmo que possua um total de anos secos, conforme a Figura 13, igual ao dos anos em que houve uma ODP positiva, não há correlação interanual

Gráfico 6: Correlação entre IAC e ODP (1986 - 2016).



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017 e do [Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean, 2017](#).

No Gráfico 6, também é possível analisar que para o período estudado (1986 a 2016), houve uma tendência de redução da TSM do Pacífico, o que poderia provocar um aumento significativo das chuvas na BHRM, porém, esse aumento foi mínimo. Isso demonstra que a influência da ODP na BHRM em escala interanual, é pouco relevante, tornando-se necessário correlacionar esses valores em outras escalas espaços-temporais, assim como averiguar outros sistemas climáticos e ambientais que podem estar exercendo uma maior influência sobre a precipitação dessa bacia.

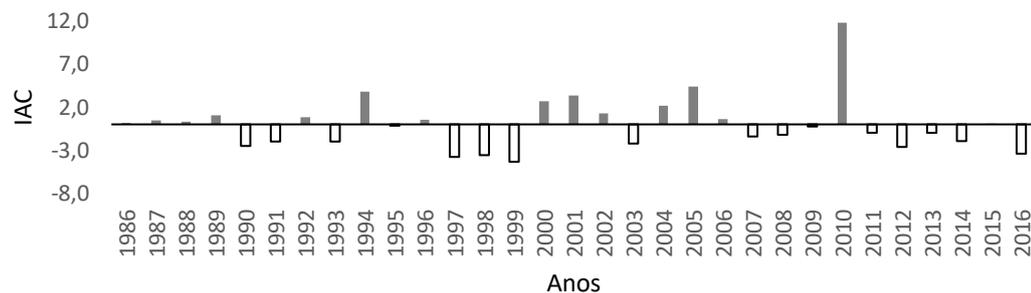
A variabilidade decenal ou multidecenal, é menos analisada do que a variabilidade interanual, segundo Kayano e Andreoli (2009), somente em fins dos anos 1980 foi notada esse tipo de fenômeno no Pacífico Norte, a partir de então vários trabalhos detectaram essas mudanças, tanto no pacífico quanto no atlântico, ainda segunda as autoras: “(...) procura-se esclarecer se a oscilação decenal no Pacífico Norte está relacionada ao ENOS, ou se é uma resposta linear ao ENOS.”(KAYANO & ANDREOLI, 2009. p. 377).

Essas variações, tanto no pacífico quanto no atlântico, não possuem uma alternância bem definida. Kayano & Andreoli (2009), citam trabalhos de pesquisadores que observaram alternâncias em torno de 50 e 17 nos no Pacífico, assim como trabalhos que observaram alternâncias em ambos os lados do Atlântico Tropical, de 10 anos no norte e 14 anos no sul e através de análises espectrais encontraram ciclos de 9 anos (quase decenais), para a vazão dos rios Negro, Paraguai, Paraná e Uruguai, na América do Sul.

Como explicitado anteriormente há grandes diferenças geográficas (especialmente na pluviometria, vegetação e relevo) entre a parte setentrional da BHRM (PE) e a região meridional (AL), tornando-se necessária a análise também entre essas duas regiões.

No Gráfico 7, pode-se observar os resultados do IAC na parte pernambucana da BHRM. Conforme analisado, o ano mais seco em Pernambuco foi o ano de 1999 e o mais chuvoso 2010, o que coincide com o IAC geral da BHRM. Em Pernambuco dos 31 anos analisados houveram 16 anos acima da média e 15 abaixo da média, ou seja a maioria dos anos choveu acima do que se esperava, para esse período.

Gráfico 7: Índice de Anomalia da Chuva para Pernambuco (1986 - 2016).



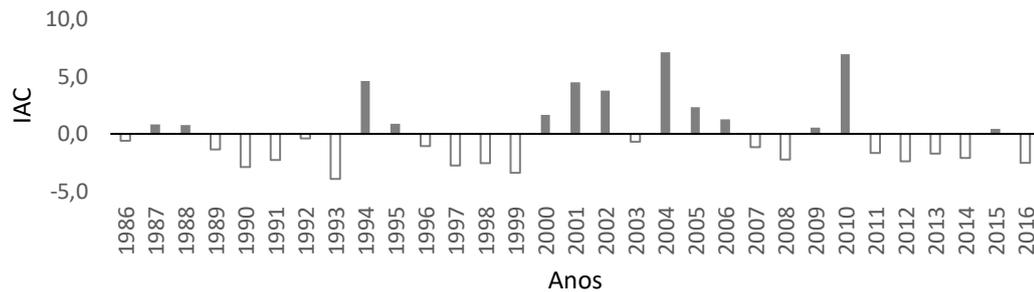
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Já ao analisar o IAC das precipitações na parte alagoana da BHRM (Gráfico 8), observamos uma sensível diferença, sendo o ano mais seco 1993 (ano de El Niño Forte) e o mais chuvoso 2004 (ano de El Niño Fraco).

É importante ressaltar que essa diferença do IAC mais elevado ser 2004 e não 2010, como em Pernambuco e na média geral da BHRM, possivelmente deve-se ao fato de que em 2010, devido a intensidade da enchente ocorrida na bacia, algumas estações hidrometeorológicas em Alagoas foram carregadas, comprometendo a média geral da pluviometria e da fluviometria (FRAGOSO JR, PEDROSA & SOUZA, 2010).

Em Alagoas, dos 31 anos analisados, ocorreram apenas 13 acima da média (IAC positivo) e 18 abaixo da média (IAC negativo), o que de modo geral influenciou no IAC de toda a BHRM.

Gráfico 8: Índice de Anomalia da Chuva para Alagoas (1986 - 2016).



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

De modo geral, tanto em Pernambuco quanto em Alagoas, os anos que obtiveram anomalias muito abaixo da média estão na década de 1990 e os que tiveram o IAC muito acima da média foram na década 2000. Ambos estão dentro da mesma variabilidade decenal dentre a década mais seca ou mais chuvosa da bacia.

5.2 REGIME HIDROLÓGICO DA BHRM

5.2.1 Variabilidade do regime hidrológico

A crescente pressão antrópica sobre a utilização dos recursos naturais nas bacias hidrográficas, têm gerado preocupação, devido ao aumento de problemas ambientais e socioeconômicos, que são intensificados pelo mau uso ou destruição desses recursos.

Em uma bacia hidrográfica o regime hidrológico depende de duas variáveis principais: a quantidade de chuva precipitada ao longo do ano (processos atmosféricos) e a drenagem dessa água para o curso principal (processos terrestres).

Numa bacia de pequeno e médio tamanho e localizada entre o semiárido e o litoral do nordeste brasileiro, como a BHRM, a quantidade de água precipitada na bacia não tem relação direta com a cobertura vegetal da mesma, sendo mais influenciada por fenômenos atmosféricos globais que têm suas origens, geralmente, afastados da bacia, porém a quantidade e qualidade de água acumulada na bacia depende muito da cobertura e uso da terra.

O escoamento e infiltração dependerá de aspectos naturais da bacia como: geologia, geomorfologia e altitude assim como de aspectos relacionados ao uso e cobertura da terra, como o nível de urbanização, os tipos e as formas de cultivo do solo.

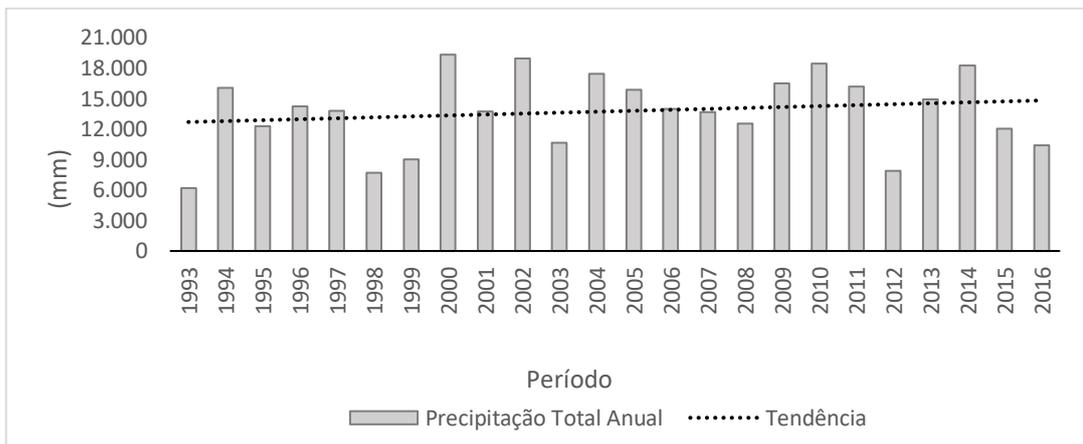
Conforme se utiliza os recursos naturais de uma bacia hidrográfica, essa pode dispor de água quali-quantitativamente suficientes para manter uma boa qualidade de vida de sua população assim como fornecer os recursos essenciais ao desenvolvimento e manutenção de suas diversas formas de vida.

A quantidade de água que chega a uma bacia hidrográfica pequena ou média em tamanho, nem sempre depende das ações humanas, porém, a preservação e boa gestão dessa água, depende essencialmente dos usos aos quais se destina e das decisões antrópicas sobre uso e consumo que se faz dos recursos naturais, como a água, a cobertura vegetal e a terra.

A BHRM é conhecida por suas enchentes periódicas que prejudicam imensamente a população que vive as margens do rio, assim como a economia regional, sempre que isso acontece.

Como pode ser analisado no Gráfico 9, ao longo do período estudado (1986-2016), ficou constatado um leve aumento na precipitação da BHRM. Ao verificar o regime de chuvas da bacia. É importante também o correlacionar ao regime de vazões, para verificar o impacto que este possui sobre aquele.

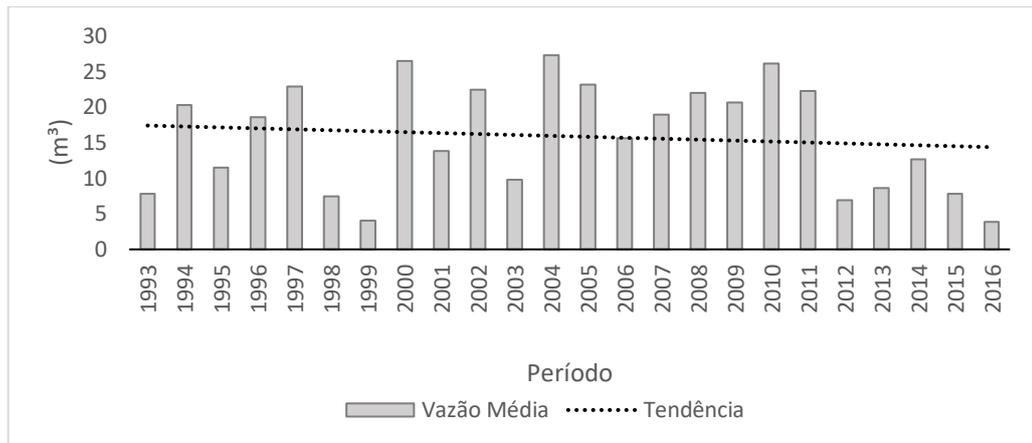
Gráfico 9: Tendência de precipitação total anual da BHRM



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Ao observar os Gráficos 9 (acima) e 10 (abaixo), observa-se que há uma leve tendência de aumento de chuvas na BHRM, ao mesmo tempo em que há uma leve redução da vazão no mesmo período (ao longo de 23 anos). Essa redução pode ter sido provocada pelo aumento do consumo de água em atividades como: abastecimento, irrigação e dessedentação de animais.

Gráfico 10: Tendência de vazões médias da BHRM



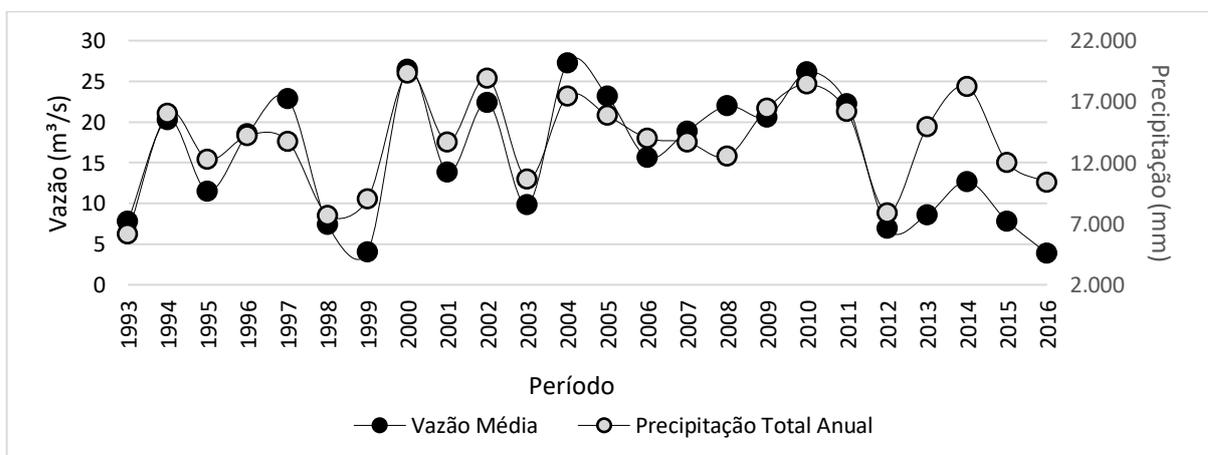
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

O Gráfico 11 mostra com maior detalhe a comparação entre a precipitação e a vazão ao longo do tempo. Observa-se que até o ano de 2012 havia uma correlação muito positiva entre a precipitação e a vazão da BHRM, o que em outros termos sugere uma incapacidade evidente da bacia em reter essa água através da infiltração e da recarga de lençóis freáticos.

Isso indica que a BHRM não tem boa capacidade de reter a água da chuva por muito tempo, ou seja, é uma bacia extremamente vulnerável a enchentes causadas pelo escoamento superficial.

Em parte, isso explica que apesar das precipitações não serem escassas de modo geral na bacia a água não fica retida no solo, mas, é escoada rapidamente para a foz da bacia e por isso há com frequência secas na região alta da bacia (parte pernambucana) e cheias na parte baixa (parte alagoana).

Gráfico 11: Impacto da precipitação na vazão da BHRM.



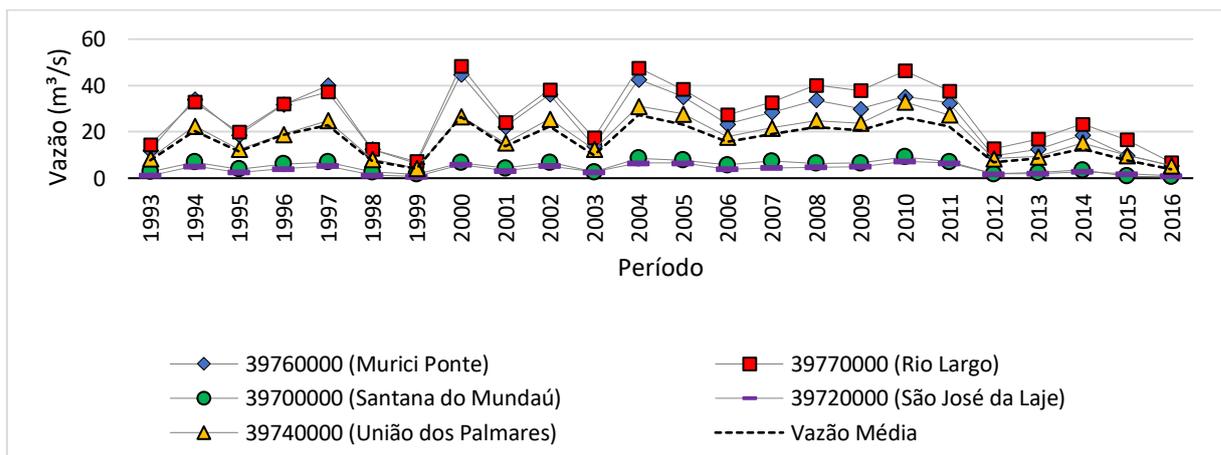
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Para uma melhor compreensão do fenômeno fez-se necessário analisar comparativamente as vazões dos diferentes postos fluviométricos para o mesmo período. No Gráfico 12 (abaixo) observa-se que o posto com maior vazão é justamente o que acumula e drena a maior parte da bacia (Posto 29770000). Esse posto está localizado no município de Rio Largo em Alagoas, o mais próximo da foz. O município de Rio Largo tem sido cenário de destruição por cheias da BHRM com certa frequência. No ano de 2010 houve destruição de mais de 300 casas localizados próximas ao leito do rio, havendo inclusive vários óbitos. Alguns noticiários de âmbito nacional chegaram a citar a situação do município como “cenário de guerra”. Segundo Fragoso Junior, Pedrosa & Souza (2010), para remediar a situação o governo federal anunciou na ocasião a liberação de 1 bilhão de reais.

Não obstante, há registros de destruição em vários outros municípios alagoanos ao longo de muitas décadas como em São José da Laje, União dos Palmares, Murici, Branquinha entre outros.

Observa-se que como o passar dos anos os problemas se repetem sem que haja soluções efetivas. Segundo Fragoso Junior, Pedrosa & Souza (2010) ao longo dos últimos 100 anos foram registradas 7 grandes cheias: 1914, 1941, 1969, 1988, 1989, 2000 e 2010. Sendo a mais perigosa a que aconteceu no ano de 1969 onde apenas na cidade de São José da Laje (município alagoano localizado na divisa do estado de Pernambuco) morreram cerca de 400 pessoas.

Gráfico 12: Comparação da vazão entre postos fluviométricos da BHRM.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Além da variabilidade climática da BHRM que em certos anos dispõe de intensa precipitação, outros aspectos devem ser considerados, como a cobertura e uso da terra da bacia, ou seja, o uso que se faz dos recursos naturais da bacia.

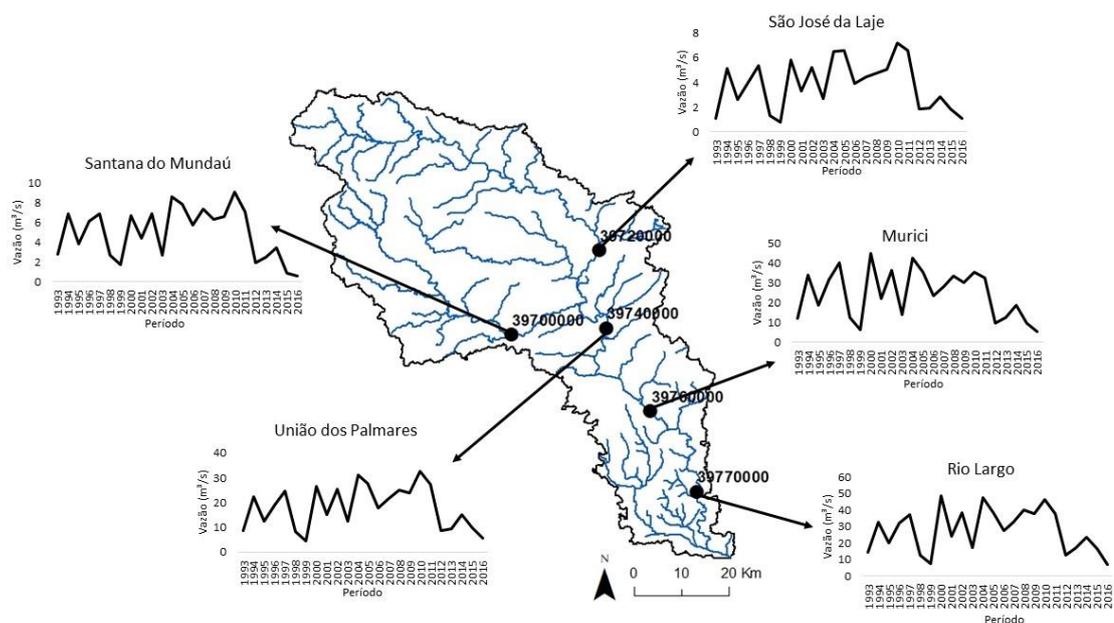
Em situações de enchentes e cheias de rios, algumas soluções imediatistas podem ter pouco efeito. Preventivamente a população deve ser realocada das áreas de riscos não apenas durante ou após eventos extremos.

A falta de planejamento e gestão dos recursos naturais da bacia acaba tornando problemas gravíssimos em ordinários, pois a população afetada que é realocada durante o desastre sem um programa de continuidade e educação ambiental, acompanhado de planejamento urbano, acaba voltando a morar e viver em extrema vulnerabilidade as margens do rio Mundaú.

É importante também analisar que a bacia hidrográfica é um sistema ambiental e deve ser considerada em sua integralidade na busca de soluções para problemas aparentemente pontuais. Apesar das cheias terem afetado de forma mais intensa o povo alagoano, as causas desses problemas podem se encontrar distante deles, ou seja, a forma como a terra é usada em Pernambuco tem efeitos diretos sobre as cheias de Alagoas.

Nesse sentido a busca por soluções devem ser feitas de forma planejada e articulada entre os diferentes órgãos do poder público, da sociedade civil organizada e da iniciativa privada, abarcando os diversos setores sociais e os diferentes saberes de forma preventiva para proteger a vida daqueles que se encontram desalentados e vulneráveis nessas circunstâncias e reduzir os gastos públicos com medidas emergências e remediativas que muito oneram os cofres públicos.

Figura 24: Localização e vazão dos postos fluviométricos da BHRM.



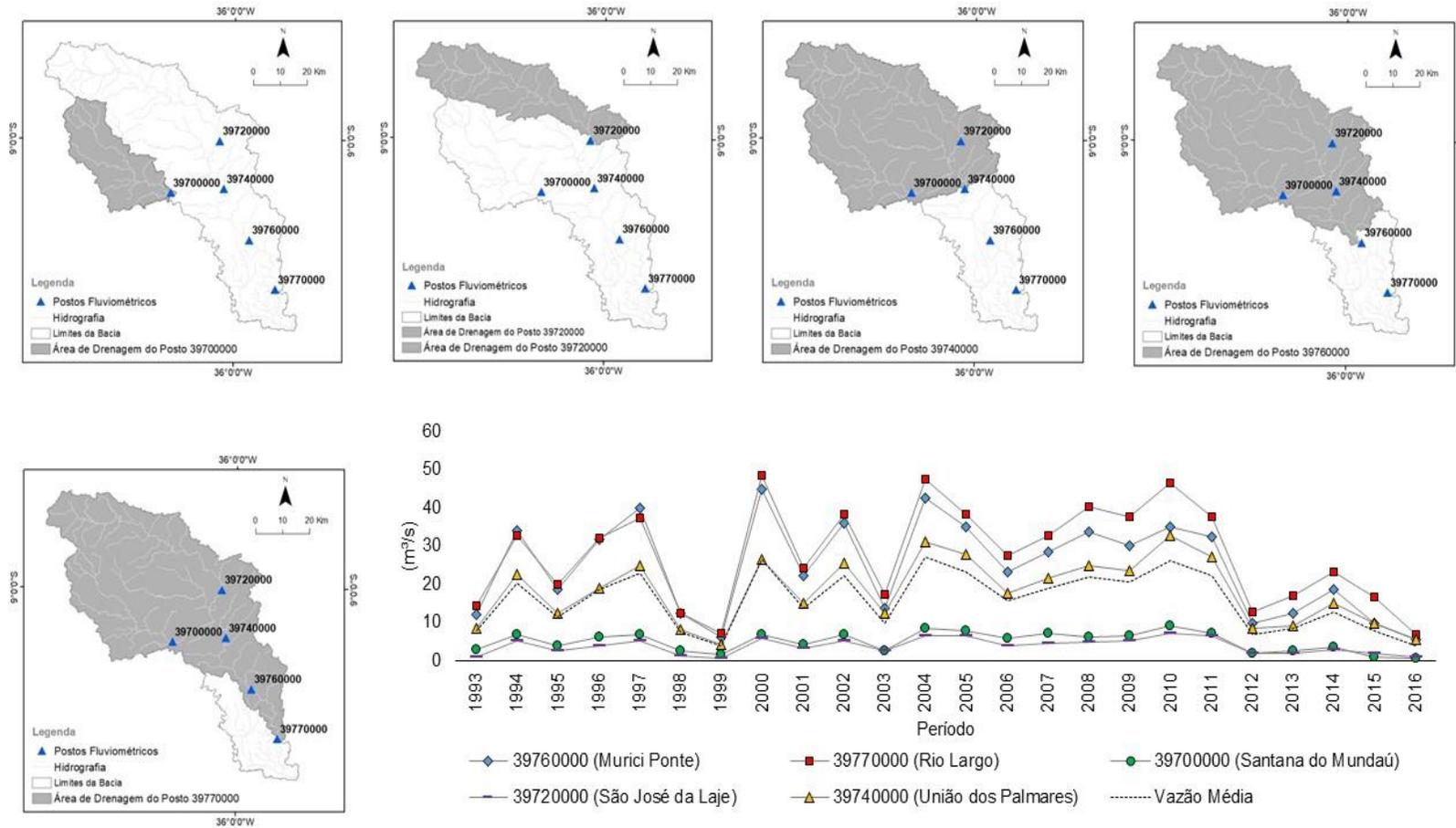
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Na Figura 24 podemos observar a localização dos postos fluviométricos analisados nesse trabalho e as similitudes no regime hidrológico entre eles. Observa-se que a oscilação das vazões apresenta características semelhantes temporalmente com relação ao aumento ou redução da intensidade.

As diferenças se encontram no volume escoado. Sendo as estações mais próximas de PE (parte alta da bacia) aquelas que apresentam menor volume, isso tem relação direta com o volume de precipitações da parte pernambucana que é significativamente reduzido, conforme apresentou SILVA et al (2018) num estudo que mapeou e caracterizou essa distribuição espacial.

Na Figura 25, podemos observar as áreas de drenagem de cada posto fluviométrico onde podemos comparar com os volumes medidos em cada estação. Observa-se que o posto que possui as menores vazões é o de São José da Laje, apesar da área de drenagem ser maior que a de Santana do Mundaú. Isso pode ser explicado por essa região se encontrar localizada em sua maior parte dentro do semiárido nordestino e possuir menores taxas de precipitação ao longo do ano.

Figura 25: Área de drenagem de cada posto fluviométrico da BHRM.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Em setembro de 2010, após uma catastrófica enchente na BHRM que atingiu principalmente os municípios alagoanos (ocorrida em junho do mesmo ano), foi inaugurado em Pernambuco (no município de Garanhuns) o reservatório Mundaú II (Novo) com capacidade de armazenamento, segundo a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA, 2017), de 14,5 milhões de metros cúbicos.

Havia na construção desse reservatório a expectativa de que ele além de abastecer a população de cerca de 10 municípios do mesorregião de Garanhuns¹, município onde ele se localiza e que encontra-se no Agreste de Pernambuco, também pudesse servir como regularizador das vazões em Pernambuco, podendo assim, contribuir para a redução de cheias em Alagoas, porém como podemos observar no Gráfico 13 e na Figura 26 (abaixo), a construção desse segundo grande reservatório em Pernambuco não alterou significativamente o regime hidrológico da bacia, ou seja, o gráfico mostra que após a construção do reservatório houve redução da vazão no leito do rio medido em Santana do Mundaú, mas, também houve nas outras estações fluviométricas.

A redução da vazão nas outras estações poderia ser explicada como sendo em decorrência dessa. Porém, para confrontar essa suposição, foi correlacionada a vazão de outra estação que não sofre influência dessa primeira, a de São José da Laje e como pôde ser observado ambas mantiveram um regime hidrológico semelhante com uma correlação de $r=0,95$.

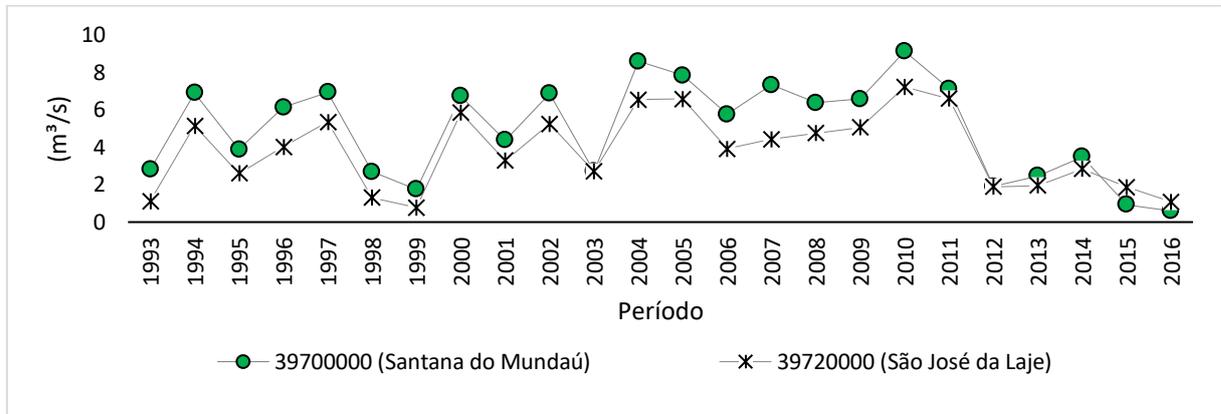
Isso demonstra em outras palavras que o reservatório construído no alto curso do Mundaú não teve eficiência em regularizar a vazão da bacia na parte pernambucana e/ou alagoana, servindo simplesmente para acumular água e disponibilizá-las em maior quantidade no período de seca, mas, não teve impacto significativo sobre a redução de enchentes da BHRM.

Essa constatação nos leva a refletir sobre a verdadeira eficiência das medidas estruturais para resolver problemas de enchentes e cheias. Fica evidente que nessa circunstância não serviu. A partir disso, faz-se necessário analisar o efeito de medidas conservacionistas (como o reflorestamento de nascentes e margens do rio e o cultivo adequado do solo, assim como o incentivo do uso de técnicas mais adequadas da drenagem urbana como o pavimento permeável, entre outras) para minimizar os impactos de cheias na BHRM².

¹ No período de estiagem ainda é comum a distribuição de água nos municípios da mesorregião de Garanhuns por carros-pipas, retirando água dos reservatórios desse município e transportando essa água para habitantes de municípios vizinhos.

² É essencial também analisar a escassez de saneamento básico, principalmente no que tange a destinação e tratamento adequados dos efluentes líquidos, que em sua maioria são despejados nos corpos hídricos da BHRM, inviabilizando o uso da água de rios e alguns reservatórios no período de estiagem, devido o alto grau de poluição.

Gráfico 13: Análise do impacto da construção de reservatórios na regularização da vazão da BHRM.



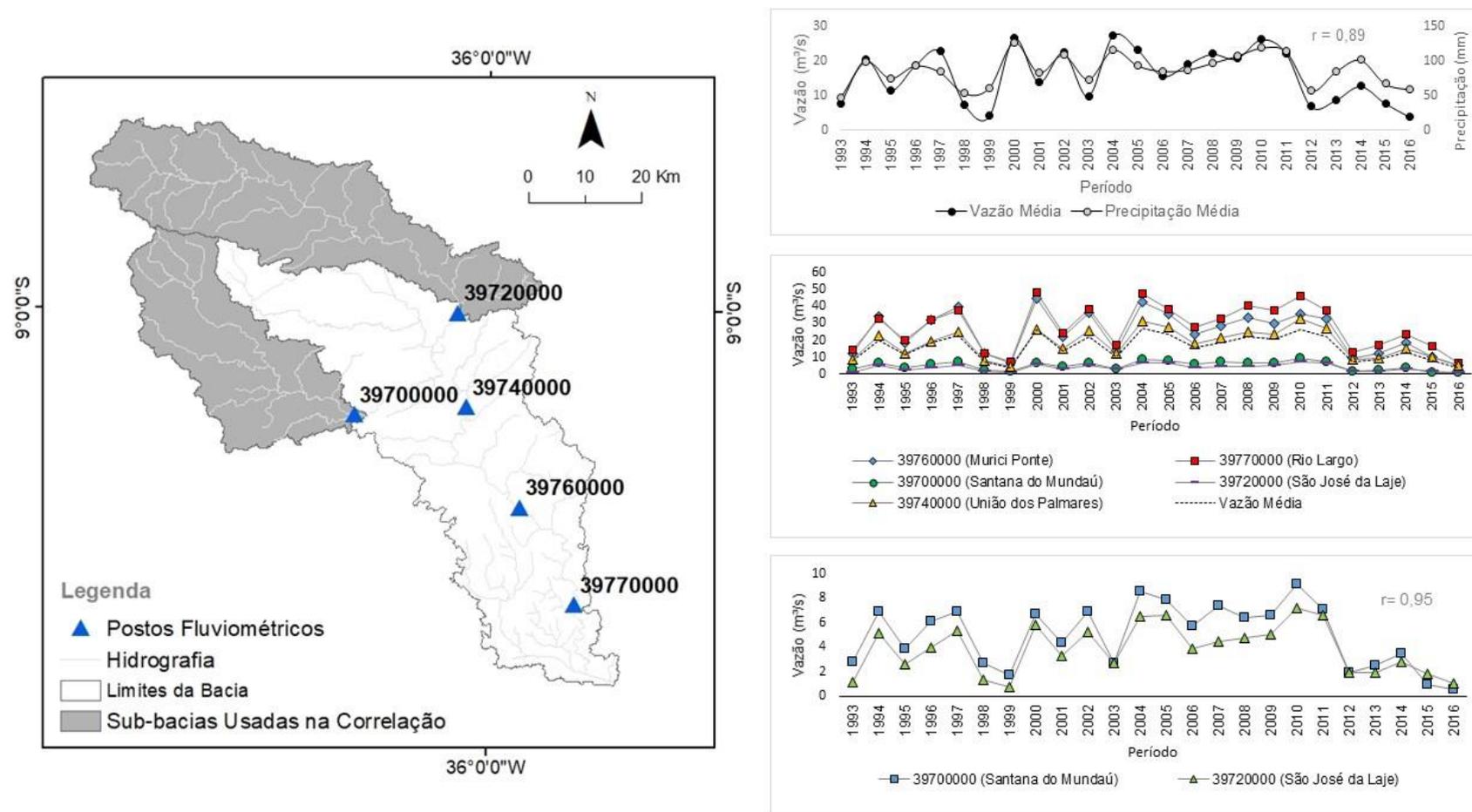
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

É importante analisar no Gráfico acima, que a partir de 2010, ano da construção do reservatório Mundaú II (Cajueiro), houve uma redução da vazão medida na estação fluviométrica de Santana do Mundaú que drena a região do reservatório, provavelmente devido a um maior uso e consumo da água represada, por parte da população pernambucana. Mas, não alterou o regime hidrológico, que seguiu acompanhando as oscilações semelhante aos outros postos fluviométricos.

A água retirada para o consumo dos municípios que dependem desse reservatório em PE, dependendo do uso que dele é feito pode retornar imediatamente ao leito do rio como efluente doméstico (tratado ou não), ou águas usadas na indústria e irrigação imediatamente.

Nesse sentido é necessário observar se essa região tem sua capacidade de infiltração natural preservada pelo uso da terra, através da cobertura vegetal que a mesma dispõe, como será analisado mais adiante.

Figura 26: Análise da construção de reservatórios na BHRM.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017..

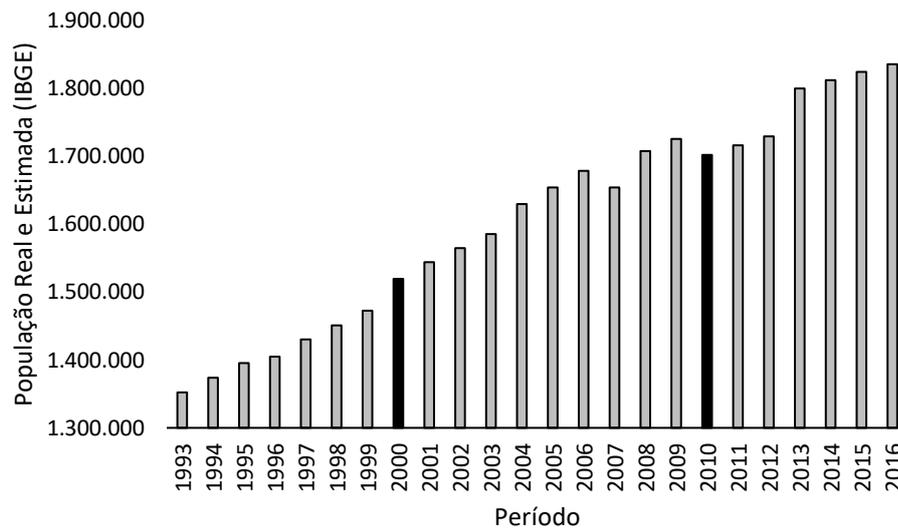
5.2.2 Crescimento populacional e regime hidrológico

O crescimento populacional pode afetar diretamente no regime hidrológico de uma bacia hidrográfica e fomentar a necessidade de planejar e gerir melhor os recursos hídricos da mesma. Para assegurar a disponibilidade de água para os diversos usos que dela são feitos torna-se necessário analisar não só os dados absolutos do censo demográfico, realizado pelo IBGE nos anos de 2000 e 2010, como também a tendência que o mesmo estima.

No Gráfico 14, observa-se a soma dos dados absolutos coletados nos anos de 2000 e 2010 para todos os municípios que compõe a BHRM, sendo a população desses municípios correspondente a 1.519.104 e 1.701.427 respectivamente.

Nos demais anos, não houve recenseamento realizada pelo IBGE, porém o mesmo estimou a população desses municípios para cada ano, como pode-se observar abaixo.

Gráfico 14: População absoluta e estimada dos municípios que compõe a BHRM.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE, 2019.

É importante ressaltar que essa população corresponde a soma total dos habitantes de cada município, porém como já foi explicado anteriormente, nem toda essa população está inserida dentro da BHRM, já que alguns municípios não estão inseridos totalmente na bacia, apenas parcialmente. Nesse caso, a população que realmente ocupa a BHRM, seria bem menor caso fosse medida apenas àquela que reside dentro dos limites da bacia supracitada.

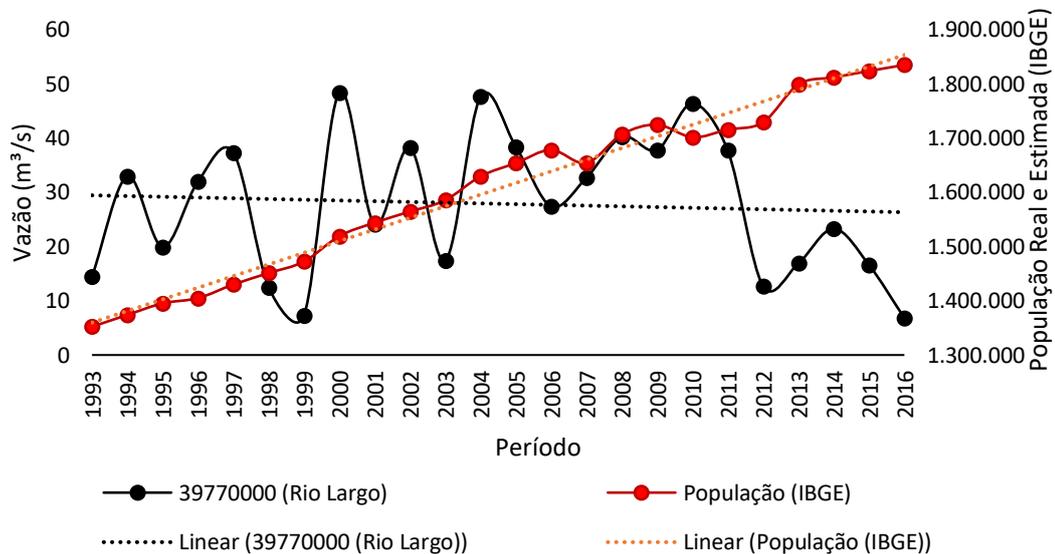
Outro aspecto que deve ser considerado é o município que tem a maior população é o de Maceió (AL), com 797.759 habitantes em 2000 e 932.608 habitantes em 2010, porém, possui apenas 2% de sua área dentro dos limites da BHRM, segundo Gomes (2015).

A segunda maior população da BHRM é a do município de Garanhuns (PE), com 117.749 habitantes em 2000 e 129.392 habitantes em 2010. Este por sua vez possui 83% de seu território dentro dos limites da BHRM, segundo Gomes (2015).

Os outros municípios que compõem a bacia possuem uma população menor que 100.000 habitantes.

No Gráfico 15, gerado a partir dos do IBGE e ANA, observa-se que há uma tendência de crescimento da população da BHRM ao longo de 23 anos analisados, o que implica maior uso e consumo de água, enquanto a vazão da bacia tende a diminuir, o que pode acarretar problemas de escassez hídrica caso não se faça um gerenciamento eficiente dos recursos hídricos.

Gráfico 15: Comparação entre crescimento populacional e vazão da BHRM.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017 e do IBGE, 2019.

Ao tratar sobre questões de demanda hídrica em seu livro, Von Sperling (2014), apresenta dados onde mostra que o consumo médio per capita (L/hab.d)³ para a população residente nos estados de Pernambuco e Alagoas, pode variar entre 80 à 100, o que fica abaixo da média nacional que fica em torno de 150 (L/hab.d).

O autor (VON SPERLING, 2015), enfatiza que alguns fatores podem influenciar nesse consumo, entre eles estão:

- Clima;
- Disponibilidade de água;
- Porte da comunidade;
- Condições econômicas da comunidade;

³ L: litro, hab: habitante, d: dia.

- Grau de industrialização;
- Custo da água entre outros.

Conforme características socioambientais da BHRM, a construção de reservatórios torna-se fundamental para garantir os diversos usos que são feitos de suas águas.

5. 2.3 Impacto da construção de reservatórios sobre o regime hidrológico da BHRM

A disponibilidade de águas de boa qualidade tem sido um problema maior do que a escassez de água no Brasil. Diante dessa escassez, os governantes têm procurado solucionar através medidas estruturais que na maioria dos casos são extremamente onerosas e pouco eficientes a longo prazo, em contrapartida pouco se é discutido sobre a preservação da qualidade das águas através de medidas conservacionistas e a efetivação das políticas de saneamento básico.

É comum e de fácil constatação que diante da eutrofização de um reservatório, por exemplo, a medida (remediativa) que geralmente se adota é a construção de um novo reservatório ao invés de ser feita a revitalização e recuperação do primeiro, ou mesmo de se adotar medidas preventivas de preservação, como a destinação adequada de esgotos ao invés do despejo *in natura* nos corpos d'água, como se é observado em algumas localidades da BHRM.

Mesmo na região semiárida brasileira onde se há uma escassez quantitativa de água doce superficial ao longo de alguns meses do ano (ou mesmo de alguns anos, já que essa região apresenta grande variabilidade pluviométrica interanual), não há uma preocupação por parte do poder público de preservar os rios (geralmente intermitentes) e suas nascentes.

Diante de problemas que se tornaram corriqueiros como secas e enchentes, já se tornou comum os governos estaduais e municipais solicitarem ao governo federal auxílio financeiro de “emergência”. No que concerne as secas do Nordeste e tais verbas extraordinárias emergenciais Andrade (2005) as conceituou como “*indústria da seca do Nordeste*”. Porém no recorte espaço-temporal aqui estudado constatam práticas análogas em relação as enchentes, fenômeno esse, que aqui eu conceituo como indústria das enchentes.

O *modus operandi* dos estados e municípios é: entrar em “estado de emergência” diante de secas e enchentes, onerando cada vez mais os cofres públicos, ou seja, fazendo com que toda a população pague o preço da falta de planejamento e preservação dos recursos naturais.

Pouco se é discutido sobre gestão e preservação das terras e das águas do Nordeste, mas, muito se é discutido sobre as questões que envolvem verbas e lucros econômicos (para algumas empresas) além de votos (para alguns partidos e políticos), como a transposição do rio São Francisco ou a construção de grandes reservatórios em regiões semiáridas.

A BHRM tem sido duplamente afetada pelas secas e enchentes. Têm gerado muitos prejuízos para a população mais carente, assim como também têm gerado muito lucro e votos para os políticos, gestores e empresários, que se utilizando de um discurso de “oportunismo ambiental”, afirmando que o El-Niño e a La Niña são os principais responsáveis pelas secas e enchentes da BHRM, assim como de outras bacias nordestinas.

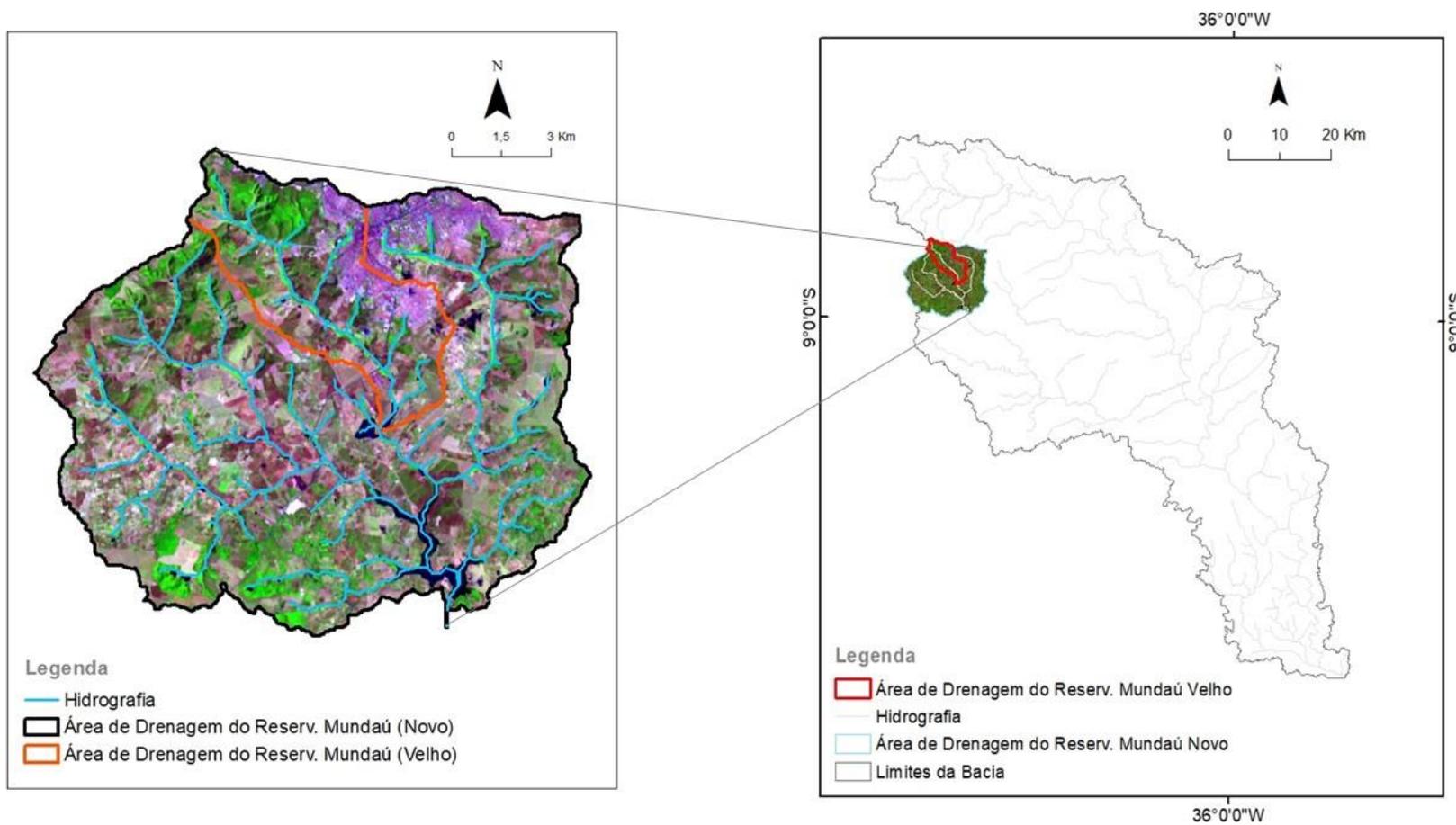
Diante desse discurso do “inevitável” vem a acomodação e posteriormente os danos. Analisando a BHRM no que tange os reservatórios construídos para fins de abastecimento (e outros usos) assim como medida estrutural preventiva de cheias, observa-se que pouco se foi realizado para mitigar os reais problemas da BHRM.

A mesorregião de Garanhuns depende indispensavelmente das águas de reservatórios para os diversos usos ao longo dos períodos de estiagens. Porém, têm-se observado que um grande problema que afeta a disponibilidade das águas tem se ampliado ao longo dos anos: a poluição das águas dos reservatórios.

O reservatório Mundaú I (velho) hoje em dia se encontra totalmente eutrofizado o que tem inviabilizado o uso de suas águas para o abastecimento, como era o seu objetivo. Ao observar a Figura 27, podemos observar que parte das nascentes do Mundaú se localizam na zona urbana do município de Garanhuns, servindo como receptáculo de esgotos domésticos e em seguida transportando esses efluentes ricos em matéria orgânica para o reservatório.

Ainda observando a Figura 27, gerado a partir das imagens do Google, podemos visualizar que também estão localizadas no perímetro urbano da cidade algumas nascentes que drenam água para o Mundaú II (novo)

Figura 27: Área de drenagem de dois reservatórios da BHRM.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Google, 2019.

Também é possível observar que a área em que se encontra o reservatório Mundaú II (Novo) abarca toda a área de drenagem do Mundaú I (Velho), isso significa que para o novo reservatório com capacidade de 14,5 milhões de metros cúbicos (inaugurado em 2010 na cidade de Garanhuns - PE) ficar também eutrofizado e inviabilizado para o consumo humano é apenas questão de tempo.

Segundo a COMPESA (2019), a construção do novo reservatório (Mundaú II ou Cajueiro) custou aos cofres públicos R\$ 27 milhões.

Figura 28: Reservatório Mundaú II (Cajueiro).



Fonte: COMPESA, 2019.

No caso da BHRM é comum e corriqueiro observar nascentes, afluentes e até mesmo o rio principal servirem como receptáculos de resíduos sólidos e líquidos sem grande preocupação por parte dos gestores públicos.

Então, o que acontece na verdade é que mais do que faltar água, propriamente, em alguns meses ou anos, falta água limpa e conservada, e falta sobretudo políticas conservacionistas e projetos que levem a sério a qualidade das águas que se tem.

Pesquisa realizada por Soares (2015), constatou alto nível de poluição em cinco nascentes analisadas na BHRM. O autor verificou profundas alterações na qualidade das águas

dessas nascentes (que são principalmente decorrentes da falta de planejamento urbano e de saneamento básico).

Esses poluentes são carreados desde a parte alta da bacia até a foz no Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM) localizado em Maceió. A lagoa do Mundaú (como é conhecida em Maceió) tornou-se assim como os demais reservatórios da bacia, receptáculo de efluentes de diversas origens: domésticos, agropecuários e industriais.

Por falta de efetiva gestão da BHRM problemas como a escassez ou ineficiência do saneamento básico em praticamente quase todos os municípios que integram a bacia, tem gerado alto risco de escassez da boa qualidade hídrica.

Ao observar a Figura 29 (abaixo), percebe-se claramente através de imagens de satélite o alto nível de eutrofização e contaminação do reservatório mais antigo (estando nas imagens com coloração verde devido a presença de algas, ao invés de tonalidade preta / escura que sugeriria águas limpas como no reservatório novo).

Ao longo do tempo algumas iniciativas foram tomadas por parte de agências ambientais⁴ ligadas aos governos de Pernambuco e Alagoas, no sentido de fomentar a criação de um comitê de gestão da BHRM. Porém, pouco se avançou nesse sentido. Algumas dessas propostas incentivava a criação de comitê de forma individualizada, mas, devido ao fato de a BHRM ser federal a ANA não pode aprovar a criação de comitê que abarque apenas um estado.

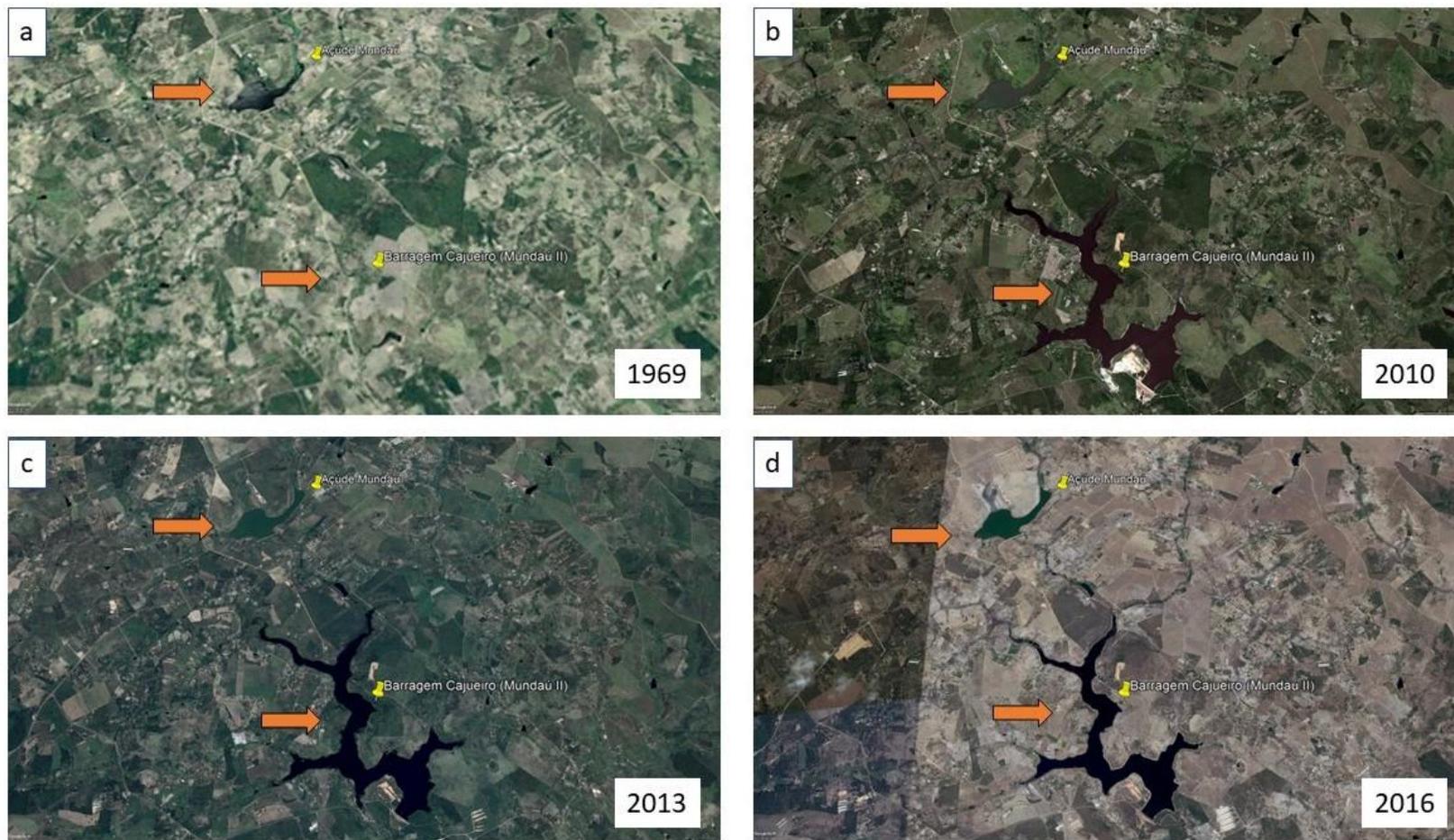
A maior dificuldade da criação de um comitê para a BHRM é a falta de articulação entre os gestores municipais da bacia e o desinteresse político de resolver os problemas de forma efetiva por parte dos mesmos. Se antes muitos gestores ganhavam seus votos com a “política da seca” amplamente conhecida no Nordeste brasileiro⁵, hoje tantos outros também lucram seus votos com a “indústria das enchentes”⁶, ou seja, nem sempre as calamidades públicas se revelam como prejudiciais para todos, sendo motivo também de lucro para alguns políticos e algumas empresas da construção civil.

⁴ Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH) em Alagoas e Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC) em Pernambuco.

⁵ E que inclusive hoje ainda sobrevive na troca de votos por carros-pipas de abastecimento como favores políticos.

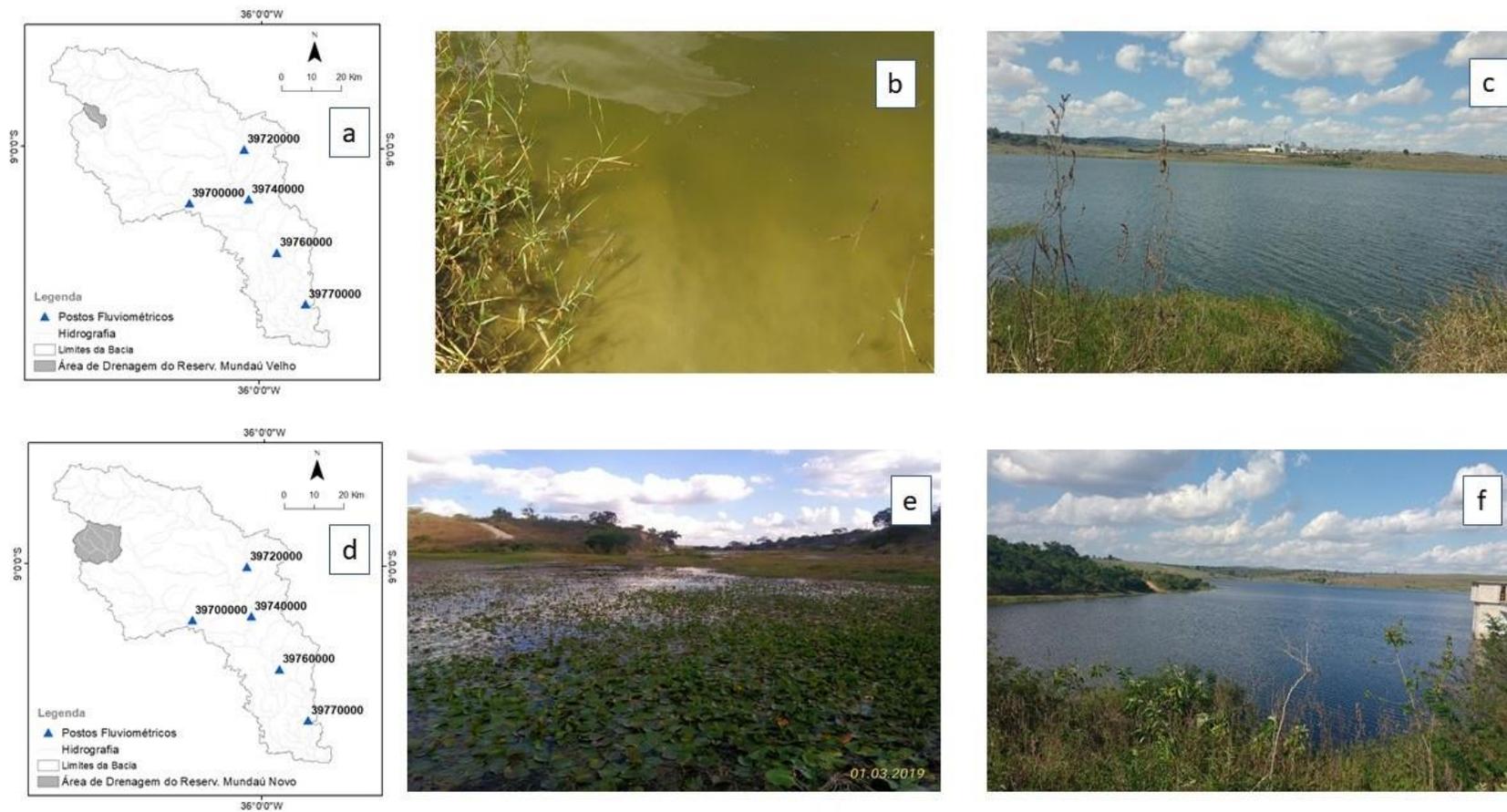
⁶ Que se dá quando diante de uma cheia que afeta centenas de pessoas que vivem as margens dos rios como a que ocorreu em 2010, alguns políticos ainda conseguem “ganhar votos por prestar “socorro” a população, distribuindo cestas básicas ou casas ao invés de se responsabilizarem pelos problemas por terem os ignorados. A BHRM tem sido estudada já alguns anos e apresentado resultados extremamente importantes e que se aplicados pelos gestores públicos poderiam amenizar e/ou resolver diversos dos problemas apresentados. Mas, como já é de conhecimento comum, resolver problemas socioambientais não dá votos aos políticos, mas, “prestar socorro” diante de calamidades além de votos também gera verbas “emergenciais”.

Figura 29: Análise da eutrofização das águas do reservatório Mundaú I, a partir de SR.



Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados do Google, 2019.

Figura 30: Áreas de drenagens dos reservatórios Mundaú I e II.



Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados da ANA, 2017 e próprios, 2019..

Na Figura 30 (acima) observa-se a áreas de drenagem de cada reservatório: Mundaú I e II (Velho e Novo), assim como também evidencia bioindicadores de eutrofização dos reservatórios (algas e macrófitas).

Conforme a Tabela 5 (abaixo) podemos observar que a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)⁷ do reservatório mais antigo é extremamente maior do que a do novo. Segundo a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) n°357, de 17 de março de 2005 o limite de DBO para as águas doces devem se dá da conforme o seguinte enquadramento dos corpos hídricos:

- Classe 1: Até 3mg/L
- Classe 2: até 5 mg/L
- Classe 3: até 10 mg/L

Segundo o enquadramento dos corpos d'água as classes de 1, 2 e 3 podem ser utilizadas para o abastecimento humano após tratamento simplificado, convencional ou avançado respectivamente. Ao observar a Tabela 3 observa-se que somente no período chuvoso é que o reservatório Mundaú I (Velho - Código 39570300) se enquadraria nas classes 2 e 3, porém durante a estiagem (que é o período de maior necessidade de abastecimento da população), não se enquadra em nenhuma classe que possa ser usada para o abastecimento tendo valores muito acima do permitido.

Já o reservatório Mundaú II (Novo - Código 39570900) se encontra em boa qualidade, demonstrando assim que suas águas ainda permanecem puras e adequadas para os diversos usos⁸.

Tabela 5: Dados de qualidade das águas dos reservatórios Mundaú I e II.

Código	Mês	Data de leitura	DBO	Fósforo Total	OD
39570300	jun/05	01/06/2005	4.3	0.05	6.4
39570300	jun/06	29/06/2006	3.6	0.07	4.9
39570300	ago/08	06/08/2008	4.7	0.1	10.6
39570300	nov/05	10/11/2005	6.8	0.26	8.4
39570300	nov/08	12/11/2008	13.2	0.21	12.9
39570300	dez/06	18/12/2006	10	0.1	9.7
39570900	mai/18	09/05/2018	2.1	0.06	7.1
39570900	ago/18	09/08/2018	1.7	0.09	8.9

⁷ Segundo Von Sperling (2014), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), retrata de forma indireta o teor de matéria orgânica nos esgotos ou no corpo d'água, sendo, portanto, uma indicação do potencial do consumo do oxigênio dissolvido. É um parâmetro químico da qualidade da água de grande importância na caracterização do grau de poluição de um corpo d'água.

⁸ Esses parâmetros de modo geral medem a qualidade da água analisando aspectos como a presença de matéria orgânica nos corpos d'água lançada geralmente por efluentes domésticos e/ou industriais, além de fertilizantes agropecuários. Para maiores explicações consultar a Resolução CONAMA n° 357.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2017.

Observa-se também que a leitura da qualidade da água realizada pela ANA no reservatório Mundaú I (Velho) foi encerrada em 2006, ou seja, cerca de 13 anos atrás, enquanto que as medições de qualidade da água do reservatório Cajueiro II (Mundaú Novo) foram iniciadas apenas em 2018 (8 anos após suas inaugurações). Isso também demonstra a necessidade de um acompanhamento mais profícuo da qualidade das águas desses reservatórios para um melhor acompanhamento e planejamento de seu uso.

5.3 COBERTURA VEGETAL DA BHRM

5.3.1 Análise espaço-temporal da vegetação na BHRM

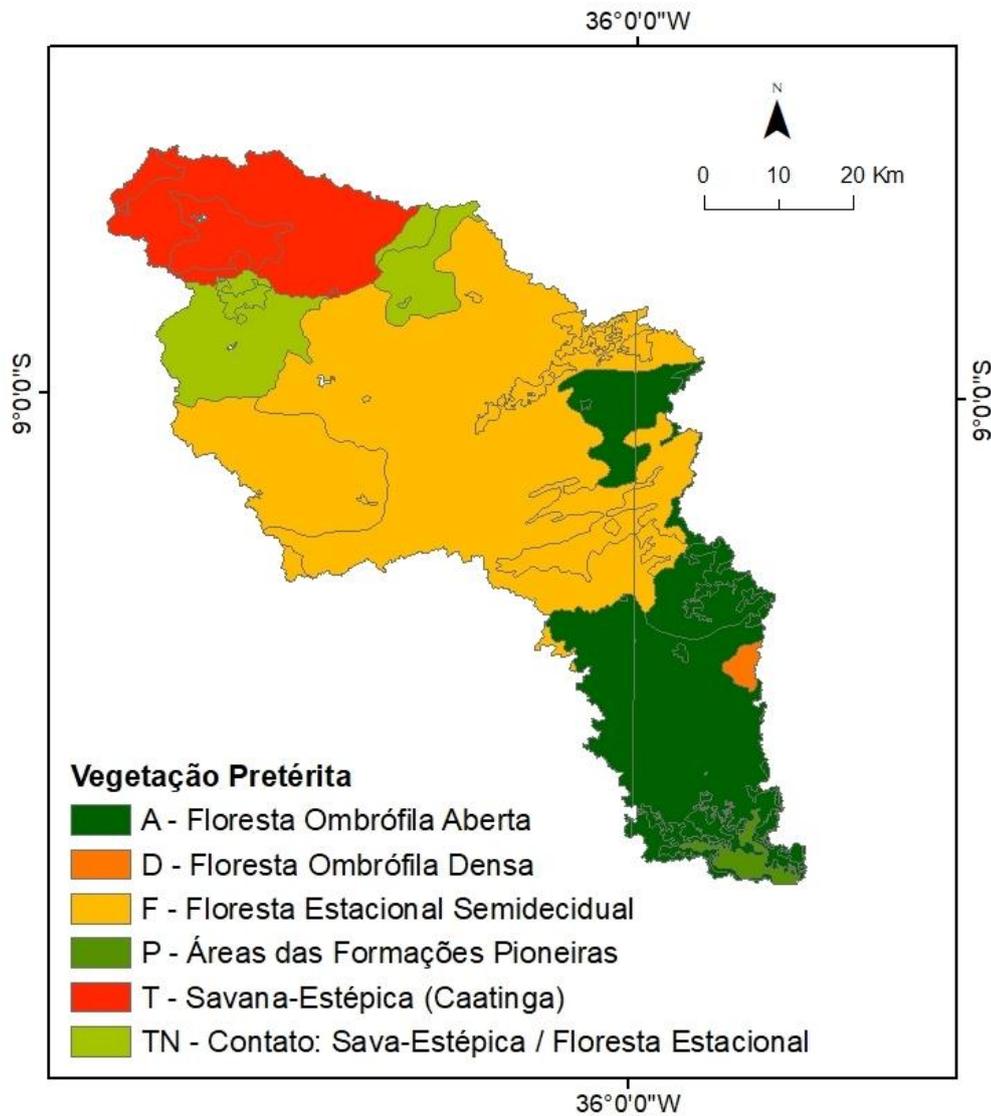
A BHRM apresenta uma composição de vegetação extremamente complexa por ser uma bacia bastante heterogênea em seus aspectos físicos/naturais.

A cobertura vegetal nativa (atualmente quase inexistente) que existia na BHRM (Figura 31), era composta, segundo a classificação realizada pelo IBGE (2012) de:

- Floresta Ombrófila Aberta (Faciações da Floresta Ombrófila Densa);
- Floresta Ombrófila Densa (Floresta Tropical Pluvial);
- Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifólia);
- Áreas das Formações Pioneiras (Sistema Edáfico de Primeira Ocupação);
- Savana-Estépica (Caatinga do Sertão Árido) e
- Contato Savana-Estépica /Floresta Estacional.

Atualmente, dessa vegetação nativa, restam apenas resquícios tendo sido a bacia bastante antropizada, principalmente em decorrência do cultivo de culturas agrícolas e do desenvolvimento da agropecuária.

Figura 31: Vegetação pretérita da BHRM.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE, 2019.

A cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica pode afetar diretamente o seu regime hidrológico, podendo ter impactos positivos ou negativos, conforme sua presença ou ausência, respectivamente.

Os impactos positivos que a cobertura vegetal pode ter numa bacia hidrográfica, estão relacionados a maior capacidade de infiltração das águas pluviais o que acarreta o reabastecimento contínuo dos lençóis freáticos e maior disponibilidade de água na bacia ao longo do ano (inclusive subterrânea), assim como maior conservação do solo, aumento da qualidade das águas, proteção de nascentes e matas ciliares entre outros.

Os impactos negativos causados pela ausência de cobertura vegetal numa bacia hidrográfica estão relacionados a maior erosão do solo o que pode acarretar assoreamento de corpos hídricos e perda de áreas de cultivos ou de pastoreio, menor infiltração das águas

pluviais, acarretando menor capacidade de infiltração da água nas camadas subsuperficiais e subterrâneas da bacias e conseqüentemente causando escoamento imediato e acelerado das águas da chuva além de enchentes e outros desastres que causam prejuízos a população.

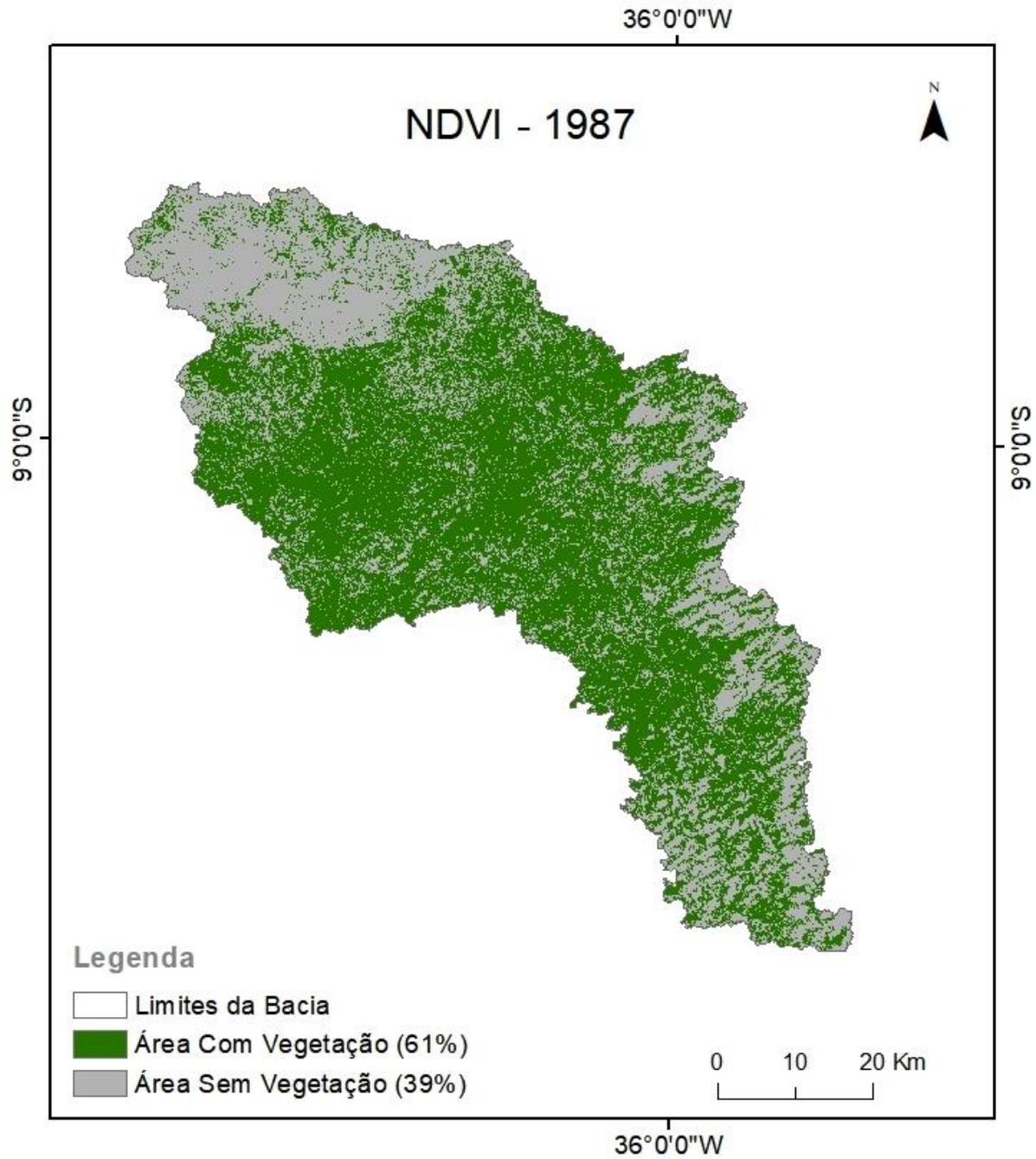
A capacidade de infiltração e retenção das águas pluviais pela cobertura vegetal varia conforme a intensidade da precipitação, assim como também dos diferentes tipos de vegetação, solos entre outros aspectos da bacia, como a sua declividade.

5.3.2 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

Existem diferentes técnicas para se medir a cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica. Nessa pesquisa optou-se pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), considerando apenas duas classes: 1. Área Com Vegetação e 2. Área Sem Vegetação para os anos de 1987 (Figura 32), 2001 (Figura 33) e 2011 (Figura 34).

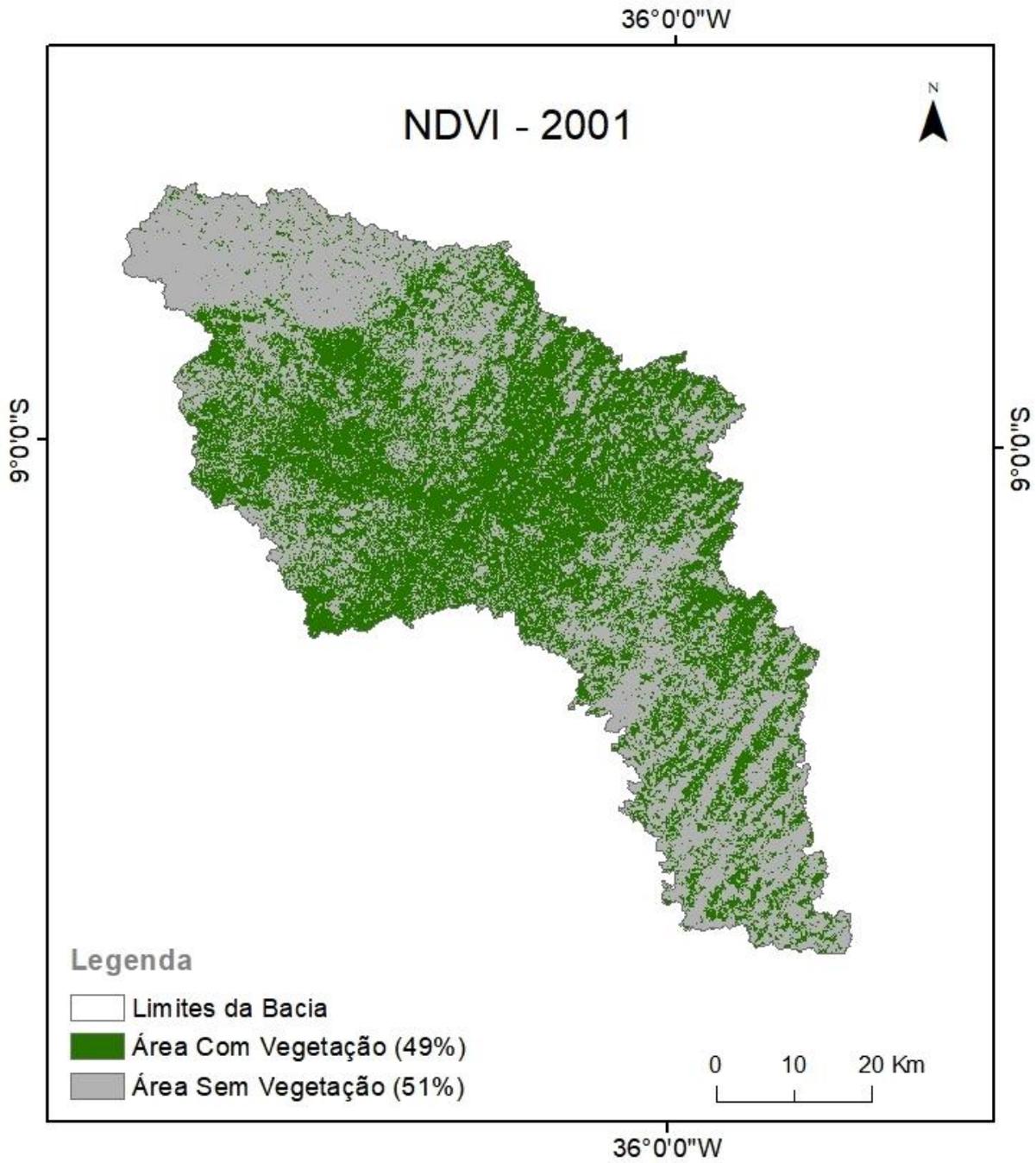
Por se tratar de uma bacia relativamente extensa, foi necessário reunir três cenas do sensor TM, da missão Landsat 5, não sendo possível reunir as três cenas para a mesma data, uma delas (a parte noroeste da BHRM) foi obtida numa data diferente (mas, próxima das outras duas).

Figura 32: NDVI da BHRM em 1987.



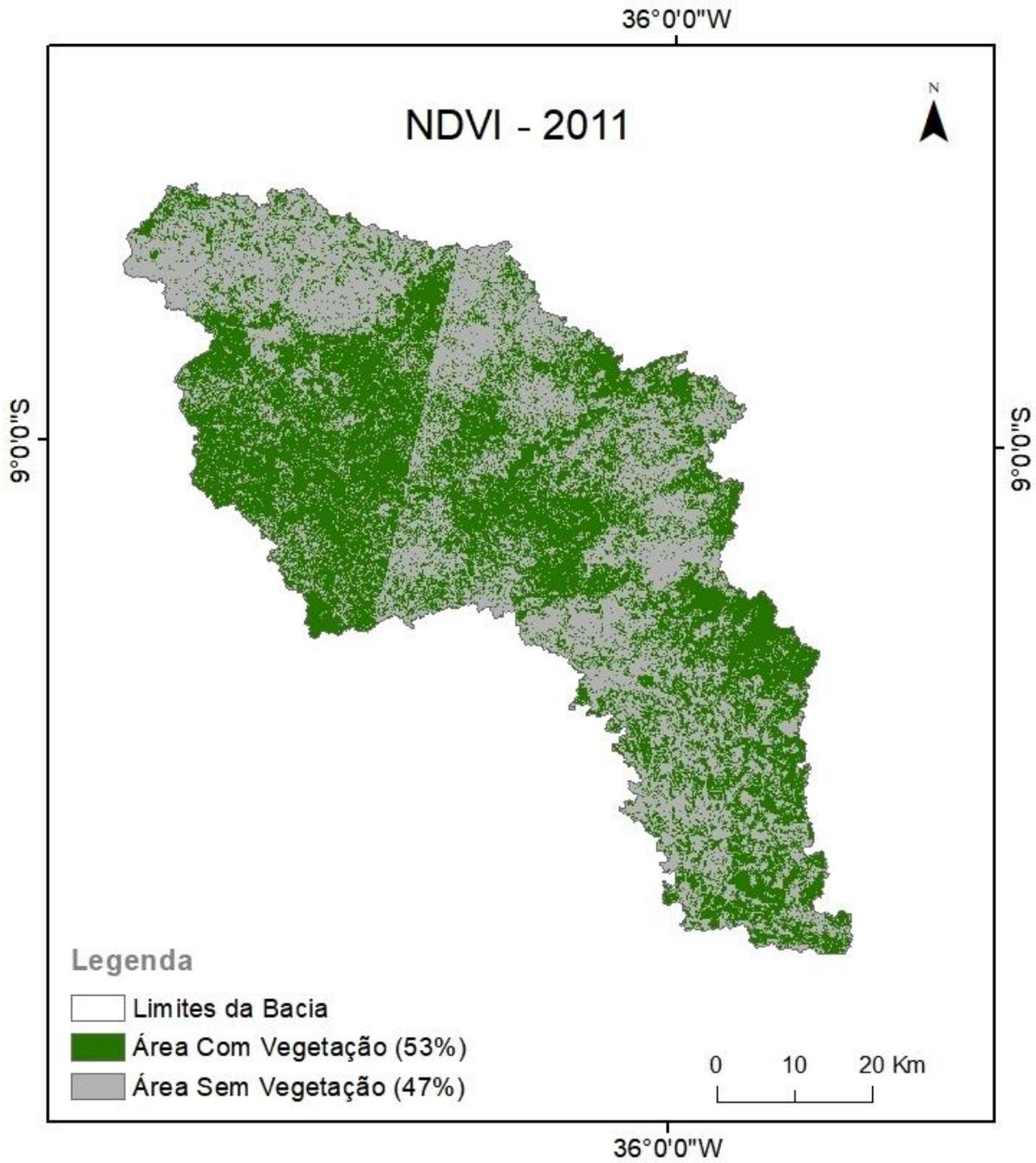
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do INPE, 2019.

Figura 33: NDVI da BHRM em 2001.



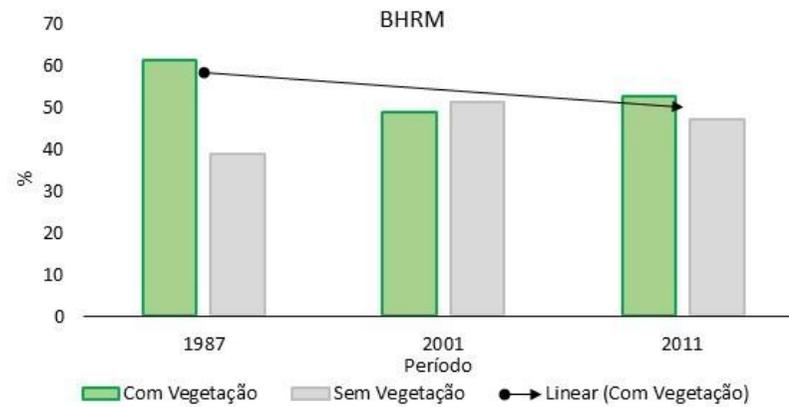
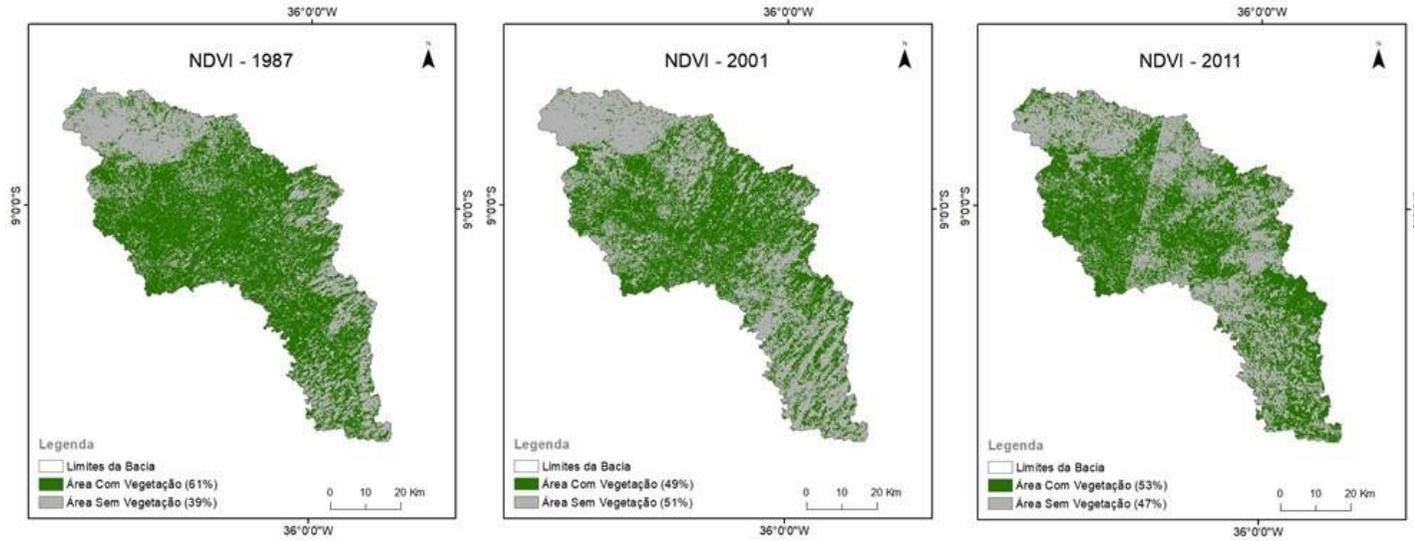
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do INPE, 2019.

Figura 34: NDVI da BHRM em 2011.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do INPE, 2019.

Figura 35: Variabilidade espaço-temporal da vegetação na BHRM.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do INPE, 2019.

Ao analisar a variação de cobertura vegetal durante esses três anos (Figura 35), com uma década ou mais entre eles, nota-se a redução da vegetação, tendo uma redução brusca entre 1987 e 2001 (num período de 14 anos).

Houve uma queda de Área Com Vegetação (NDVI), entre 1987 e 2001 de 12%, havendo em seguida um leve aumento de 4% na década seguinte (2011). Observa-se discrepâncias entre as cenas no ano de 2011 (ano do aumento), tendo possivelmente se dado esse incremento de vegetação em decorrência da detecção de vegetação de pequeno porte (como lavouras temporárias) na porção noroeste da BHRM com diferença de poucos dias.

Por se tratar de uma região que abrange parte do semiárido e zonas de transição, a detecção de vegetação por sensoriamento remoto pode se dar a partir de pouquíssimos dias com ocorrência de chuvas, alterando completamente a tonalidade da cobertura vegetal.

Na maior parte da bacia, observa-se uma tendência geral de redução da cobertura vegetal ao longo do período analisado.

Como esta bacia tem sido analisada também por partes, buscando-se uma maior compreensão de sua dinâmica e também com o intuito de observar o que afeta o regime hidrológico a partir de diferentes pontos de controle (postos fluviométricos), a bacia também foi dividida e o NDVI analisado em diferentes regiões, tendo como ponto de recorte as estações fluviométricas para futuras correlação entre vegetação e vazão.

Sendo assim, nas Figuras de 36 à 40, observa-se a variabilidade espaço-temporal do NDVI nas regiões delimitadas pelos postos fluviométricos localizados nos municípios de Santana do Mundaú (AL), São José da Laje (AL), União dos Palmares (AL), Murici (AL) e Rio Largo (AL).

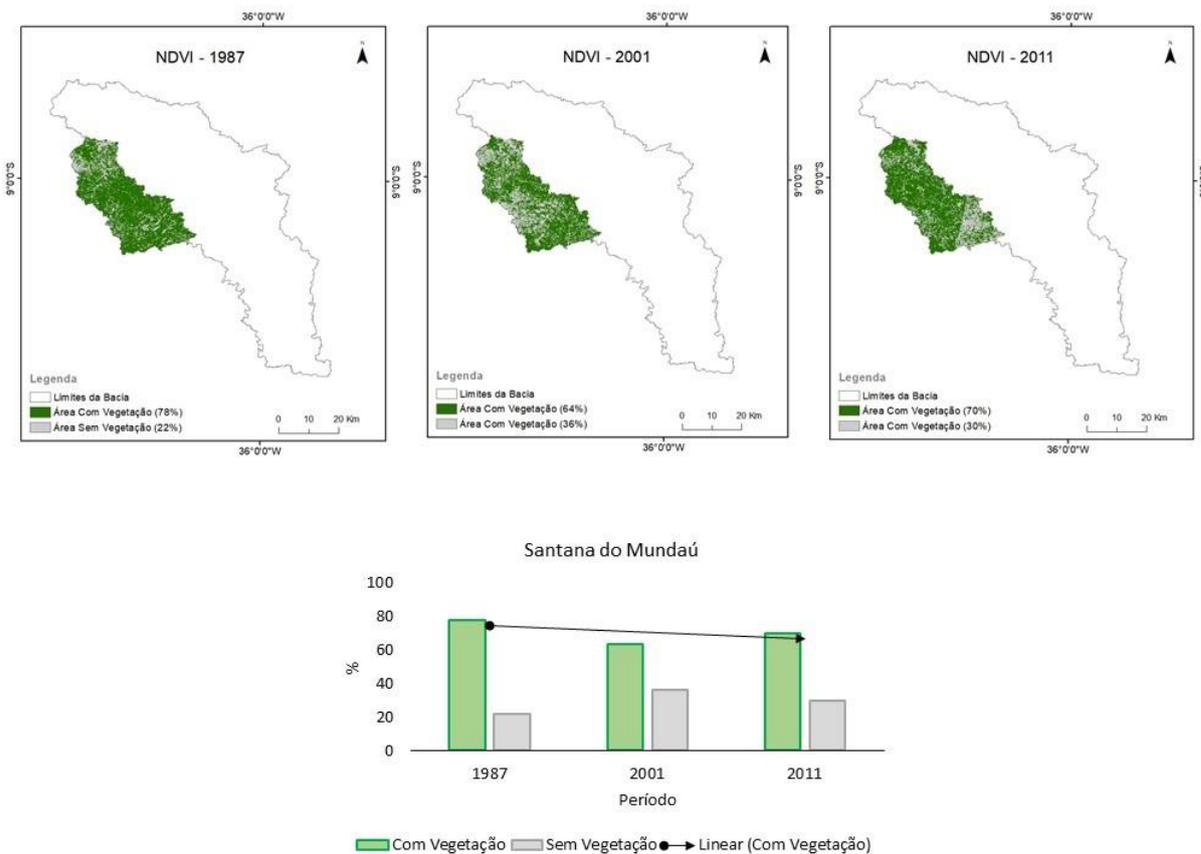
Ressalta-se que é no posto fluviométrico localizado em Rio Largo (AL) onde se tem o último ponto de controle (medida) da vazão da BHRM, e que portanto as diferentes correlações que se faça entre vazão e demais aspectos da BHRM, deve considerar que parte da BHRM após esse posto não tem dados de vazão, e que por isso caso se considere toda a área da bacia nas análises de correlações e comparações, com certeza comete-se um erro grosseiro.

Na Figura 36, observa-se as áreas com e sem vegetação da região setentrional oeste da BHRM. Os valores percentuais de NDVI relativos aos anos de 1987, 2001 e 2011 correspondem a 78%, 64% e 70% respectivamente.

Apesar dessa região se encontrar localizada quase totalmente dentro do estado de Pernambuco, essa área não está inserida na região semiárida, mas, representa uma área de transição, estando inserida em sua maioria localizada no agreste pernambucano.

Essa área também inseriu a partir de 2012 o maior reservatório da BHRM, localizado no município de Garanhuns e dispõe de culturas temporárias, geralmente cultivadas por pequenos produtores rurais e voltadas para o consumo na própria região. Além disso parte dessa área está ocupada por pastagens.

Figura 36: NDVI da BHRM delimitado em Santana do Mundaú (AL).



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do INPE, 2019.

A Figura 37 apresenta o NDVI da região mais seca da BHRM. Trata-se da região delimitada no posto fluviométrico de São José da Laje (AL).

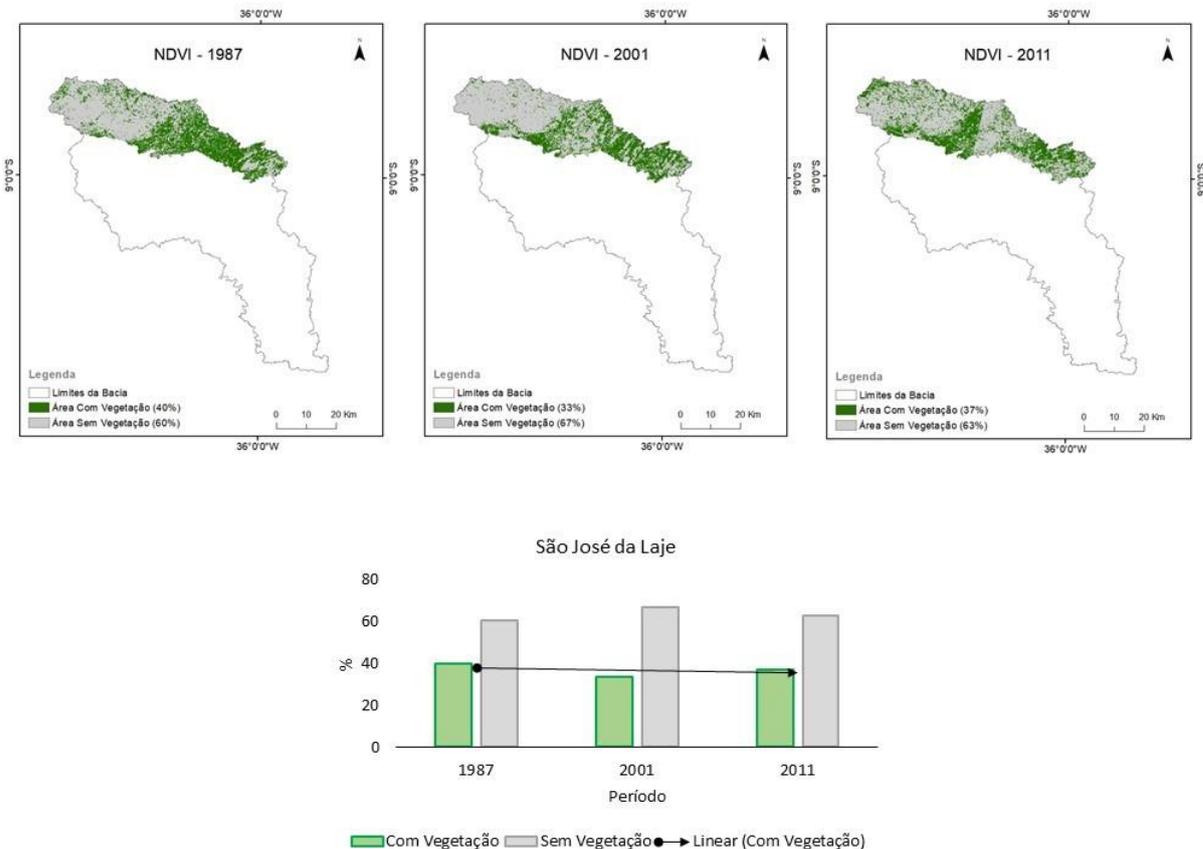
Observa-se assim como nas demais, decréscimo da Área Com Vegetação entre os anos de 1987 à 2011, tendo seu menor valor no ano de 2001 (33% apenas de sua área). É importante ressaltar que essa região está inserida em sua maior parte dentro da região semiárida, apresentando baixos índices pluviométrico e reduzida capacidade de infiltração.

A combinação desses aspectos físicos aos antrópicos têm ao longo dos anos resultado em grandes enchentes no município de São José da Laje (AL), deixando registros de destruição e danos materiais e imateriais.

Nessa região a produção agropecuária depende quase que inteiramente da variabilidade climática interanual, sendo a região mais afetada pela escassez hídrica de toda a

bacia. Também se verifica nessa região indicadores de desgaste do solo por práticas de cultivos rudimentares.

Figura 37: NDVI da BHRM delimitado em São José da Laje (AL).

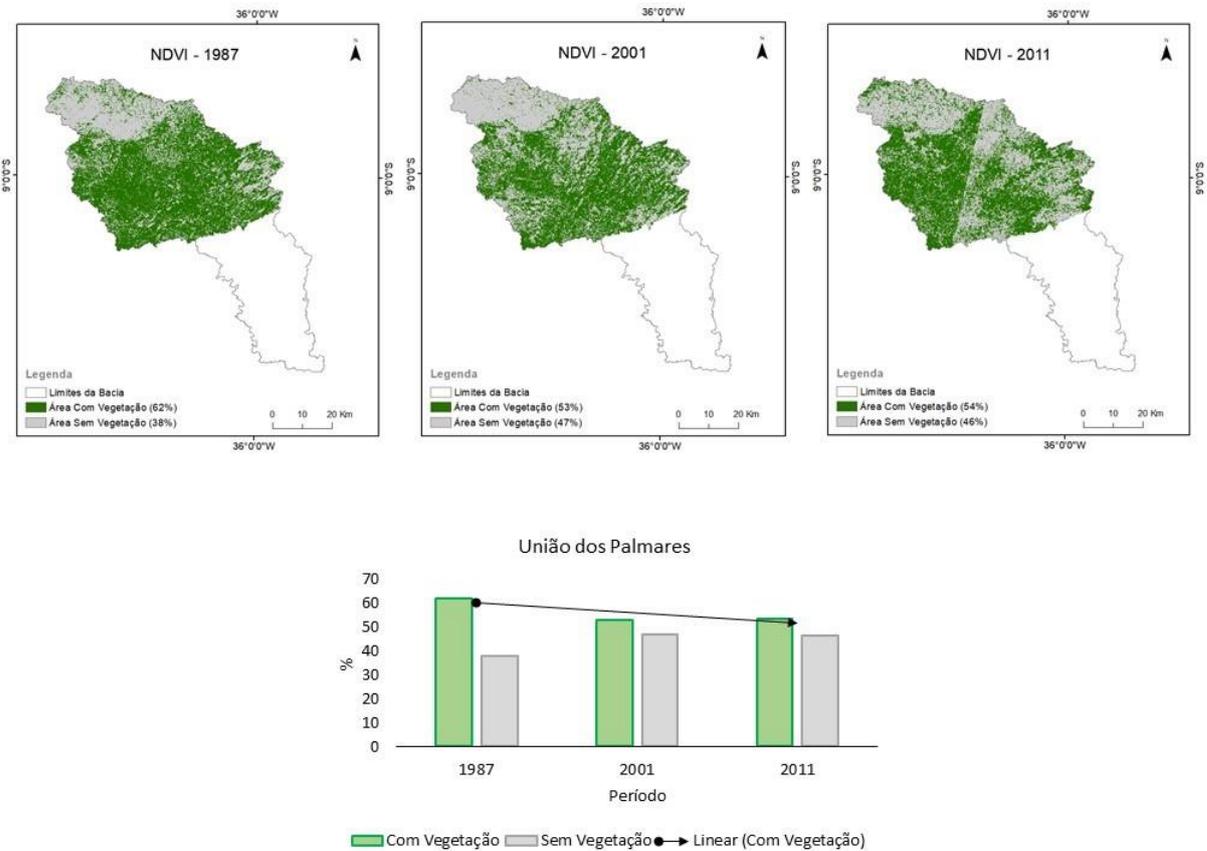


Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do INPE, 2019.

Na região delimitada no posto fluviométrico de União dos Palmares (AL), (Figura 38), é onde praticamente a BHRM se encontra na fronteira dos estados de Pernambuco e Alagoas. As variações no NDVI entre os anos de 1987, 2001 e 2011 são de 62%, 53% e 54% respectivamente.

Observa-se que entre os anos de 2001 e 2011 a Área Sem Vegetação corresponde a quase metade da área geral o que implica em grandes quantidades de solos expostos e pouca capacidade de retenção da água na parte Pernambuco, região mais impactada pela limitação dos recursos hídricos.

Figura 38: NDVI da BHRM delimitado em União dos Palmares (AL).



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do INPE, 2019.

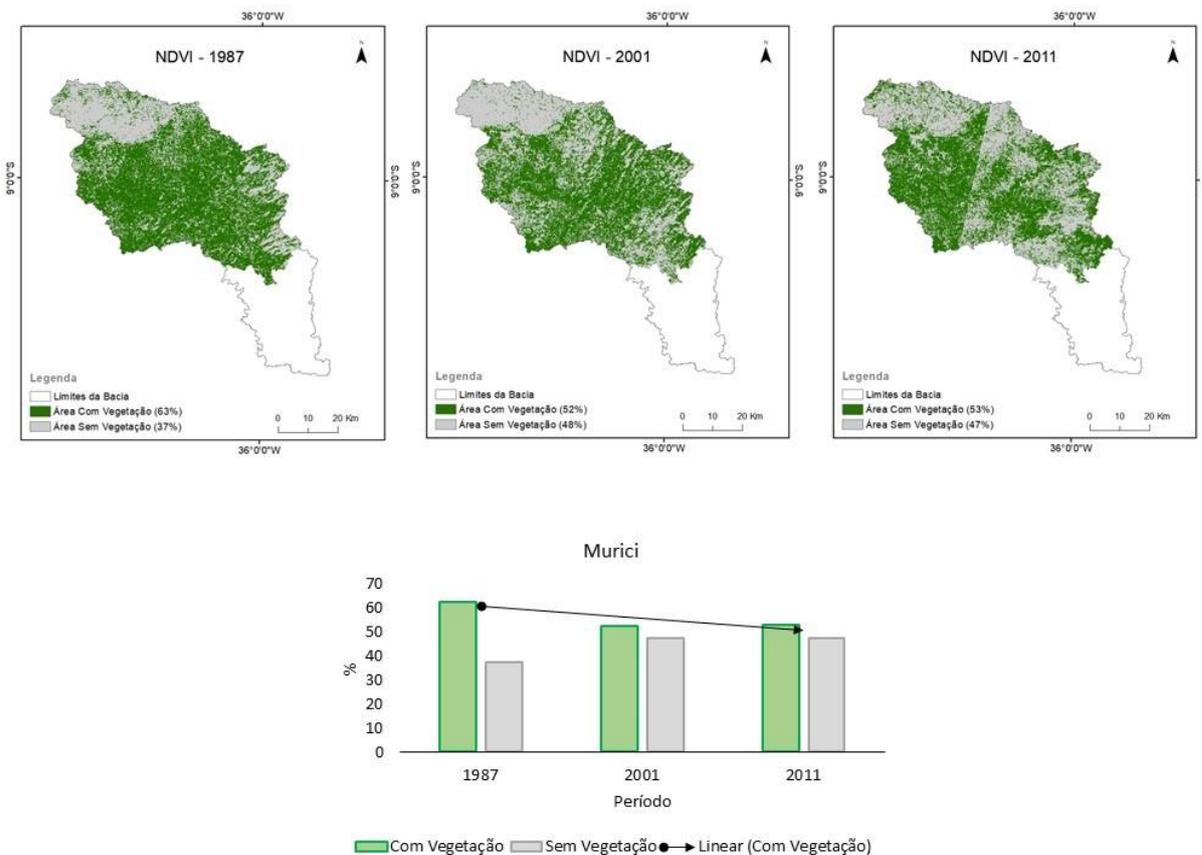
A Figura 39, delimitada no posto de Murici (AL), apresenta concomitantemente, tendência de redução da cobertura vegetal no período analisado. Os valores de Área Sem Vegetação são de 63%, 52% e 53% para os anos de 1987, 2001 e 2011 respectivamente.

Observa-se que esses valores são muito semelhantes ao da delimitação anterior, devido ao fato de que essa região não é muito maior que a anteriormente citada.

A partir dessa região a vegetação passa a ser caracterizada principalmente pelos cultivos da cultura de cana-de-açúcar, que ao longo do tempo suprimiu praticamente toda a vegetação nativa de mata atlântica que ali existia, restando atualmente apenas fragmentos.

Constata-se também que a partir desse ponto há um contínuo estreitamento do formato da bacia, concentrando no leito do rio principal grande volume das águas drenadas da região Pernambuco o que ao longo do tempo provocou diversos episódios de enchentes e alagamentos, inclusive nesse município, sendo o mais recente o ocorrido em 2010.

Figura 39: NDVI da BHRM delimitado em Murici (AL).



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do INPE, 2019.

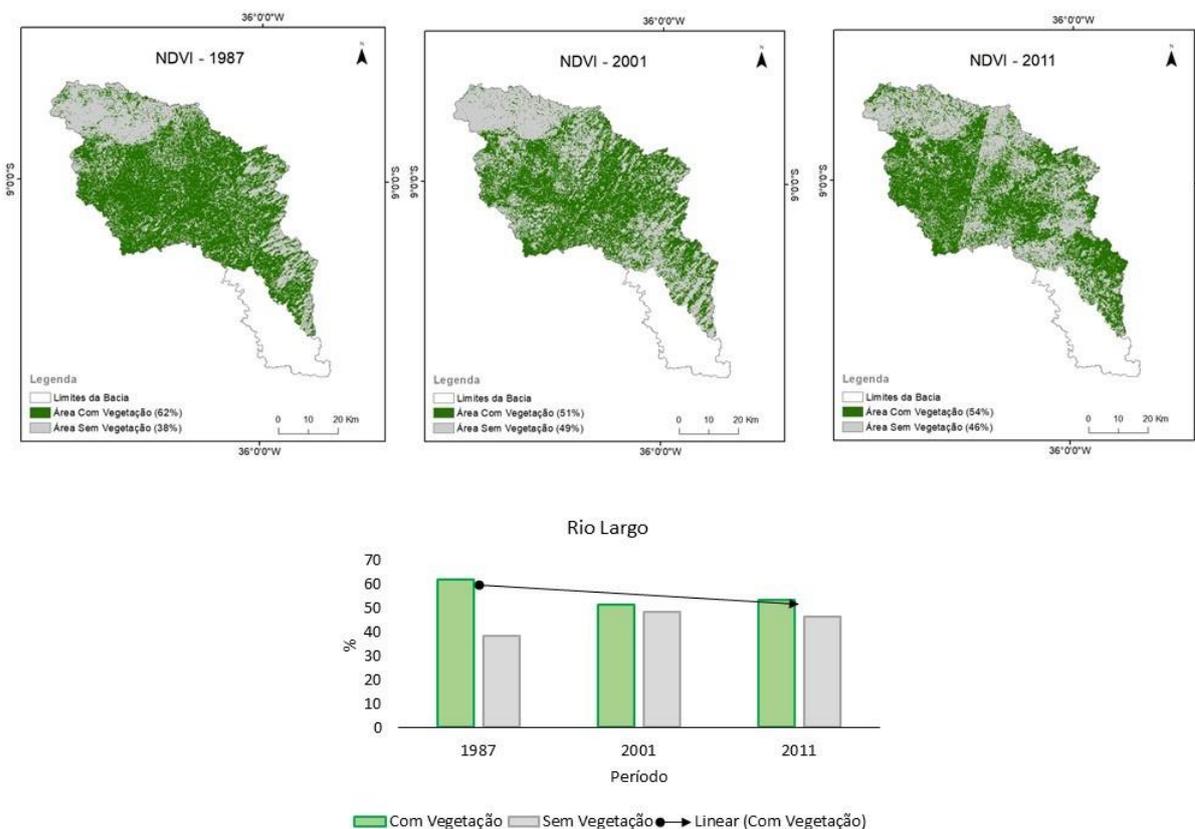
Ao se aproximar da foz do rio Mundaú, foi delimitada a última região de análise da vegetação com relação à estação fluviométrica de Rio Largo (AL), (Figura 40). Observa-se que a acumulação de todos os valores de Área Com Vegetação (NDVI) da BHRM até aqui, possui pouca variação.

Os valores de NDVI são de 38%, 49% e 46% para os anos de 1987, 2001 e 2011 respectivamente. Entre o município de Murici até Rio Largo, nota-se que há certa constância na vegetação. Essa região é predominantemente ocupada por vegetação de cana-de-açúcar. É também nessa região entre os dois municípios que se encontra maior incidência de fragmentos de mata atlântica e os maiores totais anuais pluviométricos entre as regiões delimitadas.

Nesse ponto de delimitação também se caracteriza grandes volumes de vazão e escoamento acelerado o que tem provocado diversas enchentes na BHRM. É importante considerar que os tipos e quantidades de vegetação encontrada acima desse ponto, pode impactar diretamente o volume e qualidade das águas que passa nesse ponto de controle.

O município de Rio Largo foi fortemente impactado pela cheia de 2010, quando a cidade ficou praticamente destruída pelas águas do rio Mundaú, causando danos que até hoje são sentidos pela população residente nessa localidade e em todo o estado de Alagoas.

Figura 40: NDVI da BHRM delimitado em Rio Largo (AL).



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do INPE, 2019.

É fundamental a compreensão de que apesar da BHRM possuir diferentes tipos e quantidades vegetacionais em cada região delimitada, os impactos são cumulativos e interconectados. Ou seja, a conservação (ou não) da cobertura vegetal nas partes mais altas da bacia (em Pernambuco), afeta diretamente o regime hidrológico das partes mais baixas (em Alagoas) e conseqüentemente a população que aí reside.

Essa bacia possui reduzida capacidade de infiltração e acelerado escoamento que tem como causa o conjunto de fatores físico-naturais e antrópicos.

A Área Com Vegetação da bacia ao longo desse período analisado, ficou em torno de 54,3%, considerando os diferentes tipos vegetacionais, que em sua quase totalidade não são mais naturais. Quase metade da bacia, durante o período mapeado, se encontrava sem nenhum tipo de cobertura vegetal possível de ser registrado por sensoriamento remoto.

5.3.3 Degradação Ambiental da BHRM

A BHRM vem sendo degradada há vários anos, como a maioria das bacias hidrográficas brasileiras, que ao longo do tempo tornaram-se receptáculo de resíduos sólidos e efluentes líquidos de vários tipos.

A degradação ambiental de bacias hidrográficas é mais acentuada nas bacias urbanas (SILVA et al., 2014), mas, não apenas nestas. Pode-se considerar que a BHRM não é uma bacia urbana, haja vista que as maiores cidades que se estabeleceram e foram ampliadas ao longo do tempo nesta bacia ocuparam pequena parte de seu solo, apenas 1,25% de sua área total como mapeou Gomes (2015) em sua pesquisa.

Apesar disso é próximo as áreas urbanas que se observa maior intensidade de degradação e deposição de efluentes líquidos e resíduos sólidos. A BHRM tem recebido grande quantidade de dejetos ao longo do tempo, sem que houvesse por parte do poder público nenhuma ação que visasse a resolução dessa problemática.

É comum a ocorrência desses agentes de poluição desde suas nascentes (SOARES, 2015) no município de Garanhuns, sendo ampliada em vários municípios por onde os afluentes e o rio principal passa (SILVA e SANTOS, 2011), até chegar a sua foz no Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba (DA SILVA, 2009).

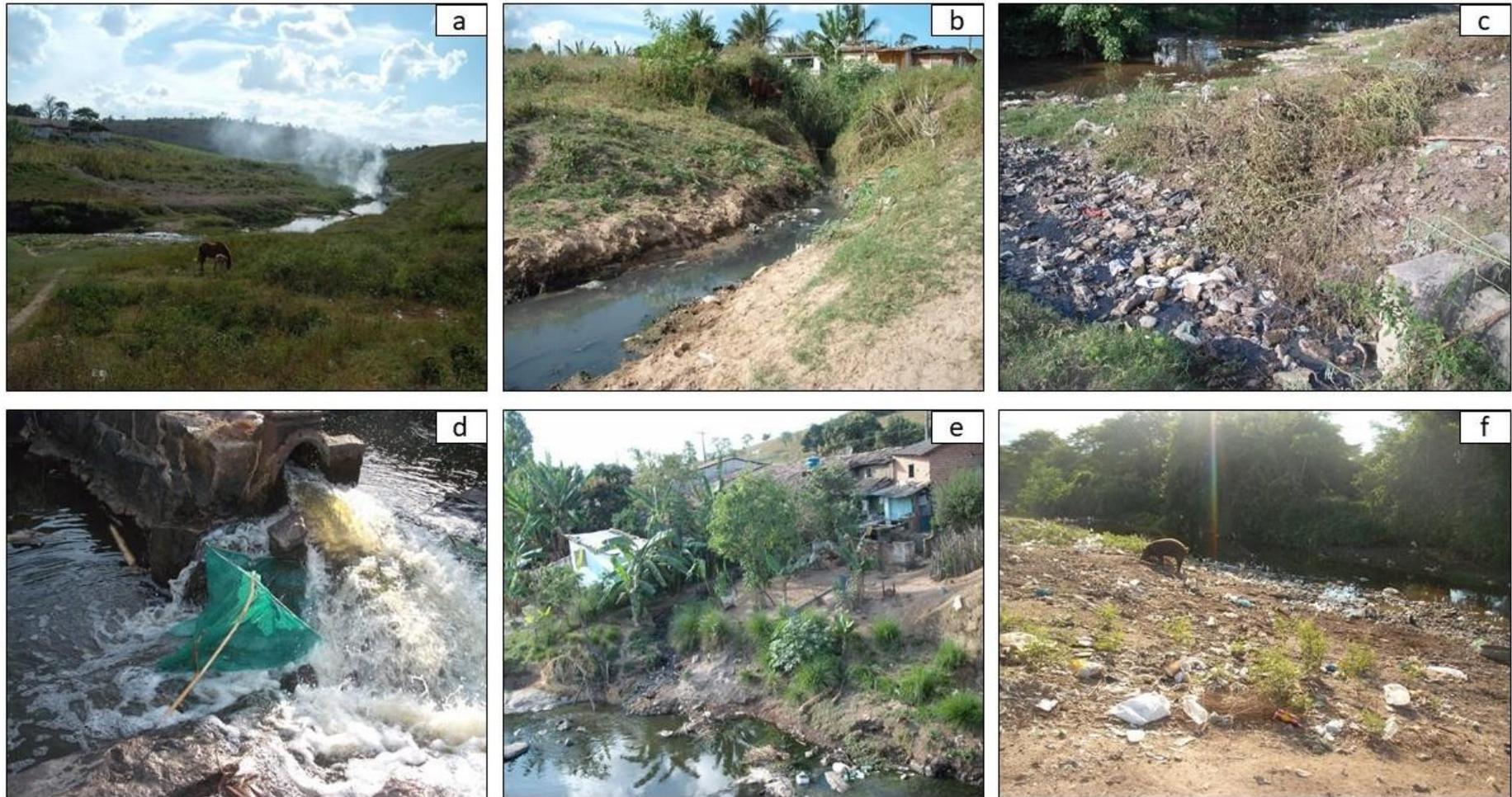
A extinção da cobertura vegetal é outro fator de degradação da bacia que se observa quase que continuamente. Na Figura 41 (a) e (f), observa-se num dos afluentes principais da bacia, o rio Canhoto a mata ciliar foi totalmente extinta e substituída por pastagens para a criação de animais (a), além disso a vegetação que difere dessa é continuamente queimada como se fosse uma “praga”.

As práticas de uso da terra as margens do rio para criação de animais se mesclam as de pequenos cultivos de hortaliças e grãos por parte de uma parte da população que utiliza essas terras, geralmente vistas como “sem donos” para uma agricultura de subsistência, o que para muitas famílias é a única forma de retirar da terra alguma fonte de renda, principalmente por ser essas terras do leito maior do rio, áreas férteis e úmidas nos períodos de estiagem e por se encontrarem sem nenhuma proteção ou vigilância por parte dos órgãos de defesa ambiental.

As margens do rio que se encontram nos perímetros urbanos dos municípios por onde ele perpassa, também servem como área propícia para o estabelecimento de moradias irregulares e conseqüentemente ao lançamento de resíduos sólidos e efluentes domésticos dessas moradias como pode ser observado nas Figura 41 (b), (c) e (e).

Em trabalho realizado por Silva (2011), constatou-se que os habitantes desse tipo de moradia se estabelecem nesses locais devido grande vulnerabilidade financeira e social e após o estabelecimento de suas moradias nesses lugares, não recebem nenhum tipo de suporte do governo local, não tendo assim a oportunidade de terem direito à moradia digna e segura, muitos chegam a contrair ao longo da vida diversas doenças causadas pela água contaminada que os mesmos utilizam no seu cotidiano para o uso doméstico e para o lazer.

Figura 41: Degradação ambiental do rio Canhoto, importante afluente do rio Mundaú.



Fonte: Acervo pessoal da autora, 2010.

Na figura 41 (d) acima, observa-se a prática de pesca para o consumo por parte de moradores ribeirinhos do rio Canhoto em Canhotinho (PE), em local de águas contaminadas por esgotos domésticos e vários tipos de resíduos sólidos, inclusive lixo hospitalar, como os próprios ribeirinhos afirmaram ter encontrado nesse local (SILVA, 2011).

Apesar de saberem que a água se encontra contaminada os mesmos ignoram os riscos e mantém a tradição de utilizarem a água para diversos fins, inclusive para cozinhar.

É importante ressaltar que não são apenas os ribeirinhos que depositam nas margens e leito do rio Mundaú seus dejetos, mas, em quase todas as cidades por onde o rio passa, recebe o esgoto doméstico e industrial de toda ou quase toda a cidade localizada as suas margens, e na maioria dos casos o poder público municipal está ciente do problema mas, não tem interesse e/ou recursos humanos e materiais para resolvê-lo.

5.4 A INDÚSTRIA DAS ENCHENTES DA BHRM

5.4.1 A enchente de 1969 da BHRM em Alagoas

Existem diversos relatos sobre enchentes que já ocorreram na BHRM. A mais letal, segundo os registros históricos que se tem, foi a que ocorreu no ano de 1969, afetando a cidade de São José da Laje (AL), que foi quase destruída totalmente e que até hoje guarda na memória popular lembranças de horror e sofrimento.

Na ocasião dessa enchente vários jornais locais, regionais e nacionais noticiaram o fato, acompanhando durante vários dias o desfecho do que veio a ser umas das maiores tragédias socioambientais e econômicas da região.

Na época o Diário de Pernambuco, um dos mais importantes e o mais antigo jornal da América Latina, pertencente a rede dos Diários Associados que por décadas foi o maior conglomerado de comunicação existente no Brasil, pertencente na época a Assis Chateaubriand; teve como manchete principal, publicada em letras garrafas e duas fotografias que ocuparam boa parte da capa do jornal do dia 15 de março de 1969: **“Alagoas: enchentes matam mais de cem”**. Na matéria se tem detalhado:

Sobe a mais de uma centena o número de mortos pelas inundações dos rios Canhoto e Mundaú, cujas águas se elevaram a uma altura de cerca de cinco metros além do seu nível normal, deixando cerca de 8 mil desabrigados nas cidades de União dos Palmares, São José da Laje, Branquinha, Murici, Rocha Cavalcanti e outras localidades próximas ao Vale do Mundaú. Em São José da Laje, onde a situação é mais grave, as casas comerciais foram totalmente cobertas pelas águas, desconhecendo-se, até as últimas horas da noite, o número exato dos mortos e desabrigados. As primeiras informações indicavam um saldo de 56 mortos, enquanto outros cadáveres eram retirados das ruas e de sob os escombros das inúmeras casas destruídas. Nas cidades de

União dos Palmares e Branquinha a situação era quase idêntica e, às primeiras horas da tarde, 50 cadáveres haviam sido recolhidos, enquanto turmas de socorro continuam as buscas. (Diário de Pernambuco, Ano 144, 15 de março de 1969, p. 01).

Diante de tal situação o poder público estadual na pessoa do então governador de Alagoas, Antônio Simeão de Lamenha Lins Filho, “decretou estado de calamidade pública na região atingida” e “autorizou a abertura de crédito especial de 50 mil cruzeiros novos para os primeiros socorros” (Diário de Pernambuco, Ano 144, 15 de março de 1969, p. 01).

Segundo o Diário de Pernambuco “O Governador Lamenha Filho dirigiu telegramas ao presidente Costa e Silva, ministros de Estado, superintendente da SUDENE e outras autoridades, informando-os sobre a gravidade da tragédia e pedindo providências imediatas” (Diário de Pernambuco, Ano 144, 15 de março de 1969, p. 01).

No dia 16 de março de 1969 o Diário de Pernambuco, deu continuidade ao informar sobre a tragédia. Em sua página, o mesmo noticia: “**Enchentes mataram mais de 200 em Alagoas: incalculáveis prejuízos**”. Na matéria o jornal fala que São José da Laje podia ser considerada “riscada do mapa” haja vista que “mais de dois terços de seus 40 mil habitantes se encontram desabrigados, enquanto mil pessoas ainda estão desaparecidas” (Diário de Pernambuco, Ano 144, 16 de março de 1969, p. 10).

O jornal ainda faz menção a uma enchente semelhante que houve no ano de 1962, onde o volume das águas foi maior, porém sem grandes estragos. E continua: “Círculos bem informados adiantam que os prejuízos gerais provocados pelas enchentes andam em tórno de 15 milhões de cruzeiros novos” (Diário de Pernambuco, Ano 144, 16 de março de 1969, p. 10).

No terceiro dia a esse acontecimento o Diário de Pernambuco publica em sua capa: “**Aumentou o número de mortos, mas enchente já está em declínio**”. Na matéria o jornal cita o número de 242 mortos no “Vale do Mundaú” e que o então presidente “**Costa e Silva iria liberar para Alagoas um crédito de um bilhão de cruzeiros**” e que “Tais recursos serão aplicados na reconstrução de estradas, ruas e prédios de serviços públicos e de outros serviços de emergência” (Diário de Pernambuco, Ano 144, 17 de março de 1969, p. 01), sem, no entanto, descrever de que forma esses recursos iriam auxiliar a população desabrigada de forma direta.

Passados alguns dias desse acontecimento pouco se falou sobre medidas preventivas ou eficazes para resolução do problema por parte do poder público. Porém, mesmo nessa época onde os estudos técnicos sobre a BHRM com relação as questões ambientais da bacia eram inexistentes e ainda não havia nenhuma lei que falasse sobre gestão de recursos hídricos, cabe destacar o texto escrito no mesmo jornal pelo Sr. Anísio Coelho, que no dia 23 de março de

1969, escreveu uma carta ao jornal Diário de Pernambuco com o título “**A lição das enchentes alagoanas**”.

Nessa carta, o Sr. Anísio Coelho, demonstra ter um pensamento bem à frente do seu tempo, ao analisar a falta de planejamento da BHRM e a necessidade de estudos técnicos por parte do poder público estadual que pudessem evitar tais calamidades. Na mesma ele escreve ao jornal:

Porque, o sr. Diretor, agora que tantas vidas custaram as recentes inundações, não se continua a ter o velho rio como tema de debate? Não se procura estudar meios de prevenção de novas cheias?” (...) “gostaria que o DIÁRIO DE PERNAMBUCO divulgasse em sua nova coluna, em forma de colaboração ao sofredor povo alagoano. A minha esperança é de que o governador Lamenha Filho as estude com os seus técnicos e as leve a Sudene, para que àquela repartição as considere. Talvez, assim acontecendo, se tirariam melhores lições da tragédia que se abateu sobre o vizinho Estado, e se partiria para adoção de medidas capazes de evitar futuras catástrofes. As centenas de vidas que o Mundaú ceifou não devem, desta vez, ser encaradas apenas como fatalidade, uma vez que muita coisa pode se fazer para atenuar efeitos de flagelos dessa natureza (Diário de Pernambuco, Ano 144, 23 de março de 1969, p. 04).

Vários registros históricos, escritos e fotográficos desse evento são encontrados em diversos meios de comunicação até hoje. A Figura 42 (abaixo), dá uma pequena dimensão, através de fotografias que foram tiradas na época do que aconteceu nessa cidade e que até hoje é lembrada com assombro pela população que ocupam as margens do rio Mundaú, tanto em Pernambuco quanto em Alagoas.

Quanto a medidas preventivas, conservacionistas ou de planejamento que poderiam terem sido tomadas pelo poder público da época ou nos anos que se seguiram, constata-se que não houve nenhuma política pública efetiva, haja vista que outras enchentes ocorreram e causaram outros danos a população residente nessas áreas vulneráveis, sendo a principal ocorrência posterior a enchente de 2010, que também afetou esse mesmo município e além dele, muitos outros no estado de Alagoas.

Figura 42: Enchente ocorrida em São José da Laje (AL), em 1969.



Fonte: TICIANELI. Blog História de Alagoas, 2016.

5.4.2 A enchente de 2010 da BHRM em Pernambuco

A BHRM é bastante conhecida por suas enchentes cíclicas e pelos danos causados pelas mesmas ao longo de vários anos.

Na Figura 43, a seguir, observa-se a enchente ocorrida em 2010, num afluente do rio Mundaú, o rio Canhoto, na cidade de Canhotinho (PE). Nessa ocasião não se registrou óbitos na parte pernambucana do rio. Quando o rio ocupou seu leito maior, inundou as casas dos ribeirinhos e os forçou a retirar-se temporariamente de suas habitações.

As casas, geralmente construídas com péssima qualidade, sofrem danos ou podem até mesmo desabar (Figura 43 (d) e (f)), porém, essas populações já naturalizaram o risco de morte e não conseguem mudar efetivamente sua condição, assim como desconhecem as medidas legais ou formais que os impulsionem a cobrar do poder público soluções ou projetos de planejamento habitacional.

Dessa forma, essas comunidades permanecem totalmente vulneráveis as variabilidades climáticas que afetam a bacia. Não sabem quando ocorrerá a próxima enchente, mas, sabem dos riscos que correm continuamente e que não conseguem modificar sua própria realidade, assim como são invisibilizadas durante o período em que não ocorrem desastres causados pelas cheias cíclicas.

Essas comunidades que contribuem para a degradação da bacia, também são degradadas em sua qualidade de vida, seja nos períodos de estiagens ou cheias, sofrendo duplamente com ambos os fenômenos naturais, mas, sobretudo pela marginalização em que estão condicionadas pela falta de políticas públicas e de seu devido cumprimento no âmbito dos municípios que estão inseridos na BHRM e que não dispõe de planejamento urbano e rural para o uso do solo.

Figura 43: Enchente na bacia do rio Canhoto em 2010, importante afluente do Mundaú.



Fonte: Acervo pessoal da autora, 2010.

5.4.3 A enchente de 2010 da BHRM em Alagoas

No ano de 2010, novos eventos de enchentes voltaram a ocorrer na BHRM, tendo seus maiores impactos ocorridos no estado de Alagoas. A Figura 44, dá uma pequena dimensão do que aconteceu. Vários jornais de âmbito nacional acompanharam o acontecimento. Mas, não só, alguns trabalhos científicos também buscaram analisar a hidrologia, influências climáticas e meteorológicas da BHRM.

A partir disso importantes resultados e estudos, no âmbito acadêmico, começaram a discutir aspectos de ordem física e social da bacia. O que ficou mais evidente, foi a necessidade de aprofundar os estudos de forma conjunta entre as diversas instituições de ambos os estados (Pernambuco e Alagoas), para ampliar o entendimento sobre os sistemas ambientais da bacia e para efetivar um planejamento e gerenciamento dos recursos naturais de modo preventivo e não apenas remediativo/paliativo.

Nos dias 17, 18 e 19 de junho de 2010 houve intensa precipitação em toda a BHRM. Em trabalho realizado por Oliveira, Souza e Fragoso Jr. (2010), os autores estimaram um tempo de retorno de 95 anos para esse tipo de evento, que foi o mais intenso em medições realizadas desde 1935. Segundo esses autores:

Em junho de 2010 com as fortes chuvas ocorridas em 95 municípios entre os estados de Alagoas e Pernambuco foram afetados. Segundo levantamento da Defesa Civil entre os municípios atingidos em 31 deles foi decretada situação de emergência e em 27 foi decretado estado de calamidade pública. O número de óbitos foi de 46 e desaparecidos 69, sendo afetados 337.745 habitantes. As maiores destruições foram constatadas nos meios físicos com a destruição de residências, estradas, estruturas (pontes, barragens), plantações e indústrias, chegando a 157.124 desabrigados/desalojados (OLIVEIRA, SOUZA e FRAGOSO JR., 2010, p.3).

O jornal alagoano Gazeta do Povo também noticiou no dia 21 de junho de 2010:

“Cenário de tsunami no Nordeste” e complementam:

Em União dos Palmares e Branquinha (a 69 km de Maceió), o cenário é de terra arrasada. Centenas de residências, lojas e prédios públicos que ficavam ao longo de uma faixa de 60 km às margens do Rio Mundaú foram destruídos. O nível do rio subiu pelo menos cinco metros e devastou tudo o que havia nas margens. A lama cobriu as ruas e o asfalto soltou-se em placas. Árvores e postes foram arrancados do chão. Bombeiros comparam o estrago nas cidades ao causado pelo tsunami que atingiu parte da Ásia, em 2004 (Gazeta do Povo, 21 de junho de 2010).

Figura 44: Enchente da BHRM, ocorrida em municípios alagoanos em 2010.



Fonte: UOL Notícias, 2010 e Gazeta de Alagoas, 2010.

Segundo matéria publicada no site de notícias UOL, o então presidente da república da época Luiz Inácio Lula da Silva, sobrevoou a região e enviou “três ministros (dos Transportes, das Cidades e da Integração Nacional) para que analisassem o tamanho do prejuízo e o que poderia ser feito emergencialmente. Ele prometeu envio de recursos o mais breve possível para apoiar os estados” (UOL Notícia, 21 de junho de 2010).

É interessante analisar que mesmo não sendo a primeira vez que esse tipo de desastre ocorreu na BHRM, no ano de 2010 pouco se falou por parte do poder público sobre a necessidade de analisar as questões socioambientais da bacia, isso fica evidente quando se nota a ausência da ministro do meio ambiente, entre o grupo de ministros que se deslocou para sobrevoar a região, demonstrando desse modo que até 2010 não se cogitava em adotar medidas preventivas de conservação, para resolver o problema, apenas medidas estruturais/emergenciais.

No dia 22 de junho de 2010 o G1, jornal do Grupo Globo, noticiou que “o governo federal anunciou R\$ 100 milhões para Alagoas e Pernambuco, dos quais R\$ 50 milhões (R\$ 25 milhões para cada) serão transferidos de imediato” (G1, 22 de junho de 2010).

No dia 09 de janeiro de 2012, o site de notícias UOL traz título de matéria: **“Vítimas de mesma enchente em 2010, PE tem R\$ 320 milhões para barragens e Alagoas, R\$ 8 milhões para “estudos”**. Na matéria o site destaque o repasse desigual entre os estados. É importante salientar também que essa verba federal não foi repassada apenas para a BHRM e sim para toda região atingida nesses estados pelas chuvas de 2010, que vai muito além da BHRM, abarcando também outras bacias hidrográficas.

Os projetos visavam sobretudo a “construção de 14 barragens nos rios Mundaú e Paraíba e da dragagem da lagoa Mundaú”. A reportagem entrevistou na ocasião o secretário de Infraestrutura de Alagoas, Marcos Fireman que sobre o assunto expôs seu pensamento: “As obras de contenção dos rios, bem como o desassoreamento e a dragagem das lagoas, são fundamentais para impedir tragédias como as ocorridas nas enchentes de 2010, que atingiram 19 municípios do estado” (UOL Notícias, 09 de janeiro de 2012).

Após a enchente de 2010, o reservatório Cajueiro (Mundaú II) foi construído no município de Garanhuns – PE, porém, como foi demonstrado nessa pesquisa, o mesmo não significa a resolução completa dos problemas da bacia, nem tão pouco a total regularização da vazão da mesma.

Em maio de 2017, uma nova enchente ocorreu em municípios de Alagoas e Pernambuco, entre eles, municípios da BHRM como Jurema e Quipapá em Pernambuco e

Atalaia, Capela, Chã Preta, Murici, Pilar, Quebrangulo, Rio Largo, Satuba e União dos Palmares em Alagoas.

Na ocasião, mais uma vez foi decretado estado de emergência pelos governadores de Pernambuco (Paulo Câmara) e Alagoas (Renan Filho), que se deslocaram até Brasília para buscar recursos federais junto ao então presidente da república Michel Temer.

Além de centenas de desabrigados, na BHRM ocorreu mais um óbito de um jovem que “desapareceu no Rio Mundaú” (G1, 28 de maio de 2017), no município de Satuba.

Segundo o site da Agência Brasil, em matéria publicada no dia 31 de maio de 2017, intitulada: “**Chuva: governo federal reconhece emergência em cidades de Alagoas e Pernambuco**”, o Ministério da Integração Nacional, publicou no Diário Oficial da União portarias “em que reconhece a situação de emergência em municípios de Alagoas e Pernambuco” e que “Cerca de 30 milhões devem ser destinados às cidades afetadas como parte do apoio federal” (Agência Brasil, 31 de maio de 2017).

O Diário de Pernambuco, publicou no dia 28 de maio de 2017, que o então presidente da república Michel Temer, na ocasião da enchente, prometeu liberar verbas no valor de R\$ 600 milhões “para obras hídricas e de combate a enchente, e R\$ 383 milhões para a conclusão de quatro barragens” (Diário de Pernambuco, 28 de maio de 2017).

Ao analisar essas questões que envolvem enchentes na BHRM, ao longo de vários anos, e toda a verba pública que já foi destinada para ações paliativas e emergenciais, percebe-se que nada de realmente efetivo foi realizado, como estudos técnicos mais aprofundados e sistêmicos que considerassem as questões ambientais de forma integrada.

O Plano Diretor de Recursos Hídricos da BHRM, que deveria ser o documento técnico mais completo de diagnóstico e prognóstico da bacia, está desatualizado, sendo sua mais recente e única versão a publicada em 1999, ou seja, há 22 anos atrás.

Além disso, observa-se que as enchentes do Mundaú tem ao longo dos anos se transformado em uma verdadeira Indústria das Enchentes, como ocorre em outras bacias socioambientalmente vulneráveis em todo o Brasil, onde apenas durante cada episódio de calamidade e desastre, os políticos se apresentam para discutir o assunto, prometer e destinar faraônicas verbas federais para atender a população afetada e em contrapartida se beneficiar com aliados e votos.

Porém, passados alguns dias da enchente, ao reduzir a vazão do rio, ao serem retirados dos cofres públicos milhões ou até bilhões de reais para medidas emergenciais, tudo volta a ser esquecido e a população vulnerável da bacia, volta a viver na espreita e no medo de uma nova

enchente que leve consigo seus bens materiais, sua história e memória e em muitos casos suas próprias vidas.

5.5 GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ

A gestão participativa e descentralizada dos recursos hídricos da BHRM ainda é um ideal longe de sua efetiva concretização, apesar de estar prevista na Lei das Águas desde 1997. Apesar de todos os problemas de secas, enchentes e degradação ambiental que essa bacia apresenta, pouco foi feito no sentido de promover a gestão integrada, democrática e participativa, não só dos seus recursos hídricos, mas, de todos os recursos naturais.

Um dos maiores problemas para a concretização da gestão, é a imensa e variada quantidade de municípios e a alternância de poder entre seus respectivos gestores nos estados de Pernambuco e Alagoas, assim como a falta de iniciativa e determinação dos governos estaduais e federal.

Algumas tentativas de organização de grupos de debates junto a sociedade civil, usuários e gestores públicos (ou seus representantes), foram empenhadas no sentido de formar o Comitê da bacia, porém, até o momento não lograram êxito.

5.2.1 Os principais usos da água da BHRM

No âmbito de gestão de bacias hidrográficas, conhecer os diferentes usos de água da bacia é fundamental para o planejamento. Segundo a Lei das Águas de 1997, os usos da água que precisam de outorga são aqueles que podem alterar a qualidade e/ou a quantidade de um corpo de água.

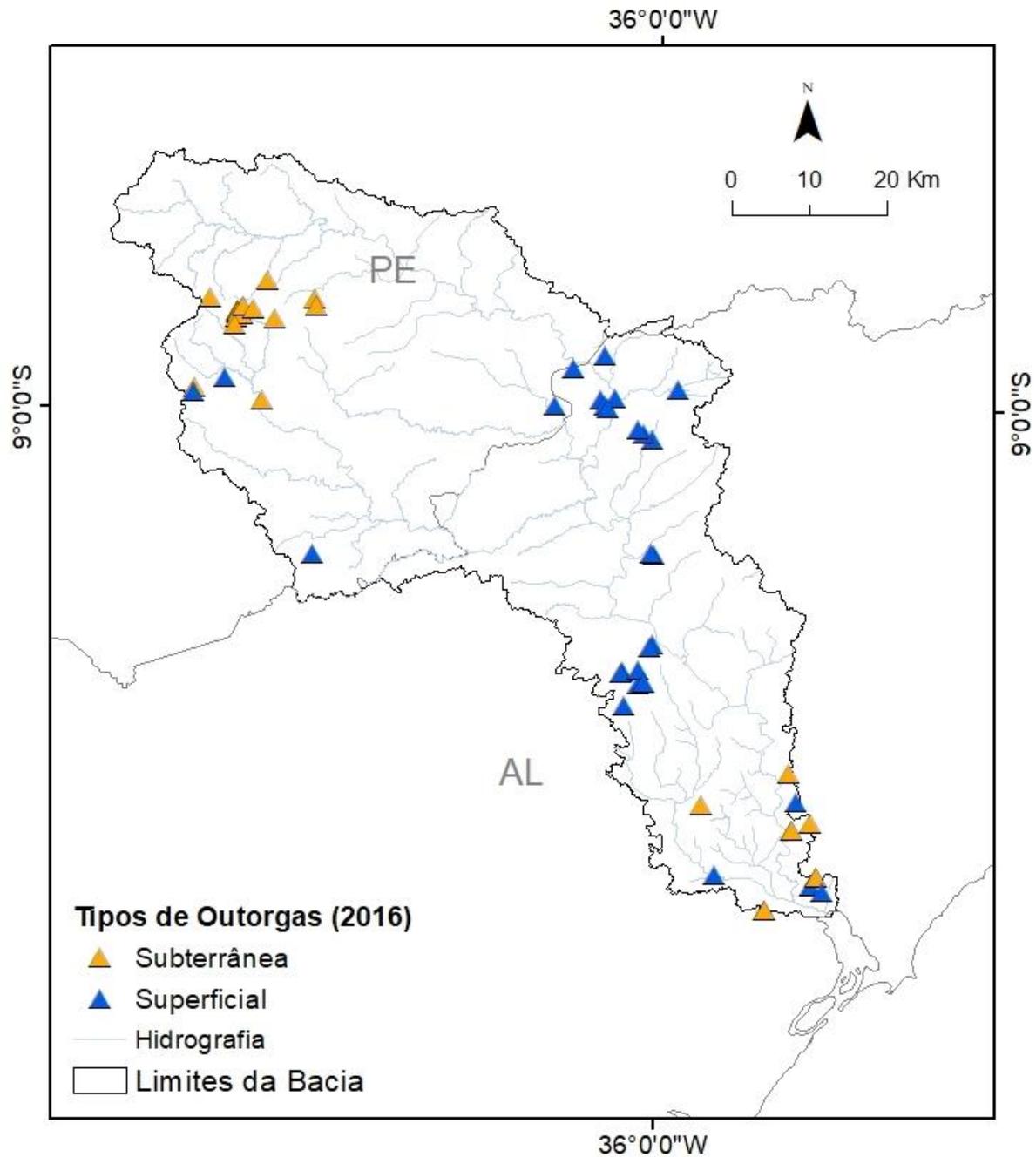
Analisando essa definição de forma mais abrangente, é possível se concluir que todo uso da água altera a quantidade e/ou qualidade. Porém o que necessita mesmo de outorga por parte do poder público são os usos que alteram de forma significativa, sendo os “usos irrelevantes” como a Lei das Águas propõe dispensáveis de outorga, o que de certo modo deixa aberto a variadas interpretações.

Nesse caso, observa-se que os usos que alteram de forma significativa são geralmente aqueles que estão atrelados ao setor econômico de forma mais intensa, como aqueles vinculados a indústria, irrigação, abastecimento de médias ou grandes cidades, assim como também o uso do corpo de água para diluição de efluentes líquidos ou construção de reservatório que alteram o regime hidrológico de toda a bacia.

Segundo dados coletados junto a ANA, a BHRM dispõe de diversas outorgas de usos da água superficial e subterrânea. A Figura 45, expõe os usos da água por tipo de captação no ano de 2016.

Observa-se que na parte pernambucana da bacia a maior quantidade de usos são de águas subterrâneas. Na região pernambucana, como já foi exposto acima, os recursos superficiais são mais limitados, devido aspectos físico-geográficos, principalmente devido o regime de precipitações que é mais reduzido.

Figura 45: Tipos de captação das águas outorgas em 2016 na BHRM.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2020.

A região do Agreste Meridional de Pernambuco dispõe de diversas fontes de água mineral, analisadas mais profundamente em trabalho de tese realizada por Silva (2012), onde a autora discutiu as territorialidades das águas de Garanhuns e apropriação dos mananciais.

Já na parte alagoana os usos preponderantes outorgados são de águas superficiais, devido o maior acúmulo no leito do rio e maior quantidade de água precipitada ao longo do ano. Também é necessário atentar que os usos das águas superficiais em Alagoas, são em sua maioria para atividades ligadas a irrigação e/ou mineração e sendo assim não necessitam de alto nível de pureza, encontradas de forma mais comum, *in natura* nas águas subterrâneas.

Em Pernambuco as captações superficiais estão ligadas aos reservatórios construídos com o objetivo de abastecer a população de Garanhuns e municípios vizinhos. A ANA dispõe dados de outorgas concedidas apenas a usos de grandes quantidades de água, porém existem outras fontes de captação superficial como inúmeros açudes e outros sistemas destinados a retirada de água para irrigação de pequenas áreas.

Na região alagoana observa-se que as fontes subterrâneas estão localizadas próximas ao litoral, onde provavelmente abastecem municípios da região próxima a capital Maceió. Observa-se também, pela quantidade de captações superficiais em Alagoas que a economia agropecuária, principalmente os latifúndios canavieiros dependem substancialmente da variabilidade pluviométrica anual, refletido de forma acentuada no regime hidrológico da bacia.

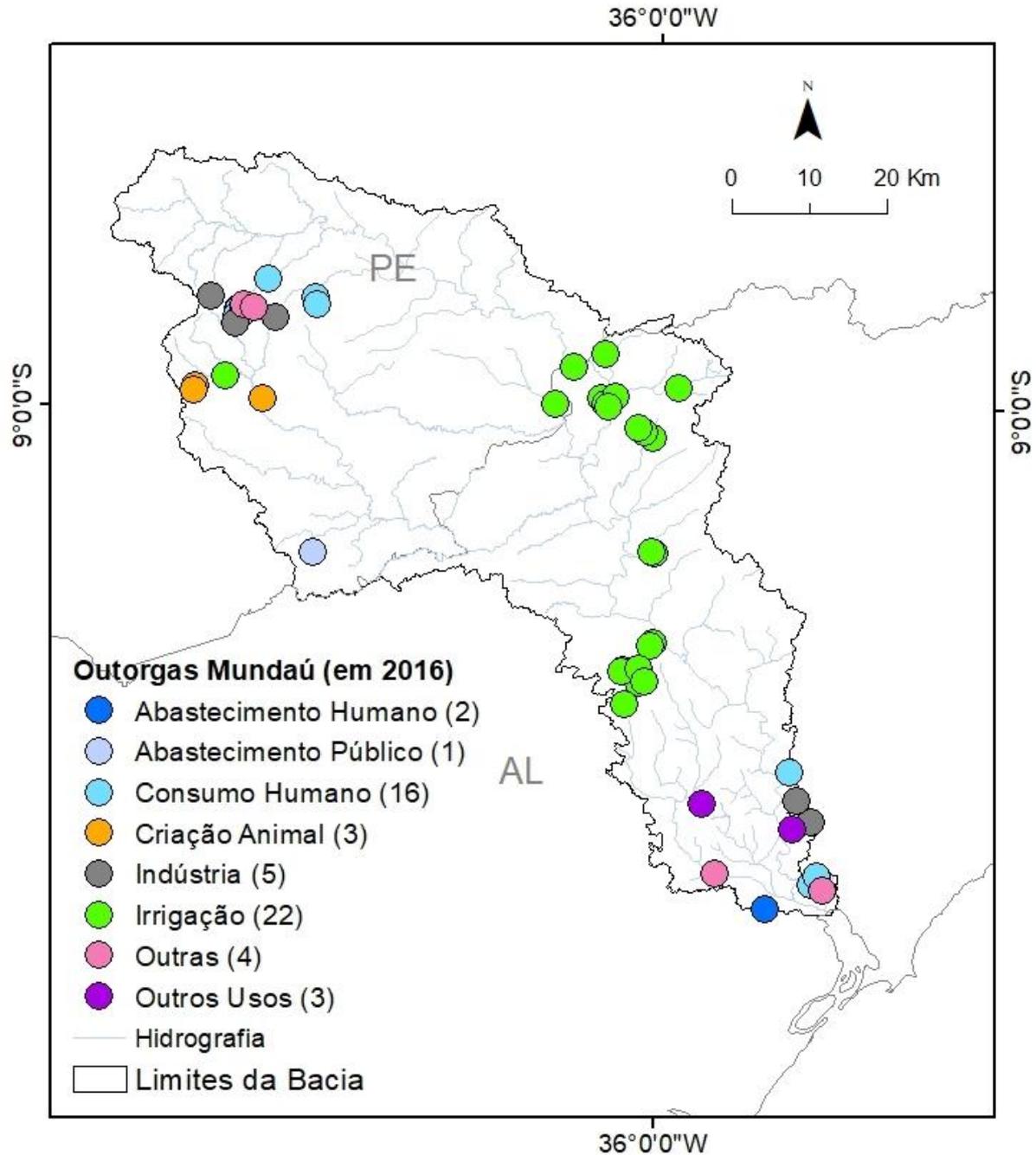
A disponibilidade de água para a irrigação das culturas canavieiras da região alagoana, assim como para a mineração (extração de areia no leito do rio), estão de forma intrínseca ligadas tanto a variabilidade climática quanto aos diferentes usos da terra na parte a montante do rio, ou seja daquilo que acontece na parte pernambucana.

As águas subterrâneas utilizadas tanto em PE quanto em AL, necessitam de maior análise quanto a sua disponibilidade e características do (s) aquífero (s) onde se localizam. É sabido que a localização das águas subterrâneas pode extrapolar os limites de uma bacia hidrográfica.

As águas subterrâneas captadas na BHRM podem ter sua origem na bacia ou distante dela, ou seja, os aquíferos que as armazenam podem ser recarregadas pelas águas precipitadas na bacia ou em outras. De todo modo dependendo do tipo de aquífero, as águas subterrâneas captadas na BHRM, podem ter alguma relação com a precipitação da bacia e principalmente com os usos da terra, tipo de solo e cobertura vegetal da bacia.

As outorgas da BHRM disponibilizadas pela ANA, referentes ao ano de 2016 se dividem em: Abastecimento Humano; Abastecimento Público; Consumo Humano; Criação Animal; Indústria; Irrigação; Outras e Outros Usos (Figura 46).

Figura 46: Tipos de Usos outorgados na BHRM em 2016.



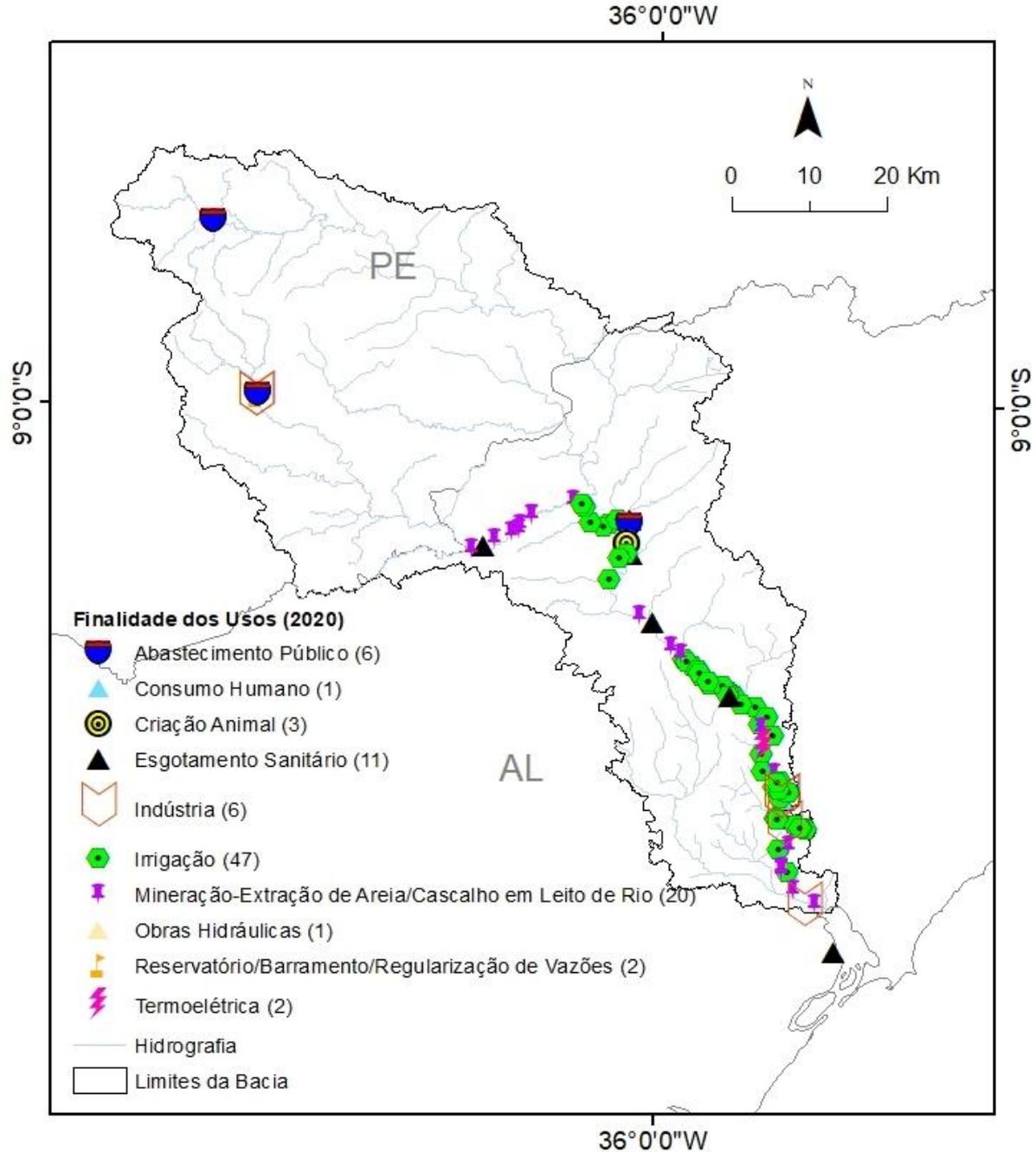
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2020.

É necessário considerar que esses usos correspondem tanto as captações superficiais como subterrâneas, como por exemplo a água obtida através de poços para o consumo humano (onde a água mineral também está incluída), indústria e etc.

Em 2016 a irrigação se destaca como sendo a atividade que solicita a maior quantidade de captações de água da BHRM. A indústria na parte pernambucana também se destaca, tendo como grande usuário o setor de produção avícola em Garanhuns.

A Figura 47 (abaixo), explicita os diferentes usos atuais das águas da BHRM.

Figura 47: Finalidades de Usos da BHRM.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2020.

No estado de Pernambuco há apenas três tipos de outorgas atualmente: Abastecimento Público (4); Indústria (2) e Reservatório/Barramento/Regularização de Vazões (2). Das 99 outorgas, apenas 8 estão localizadas em PE, ou seja, apenas 8,08%. Dentre essas outorgas 2 não correspondem ao uso da água exatamente, pois estão destinadas simplesmente a regularizar vazões, sem usar ou consumir água. Nesse caso apenas 6 correspondem a captação da água o que corresponderia a apenas 6,06% dos usos das águas da BHRM, caso se considerassem as outorgas apenas consumo da água.

Já o estado de Alagoas responde por 91,9% das outorgas atuais da BHRM. Dois de seus usos se destacam: Irrigação (47 outorgas) e Mineração-Extração de Areia/Cascalho em Leito de Rio (20). Esses usos estão diretamente ligados ao desenvolvimento econômico alagoano, principalmente o da irrigação, destinado as culturas sucroalcooleiras.

Outro uso que se destaca na parte alagoano da BHRM são as outorgas concedidas para o esgotamento sanitário (11 outorgas). Observa-se na Figura 47 que todas elas são em Alagoas e nenhuma outorga de lançamento de efluentes em Pernambuco. Também não há informações disponíveis sobre onde os efluentes líquidos dos municípios pernambucanos são destinados.

A mineração para a extração de areia/cascalho em AL também tem um uso bastante intenso. É necessário analisar mais profundamente quais impactos essa atividade causa no regime hidrológico da bacia, sobretudo no que tange a erosão das margens do rio o que pode intensificar as cheias nos municípios a jusante dessa atividade.

A extração de areia/cascalho do leito do rio também pode ter forte impacto negativo sobre as matas ciliares e os ecossistemas fluviais, podendo alterar todo o equilíbrio ecológico nesses trechos e a sua jusante. A ANA não dispõe de informações sobre Estudo de Impacto Ambiental (EIA) que essa atividade pode causar.

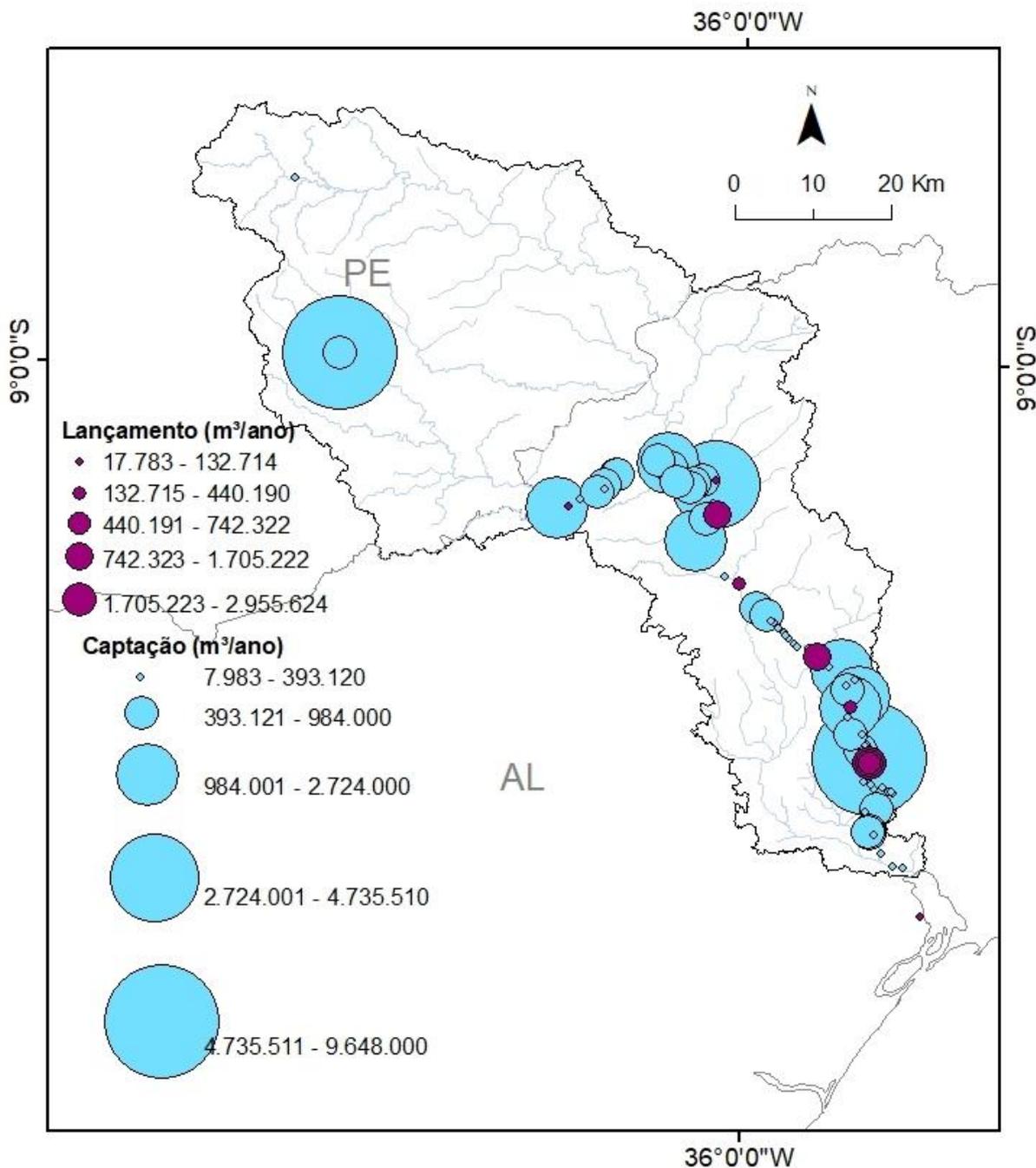
Torna-se necessário estudos de impactos sobre os diferentes usos da água da BHRM, principalmente àqueles ligados a atividades potencialmente degradantes como o lançamento de efluentes líquidos, inclusive das usinas de cana-de-açúcar, dos esgotos domésticos e das atividades de mineração. Essa talvez seja uma deficiência da Lei das Águas que não deixa explícito a necessidade/obrigação de EIA/RIMA por parte dos usuários para a concessão da outorga.

Outra atividade que se destaca é a captação e lançamento de águas utilizadas numa usina termelétrica no estado de AL. Também não estão disponíveis informações sobre o potencial de degradação e impacto dessa atividade sobre o ecossistema fluvial do rio Mundaú.

A existência de 2 reservatórios com a finalidade de regularizar a vazão, localizados em PE, demonstra especial interesse em evitar cheias na parte alagoana da bacia, mas, como foi visto anteriormente, apenas a utilização de medidas estruturais pode não ser suficientes para resolver o problema, sendo necessário a adoção de medidas diversas, principalmente as conservacionistas relacionadas a cobertura da terra. Todos esses usos especializados apontam a necessidade da gestão integrada da BHRM.

A Figura 48 analisa o uso de todo o volume de água da BHRM, divididos em dois tipos principais: captação e lançamento.

Figura 48: Volumes de Captação e Lançamentos na BHRM.



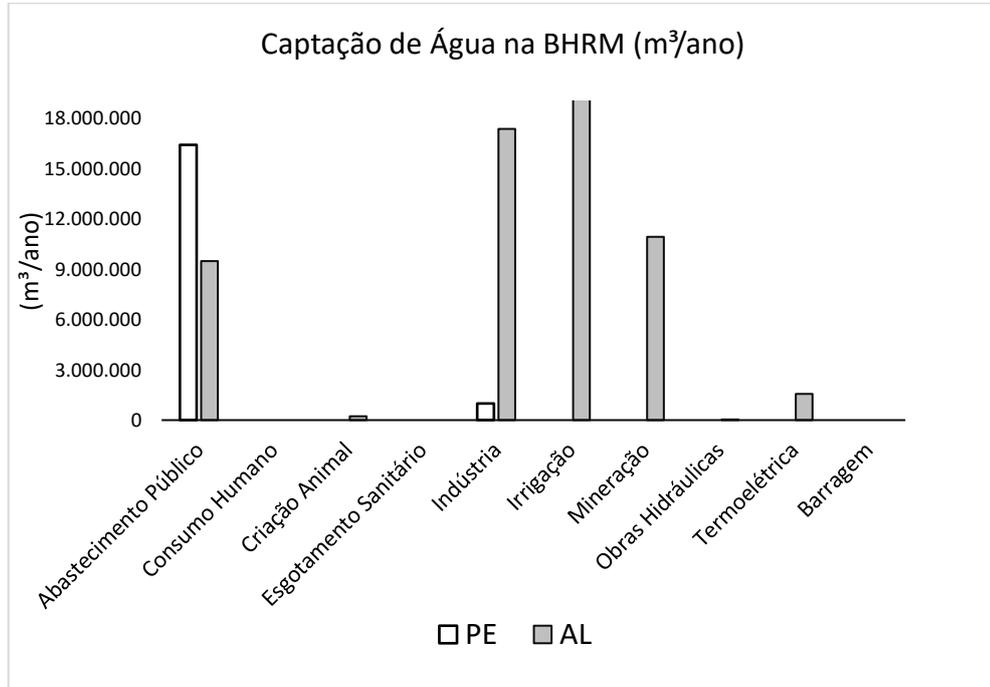
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2020.

A captação abarca todos os usos de água para uso e/ou consumo humano acima citados, exceto as obras de barramento para regularização de vazão, a água utilizada na usina termelétrica e as águas servidas do esgotamento sanitário.

Os lançamentos em sua quase totalidade correspondem ao esgotamento sanitário de 11 localidades no estado alagoano e a devolução de parte das águas utilizadas em uma termelétrica.

No Gráfico 16, observa-se que a maioria da captação das águas da BHRM é realizada no estado de AL. Nesse estado os usos preponderantes são para a irrigação, indústria e mineração.

Gráfico 16: Captação de Água na BHRM.

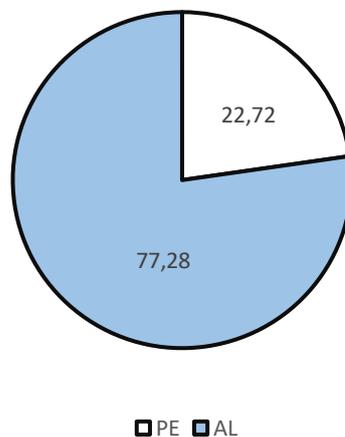


Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2020.

No Gráfico 17 observa-se que do total de águas captadas na BHRM mais de ¾ são destinadas aos usos localizados em AL (77, 28%), enquanto apenas 22,72% são utilizadas em PE.

Gráfico 17: Captação de Água em Pernambuco e Alagoas (%).

Captação de Água da BHRM (%)



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2020.

É necessário compreender que nem todos os usos estão registrados pela ANA, apenas aqueles que passaram por processo de outorga, ou seja, uso legal para grandes volumes, ou que tenham potencial de alterar drasticamente a qualidade ou a quantidade de águas da BHRM.

Os usos pontuais (irrelevantes para a Lei das Águas) não estão apresentados nessas figuras, gráficos e/ou tabelas, sendo, portanto, muito difícil de mensurar sua localização e/ou seus impactos no regime hidrológico da BHRM.

Na Tabela 6 (abaixo), podemos observar como estão distribuídas as captações de águas outorgadas na bacia.

Para o abastecimento público PE detém o maior volume (16.398.720 m³/ano), enquanto AL detém o maior volume captado para a irrigação (19.618.080 m³/ano) seguido do uso para a indústria (17.347.599 m³/ano).

Tabela 6: Tipos de Usos da Água da BHRM.

Tipo de Uso	Captação (m ³ /ano)		Lançamento (m ³ /ano)	
	PE	AL	PE	AL
Abastecimento Público	16.398.720	9.471.020	-	-
Consumo Humano	-	-	-	1.544.300
Criação Animal	-	246.375	-	-
Esgotamento Sanitário	-	-	-	9.110.488
Indústria	1.009.296	17.347.599	-	-
Irrigação	-	19.618.080	-	-
Mineração	-	10.944.440	-	-
Obras Hidráulicas	-	24.000	-	-
Termoelétrica	-	1.576.800	-	440.190
Barragem	*	*	*	*
TOTAL	17.408.016	59.228.314	0	11.094.978

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da ANA, 2020.

Notas:

*Não existem valores de volumes (m³/ano) para barragens pois é vista aqui com a função de apenas regularizar as vazões.

No total PE utiliza 17.408.016 m³/ano de água captada da BHRM, enquanto AL utiliza 59.228.314 m³/ano. Quanto ao lançamento de efluentes apenas AL dispõe desse uso, com um volume total de 11.094.978 m³/ano.

A construção do reservatório Mundaú II (Cajueiro) em PE no ano de 2010, pode ter impactado a quantidade de água captada em AL, assim como pode ter aumentado o consumo de água na parte pernambucana.

É importante investigar também como esse volume de 11.094.978 m³/ano de efluentes lançados na BHRM (o que deve ser bem maior já que a ANA não registra/fiscaliza todos),

impacta na qualidade das águas da bacia e nos ecossistemas fluviais da BHRM e fluviomarinho do CELMM.

5.5.2 O Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú

O Plano Diretor de Recursos Hídricos da BHRM, é um dos mais antigos do Brasil. Segundo dados da ANA (2019), dos 127 Planos Diretores de Recursos Hídricos (PDRH) existentes em todo o Brasil, registrados em seu banco de dados, apenas 10 antecederam o da bacia do Mundaú.

Finalizado em 1999 pela empresa pernambucana, COTEC Consultoria Técnica Ltda., o PDRH da BHRM, diagnosticou toda a bacia, fez cenários de demanda de suas águas para os principais tipos de usos e consumos até o ano de 2020 e também sugeriu um plano de ações para gerir os recursos hídricos da bacia de forma integrada.

A princípio esse plano sugere uma divisão da bacia hidrográfica em 4 Unidades de Análise e posteriormente, 4 Unidades de Gestão, sendo 2 em Pernambuco e 2 em Alagoas como mostra a Tabela 6:

Tabela 7: Esquema proposto no PDRH sobre as quatro Unidades de Gestão.

ESTADO	UNIDADES DE GESTÃO	MUNICÍPIOS
PERNAMBUCO	UG1 = UA1 (Sub-bacia do rio Mundaú em PE)	Brejão, Correntes, Garanhuns e Lagoa do Ouro
	UG2 = UA2 (Sub-bacias do rio Inhumas e do rio Canhoto em PE)	Angelim, Caetés, Calçado, Canhotinho, Capoeiras, Garanhuns, Jucati, Jupí, Jurema, Lajedo, Palmeirina e São João
ALAGOAS	UG3 = UA3 (Parte alagoana da bacia do rio Mundaú situada a montante da confluência do riacho Cabeça de Porco)	Chã Preta, Iateguara, Santana do Mundaú, São José da Laje e União dos Palmares
	UG4 = UA4 (Trecho entre a confluência do riacho Cabeça de Porco e a Lagoa do Mundaú – AL)	Atalaia, Branquinha, Capela, Maceió, Messias, Murici, Pilar, Rio Largo, Sta. Luzia do Norte, Satuba e União dos Palmares

Fonte: Pernambuco, 1999.

Estando essas agrupadas em duas grandes Unidades de Gestão, como observa-se abaixo:

Tabela 8: Esquema proposto no PDRH sobre as duas grandes Unidades de Gestão.

ESTADO	UNIDADES DE GESTÃO	MUNICÍPIOS
PERNAMBUCO	UG1 = MUNDAÚ/PE	Angelim, Brejão, Caetés, Calçado, Canhotinho, Capoeiras, Correntes, Garanhuns, Jucati, Jupi, Jurema, Lagoa do Ouro, Lajedo, Palmeirina e São João
ALAGOAS	UG2 = MUNDAÚ/AL	Atalaia, Branquinha, Capela, Chã Preta, Ibateguara, Maceió, Messias, Murici, Pilar, Rio Largo, Sta. Luzia do Norte, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba e União dos Palmares

Fonte: Pernambuco, 1999.

Em seu relatório a PDRH do Mundaú, expõe vários aspectos físicos e socioambientais da BHRM, porém, atualmente se encontram desatualizados, apesar do plano traçar cenários que previam o aumento populacional e conseqüentemente o aumento da demanda hídrica até 2020.

Portanto, é o documento antecedente a essa tese, que melhor contemplou a diversidade de aspectos da bacia, mas, de modo relativamente superficial, sendo completamente necessário o aprofundamento e atualização desses dados e informações, para caracterizar melhor aspectos atuais da bacia, como por exemplo, população, oferta e demanda hídrica, assim como os atuais usos da terra da bacia.

Uma das coisas que mais chamam a atenção nesse PDRM é que no ano que ele foi concluído nenhum dos municípios situados na BHRM, possuíam sistema de esgotamento sanitário adequado, despejando diretamente os efluentes líquidos, domésticos e industriais no leito do rio principal e seus afluentes. Destaca-se nesse meio o esgoto gerado pelas indústrias sucroalcooleiras de alagoas que segundo o PDRH:

As estimativas de carga potencial da indústria sucroalcooleira de Alagoas, com uma unidade instalada no rio Canhoto, duas no Mundaú e mais duas no rio Satuba é de **301 mil kg DBO/dia**, o equivalente aos esgotos potenciais de uma população de um pouco mais de **5,57** milhões de habitantes, ou seja 2.494% superior à população de Alagoas no vale todo. Estas estimativas foram elaboradas pela safra de 1997/98 sendo esperada uma quebra de safra de cerca de 20% em 98/99 devido ao baixo índice de chuvas neste ano (Pernambuco, 1999, p. 89).

Desde então, não há informações de que essa realidade foi alterada até agora, ou que os municípios situados dentro da BHRM, tenham aderido à Política Nacional de Saneamento Básico (Lei Federal nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007), a qual já completou 12 anos e repassa

aos municípios a responsabilidade pelo seu saneamento, sendo esse composto pelos quatro serviços básicos: 1. Abastecimento de água; 2. Coleta e tratamento de esgotos; 3. Coleta e destinação adequada dos resíduos sólidos e 4. Drenagem de águas pluviais urbanas.

As informações que constam no PDRH, é que na época em que ele foi elaborado, alguns municípios julgavam ter saneamento básico, por despejarem seus esgotos *in natura* no leito do rio, levando para longe de suas cidades a imundície. Essa prática é observada até hoje em vários lugares da bacia.

O Plano também demonstra que desde aquela época, ocorria déficit hídrico na parte pernambucana da bacia e que a tendência era a escassez aumentar, sendo, portando, segundo o PDRH, necessário a construção de reservatórios para ampliar a oferta d'água. Porém, o plano não apresentava nenhuma proposta de recuperação das águas já poluídas e/ou contaminadas da bacia.

Observa-se atualmente que a poluição e contaminação das águas do Mundaú só aumentou ao longo do tempo, assim como a demanda, devido ao crescimento populacional e seus diversos usos.

As soluções para resolver tais problemas, tem sido apontadas de forma simplistas e pontuais, como a construção de novos reservatórios, cada vez maiores, não considerando que devido à escassez e/ou deficiência dos saneamento básico dos municípios que compõe a bacia, tem ao longo do tempo oferecido um risco iminente de contaminação de todos esses reservatórios, já que boa parte dos efluentes das cidades e fertilizantes agrícolas tem sido carreados para esses corpos d'águas.

A construção de reservatórios para atender à crescente demanda da população, principalmente da população pernambucana é essencial, porém, sem o monitoramento adequado dessas águas e medidas preventivas de conservação desses corpos d'águas, tornam-se ao longo do tempo apenas grandes lagos eutrofizado e contaminados. Daí a necessidade urgente de conciliar medidas estruturais, com medidas conservacionistas de preservação das águas e dos solos, assim como torna-se evidente a urgência de implantação do saneamento básico adequado em toda a bacia.

Analisando essas questões, torna-se evidente a necessidade da gestão integrada da BHRM, tendo como principal propulsor dessa gestão a criação de um Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH), ou seja, o Comitê da Bacia do Mundaú.

5.5.3 A criação do Comitê da Bacia do Rio Mundaú: avanços e desafios

A primeira referência que se tem com relação a tentativa de criação de um Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH), para a BHRM, foi realizada pelo PDRH em 1999.

Durante a pesquisa realizada para a construção do PDRH, segundo o mesmo, foram realizados três encontros participativos, dois em Pernambuco e um em Alagoas. O primeiro se deu no município de Garanhuns (PE) no dia 14 de julho de 1998. O segundo no município de União dos Palmares (AL), no dia 9 de setembro de 1998. E o terceiro novamente em Garanhuns (PE), no dia 17 de dezembro de 1998 (PERNAMBUCO, 1999).

Segundo o PDRH:

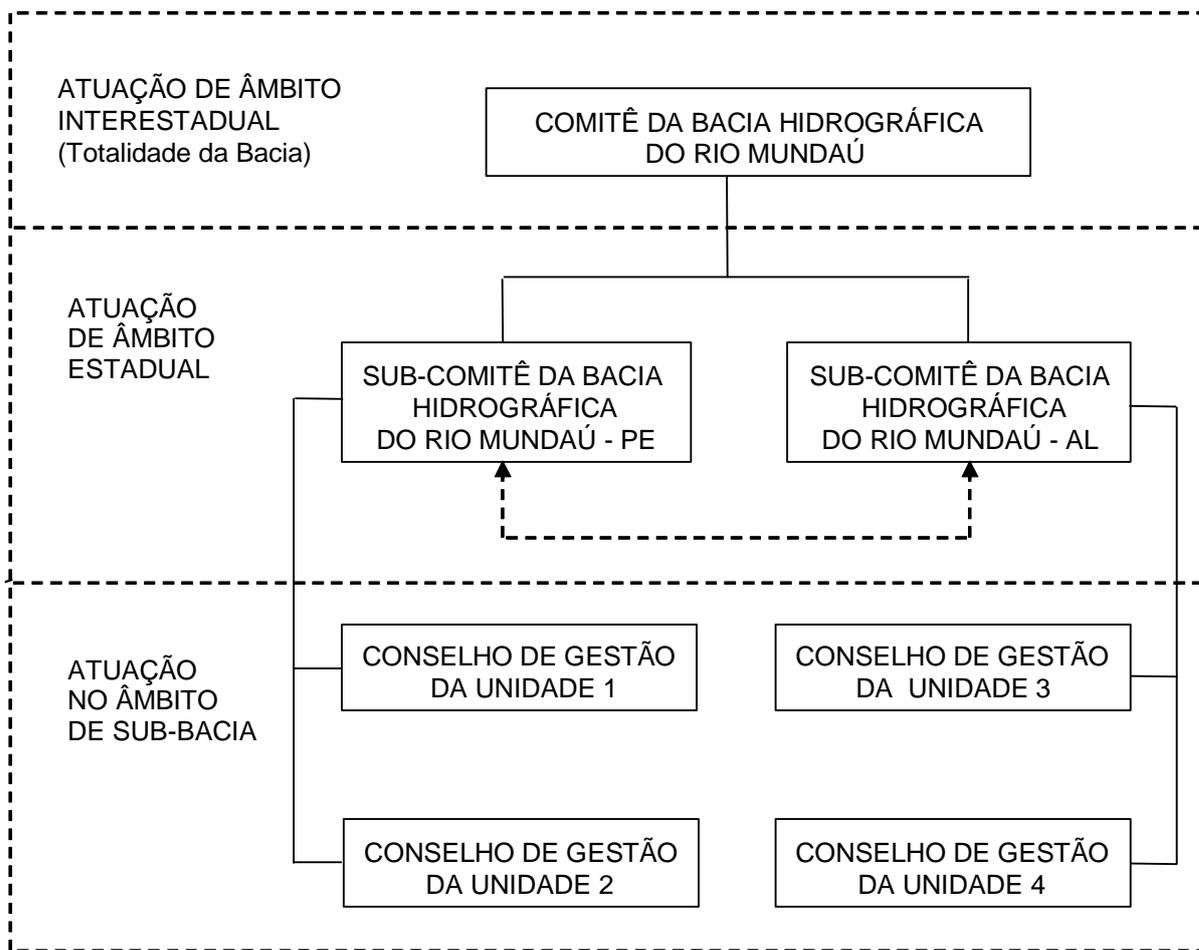
Em resumo, cabe ressaltar algumas reivindicações dos participantes. A necessidade de gestão dos recursos hídricos é uma delas, acompanhada da criação do comitê de bacia. Outra preocupação dos usuários de água foi com o problema de preservação do meio ambiente e com a educação ambiental. O esgotamento sanitário foi considerado um dos grandes problemas causadores da poluição no trecho pernambucano da bacia. Os representantes desse trecho reivindicaram também uma solução para o conflito existente um decorrência da falta de água para a produção agrícola, solicitando uma alternativa que pudesse contemplar o uso múltiplo de água para abastecimento humano e irrigação, justificando sua reivindicação como um meio para incrementar a produção de alimentos e a geração de emprego e renda (PERNAMBUCO, 1999).

Ainda segundo o PDRH, um questionário foi enviado aos gestores municipais, objetivando dos mesmos maior participação. O questionário solicitava diversas informações sobre os recursos hídricos e outras questões ambientais da bacia, mas “poucas prefeituras responderam, embora tenham-se feito representar nas reuniões participativas” (PERNAMBUCO, 1999, p.47).

O PDRH, não especifica a porcentagem dos municípios que participaram e/ou gestores municipais, nem oferece informações sobre outras lideranças que se fizeram presentes nessas reuniões.

Ainda sobre a criação do CBH do Mundaú, o PDRH sugere duas alternativas principais (A e B). Na primeira haveria dois sub-comitês, um em Pernambuco e outro em Alagoas, abarcando quatro Conselhos de Gestão, sendo dois para cada estado, conforme as quatro Unidades de Análises (Figura 45).

Figura 49: Alternativa A de gestão da BHRM sugerida pelo PDRH.



Fonte: Pernambuco, 1999.

Caberiam a esses sub-comitês:

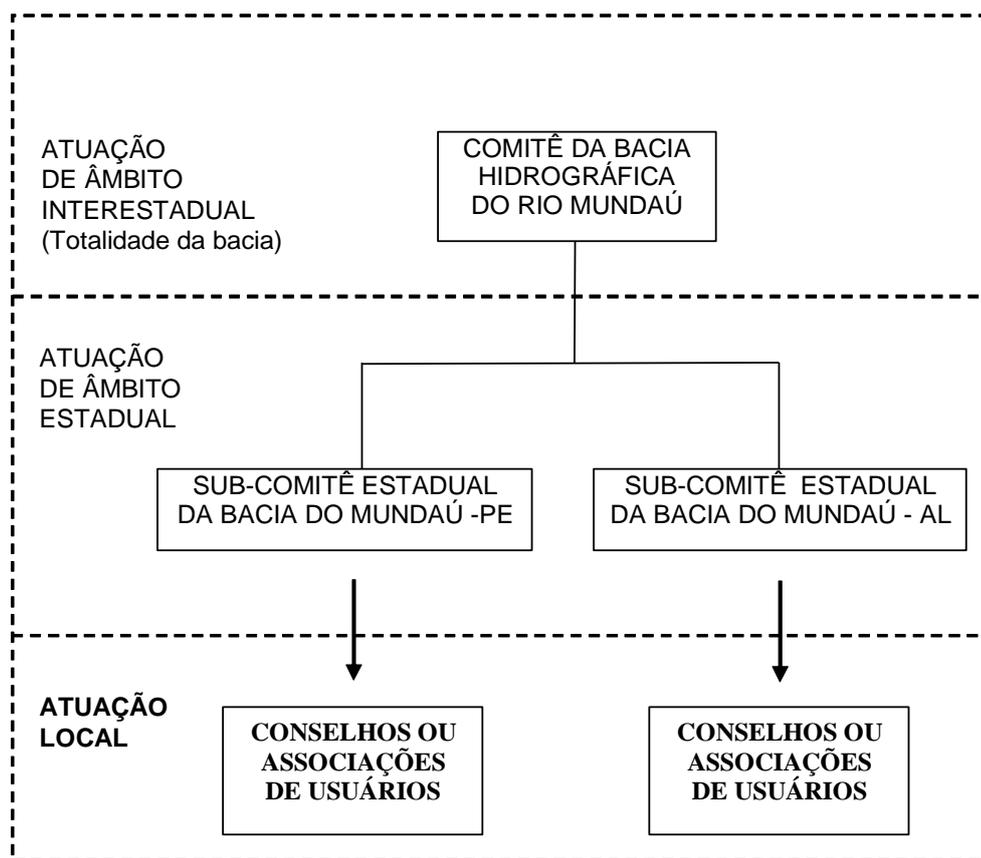
- promover a articulação entre os respectivos sub-comitês e o CBH – Mundaú, bem como entre os Conselhos de Gestão de sua área de atuação;
- formular propostas aos planos de bacia, relatórios de situação e programas e projetos prioritários e apresentar ao CBH-Mundaú;
- promover a captação de recursos para aplicação nos respectivos estados;
- promover gestões para a delegação da outorga do direito de uso e cobrança pelo uso da água pelos órgãos estaduais coordenadores do sistema de gerenciamento dos recursos hídricos;
- incentivar e apoiar a formação de consórcios municipais para a implementação de programas relativos ao gerenciamento dos recursos hídricos, de modo especial, proteção dos mananciais, abastecimento humano e saneamento ambiental;
- incentivar, apoiar e executar programas de capacitação de recursos humanos, visando o fortalecimento institucional e a capacitação de usuários para a gestão compartilhada das águas;
- apoiar o CBH-Mundaú na manutenção, alimentação, atualização e disponibilização do Sistema de Informações de Recursos Hídricos e do seu banco de dados;
- atuar na negociação de conflitos pelo uso da água na área de sua competência (PERNAMBUCO, 1999. p.165).

Já aos Conselhos de Gestão caberia:

- colaborar para a conservação dos recursos hídricos e o controle da poluição hídrica;
- atuar na proteção e operação dos reservatórios e manutenção das estruturas hídricas;
- informar sobre as necessidades e prioridades locais para a definição dos planos de ação da bacia;
- promover discussões e elaborar propostas visando ao tratamento dos recursos hídricos nos planos de desenvolvimento locais;
- apoiar os programas locais de educação ambiental;
- apoiar a difusão de tecnologias para a conservação dos recursos hídricos, abastecimento d'água, saneamento ambiental e atividades agrícolas;
- promover a negociação de conflitos pelo uso da água na área de sua competência;
- coordenar o processo de mobilização e organização das comunidades locais para a gestão participativa dos recursos hídricos.

A alternativa B do PDRH (Figura 46), seria dividir os Conselhos de Gestão em apenas dois Conselhos ou Associações de Usuários, um em cada estado:

Figura 50: Alternativa B de gestão da BHRM, sugerida pelo PDRH.



Fonte: Pernambuco, 1999.

É importante analisar que essa segunda alternativa (B), aparentemente mais simples, permite substituir os Conselhos de Gestão, que seriam a base mais diversificada do Comitê, à apenas usuários das águas, ou seja, àqueles que tem interesses econômicos no uso da água da bacia, excluindo dos debates mais locais os outros agentes, como os diferentes grupos da

sociedade civil organizada (ONGs, Instituições de Ensino e Pesquisa, Associações Comunitárias, Movimentos Sociais, etc.).

Após a finalização do PDRH em 1999, não se encontrou informações disponíveis sobre outras tentativas de criação do CBH do Mundaú até o ano de 2017.

No **dia 27 de abril de 2017** houve o “*1º Seminário de Cooperação Técnica entre Alagoas e Pernambuco para uso e Preservação das Águas dos rios Mundaú e Paraíba do Meio*”, realizado no município de Garanhuns (PE), promovido pelo Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente de Garanhuns (CODEMA), em parceria com a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), com a ONG Econordeste, com a Universidade Federal de Alagoas (UFAL), com a Secretaria de Recursos Hídricos de Alagoas e com a Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns (AESGA).

Segundo Ata publicada no Diário Oficial dos Municípios do Estado de Pernambuco (Ano VIII, nº 1828, de 10 de maio de 2017, p. 24): “*quarenta e nove instituições se fizeram oficialmente presentes e participaram do evento mais de 250 pessoas, de 36 municípios diferentes entre Alagoas e Pernambuco*” (PERNAMBUCO, 2017, p. 24).

Foram convidadas instituições dos diversos segmentos: “*associações, federações, sindicatos e demais agremiações, representantes dos usuários de águas, das indústrias, dos agricultores, dos movimentos sociais, além da mídia em geral*”, e teve como objetivo principal “*estreitar a cooperação entre instituições e mobilizar a população em prol da criação do Comitê Gestor das bacias dos rios Mundaú e Paraíba do Meio*” (PERNAMBUCO, 2017, p. 24).

É interessante analisar que no ano de 1999 não havia a pretensão por parte do PDRH, de unir as bacias Mundaú e Paraíba do Meio para a formação do CBH, como houve nessa reunião em 2017. A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio, se localiza na parte oeste da BHRM, sendo também uma bacia interestadual entre Pernambuco e Alagoas, possui características físico-naturais e socioambientais semelhantes às do Mundaú. Juntas, as bacias do Mundaú e Paraíba do Meio desaguam no Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM), formando um rico e complexo ecossistema fluvio-marinho no litoral alagoano.

A formação do Comitê de modo integrado entre as bacias, fazem grande sentido, devido ao fato de que o CELMM, onde ambas depositam suas águas, sedimentos, matéria orgânica e demais componentes químicos, físicos e biológicos de suas águas, encontram-se atualmente sofrendo sérios danos ecológicos, entre eles o assoreamento e o risco constante de perda de biodiversidade de seu complexo ecossistema, assim como não menos importante, o CELMM, visivelmente degradado põe em risco a vida de milhares de pessoas que moram nas

suas margens e desenvolvem a pesca de peixes e mariscos em suas águas como fonte de renda (muitas vezes a única).

Devido à escassez e/ou deficiência do saneamento básico dessas duas bacias em Pernambuco e Alagoas, o CELMM também recebe, através das vazões desses rios, o esgoto doméstico de quase todos os municípios de ambas as bacias, ampliando imensamente o risco de contaminação e propagação de doenças de veiculação hídrica durante os períodos de estiagem das bacias.

Esse 1º Seminário de Cooperação Técnica entre Alagoas e Pernambuco para uso e Preservação das Águas dos rios Mundaú e Paraíba do Meio, foi muito importante como primeiro e potente passo inicial para a criação do CBH desses rios.

A segunda reunião ocorreu no dia 27 de março de 2018, quase um ano depois da primeira, em Garanhuns (PE). A Ata da Reunião do Grupo Pró-Formação do Comitê das Bacias dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio, descreve que nela estiveram presentes **10 pessoas**, representando **12 instituições** e as principais metas decididas foram:

- 1) atualizar os usos e conflitos dos rios Mundaú e Paraíba do Meio, em especial com os dados da recente crise hídrica e respectivos conflitos resultantes;
- 2) atualizar os termos de adesão dos municípios integrantes das bacias dos dois estados;
- 3) definir o modelo do arranjo institucional do comitê em processo de criação;
- 4) levantamento e sistematização dos dados das outorgas estaduais das duas bacias (PERNAMBUCO, 2018).

Essas metas deveriam ser cumpridas num prazo de 30 dias, data que coincidia com um ano da primeira reunião. Nesse dia também foi agendado a terceira reunião para o dia 08 de maio de 2018 que ocorreria no município de União dos Palmares (AL).

A terceira reunião veio ocorrer no dia 26 de junho de 2018, também em Garanhuns (PE). Na Ata da reunião não há nenhuma informação que explique a não ocorrência dessa reunião em União dos Palmares (AL), como havia sido agendada anteriormente. Na Ata consta que estiveram presentes **5 pessoas**, representando **7 instituições**. Também consta que 3 das 4 metas anteriores foram apresentadas como cumpridas.

As principais metas dessa reunião foram:

- 01) Criação de uma minuta de Portaria conjunta a ser subscrita pelos Secretários Estaduais das pastas que albergam os recursos hídricos e pela Agência Nacional de Águas;
- 02) Efetuar a sistematização conjunta das outorgas dos estados de Pernambuco e Alagoas, sob a forma de documento de sustentabilidade econômica do Comitê a ser criado;
- 03) Obter as assinaturas dos Termos de Adesão dos Municípios Alagoanos;
- 04) Efetuar as ações para viabilizar as decisões políticas de participação dos Secretários Estaduais;
- 05) Agendar a próxima reunião deste grupo junto ao Gabinete do Secretário de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (PERNAMBUCO, 2018).

A próxima reunião foi planejada para ocorrer em Maceió (AL), nas dependências da SEMARH, no mês seguinte.

No ano de 2019, houve 3 reuniões sobre a criação do CBH do Mundaú e Paraíba do Meio. Tendo elas ocorridos nas seguintes datas e locais: 1. Em 24 de maio de 2019 (Garanhuns/PE); 2. Em 02 de agosto de 2019 (Maceió/AL). 3. Em 14 de outubro de 2019 (Ibateguara/AL).

A **quarta reunião ocorreu no dia 24 de maio de 2019**, em Garanhuns (PE) e na Ata dessa reunião consta a presença de **12 pessoas**, representando **15 instituições**. Houve também a “*apresentação dos novos atores responsáveis pelos órgãos públicos envolvidos na gestão dos recursos hídricos, após as mudanças decorrentes das novas gestões estaduais eleitas*” (PERNAMBUCO, 2019. p. 01).

A troca continua de atores políticos conforme as oscilações políticas e eleitoreiras dos estados e municípios devem ser considerados como de grande impacto para a criação e manutenção de um CBH, pois a cada dois anos há eleições em âmbito municipal, estadual e/ou federal e esses agentes políticos se revezam e na maioria das vezes a pessoa que tinha participado de certas reuniões do Comitê pode ser bruscamente removida de suas funções, sendo substituída por outra que chega ao grupo sem ter acompanhado a trajetória dessas tentativas de criação do CBH. Isso fica evidente nas reuniões a partir de 2019, onde o foco é alterado, conforme alterou-se os *atores responsáveis pelos órgãos públicos envolvidos na gestão dos recursos hídricos*.

O foco dessa reunião é um assunto trazido por um novo ator que surgiu após as novas mudanças ocorridas devido as eleições do ano anterior e a posse de novos políticos, que compareceu pela primeira vez a reunião de tentativa de criação do Comitê e se predispôs a falar sobre as questões financeiras das bacias, como a possibilidade de arrecadar recursos advindos da cobrança dos recursos hídricos da bacia, para manter uma Agência Executiva que atuaria no futuro Comitê das bacias dos rios Mundaú e Paraíba do Meio.

Observa-se que até o momento dessa reunião, ainda não haviam obtido a assinatura de aderência a criação do Comitê por parte de todos os gestores municipais das bacias, principalmente em Alagoas.

Ao final dessa reunião, foram fixadas como metas:

- 01) Obter as assinaturas dos Termos de Adesão dos Municípios Alagoanos;
- 02) Obter a assinatura do Termo de Adesão do Município de Correntes (PE);
- 03) Criação de uma minuta de acordo de cooperação conjunta a ser subscrita pelos Secretários Estaduais das pastas que albergam os recursos hídricos e pela Agência Nacional de Águas (ANA);
- 04) Efetuar a sistematização das

outorgas dos estados de Pernambuco e Alagoas; 05) Anexação das simulações de cobrança como documento de sustentabilidade econômica do Comitê a ser criado; 06) efetuar a assinatura dos termos de adesão dos demais segmentos (PERNAMBUCO, 2019. p. 01).

A quinta reunião ocorreu em no dia 02 de agosto de 2019, em Maceió (AL), nessa reunião compareceram **12 pessoas**, representando **10 instituições**. A partir daí observa-se que vai havendo gradativamente uma mudança de ideais daquilo que se havia traçado como metas nas primeiras reuniões. A fala dessa reunião é monopolizada por um ator político, que dos 14 assuntos tratados, este sozinho tratou de 8. Ao final dessa reunião foi definido que a próxima ocorreria no município de Ibateguara (AL) no dia 27 de setembro de 2019.

Não há Atas disponíveis sobre essa **sexta reunião**. Porém há um registro no site da Associação dos Municípios Alagoanos que no dia **14 de outubro de 2019**, houve a referida reunião no município de Ibateguara (AL). No texto divulgado nesse referido site, intitulado: *“Ibateguara sedia reunião para criação dos Comitês de Bacia Hidrográficas dos Rio”*, observa-se que o foco da reunião não se ateu a criação do CBH do Mundaú e Paraíba do Meio e sim da bacia hidrográfica do Rio Jacuípe.

Nessa reunião pouco destaque é dado a plena participação dos diferentes atores políticos dos diferentes setores sociais que até então vinham acompanhando, fomentando e se esforçando em criar o Comitê, focando em enaltecer lideranças políticas locais municipais e estaduais do estado de Alagoas, como pode ser observada nesse trecho:

Como sempre o prefeito Geo Cruz (Prefeito de Ibateguara), deu total apoio a esse projeto, pela importância que esse rio tem para os ibateguarenses e a pressa para salva-lo. Também pediu o apoio de todos presentes na reunião e conta ainda com a participação de toda população ibateguarense nessa missão, por que sabe que não é fácil (Associação dos Municípios Alagoanos, 14 de outubro de 2019).

É somente nessa última reunião que gestores municipais e estaduais alagoanos se fazem presentes por eles mesmos (vereadores, prefeito e deputados) e em maioria, além de seus assessores. Houve a participação de 1 prefeito, 1 deputado estadual, 1 deputado federal e 2 vereadores, além de vários secretários de meio ambiente, todos de Alagoas. Nessa reunião houve pouca representação dos atores políticos de Pernambuco, não se cita que houve participação de instituições de ensino e/ou pesquisa.

O texto também não revela detalhes sobre metas ou encaminhamentos. Após essa reunião não há disponíveis outros registros relativos à criação desse Comitê.

Ao analisar essas tentativas de criação do CBH fica evidente a importância de permanência dos atores políticos em suas funções públicas ao longo do tempo. Isso sugere que os participantes que possuem cargos efetivos em diferentes instituições ambientais ou

acadêmicas, assim como os usuários de água e representantes da sociedade civil organizada têm melhores condições e mais chances de darem continuidade as metas do grupo, pois não ficam oscilando em detrimento de estarem sujeitos e vulneráveis as alternâncias de poderes políticos municipais e/ou estaduais.

Essas alternâncias políticas dos gestores municipais e estaduais interferem de forma negativa na criação e manutenção de um CBH, levantando algumas reflexões acerca de como deve ser composto um CBH, ou da necessidade de um percentual de membros com cargos efetivos dentro do Comitê que garantam a continuidade das metas firmadas.

Outro aspecto relevante dessa análise é que se nota frágil participação dos usuários de água, que deveriam ter como condição de suas licenças para o uso da água a efetiva participação no CBH, para uma maior compreensão de suas responsabilidades no que tange a preservação dos corpos d'água, principalmente àqueles que as usam para diluição de efluentes líquidos em especial, os proprietários das usinas sucroalcooleiras que despejam continuamente resíduos no rio.

Nota-se também nas tentativas de criação do Comitê da BHRM a ausência do poder público federal, através da ANA, que não se fez presente em nenhuma das reuniões nem articulou ou auxiliou nessa construção.

Não há informações disponíveis sobre a cobrança pelo uso dos recursos hídricos da BHRM, porém, conforme a grande captação de águas e lançamentos de efluentes pelos diferentes usuários de água em PE e AL, a cobrança pelo uso da água poderia dar suporte financeiro para a manutenção do comitê e o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa, planejamento e execução de ações preventivas e de recuperação ambiental da bacia do Mundaú.

Também não há informações sobre fiscalização dos usos das águas da bacia assim como de possíveis crimes ambientais que possam estar ocorrendo. Caso existisse, o Comitê da BHRM poderia contribuir fortemente nessas atividades, junto aos órgãos competentes.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os municípios que estão inseridos na parte meridional (AL) da BHRM, possuem maior precipitação média e total anual, enquanto que àqueles localizados na parte setentrional (PE), a precipitação é expressivamente menor, o que em conjunto com outros aspectos geográficos da bacia, justifica em parte, a escassez hídrica que ocorre ciclicamente nos municípios pernambucanos e as cheias que também ocorrem ciclicamente nos municípios alagoanos.

O município que apresentou a maior quantidade de chuva precipitada em todo o período foi Rio Largo (AL), comprovou-se isso através da análise dos dados do posto 935060 (ANA), com valores de 1.910,32 mm de precipitação média e 59.219,86 mm de precipitação total para o período.

Em contrapartida o município que apresentou menor quantidade de precipitação (média e total) para o período de 1986 a 2016 foi o município de Lajedo (PE), com valores de 521,86 mm de precipitação média e 12.524,60 para precipitação total do período.

São os meses de junho e julho os mais chuvosos e os meses de novembro e dezembro os mais secos para toda a BHRM, sendo abril, maio, junho e julho o quadrimestre mais chuvoso do ano e outubro, novembro, dezembro e janeiro o quadrimestre menos chuvoso.

O IAC de toda a BHRM, mostrou que o ano mais seco (maior anomalia negativa) foi 1999 e àquele mais chuvoso (maior anomalia positiva) foi o ano de 2010. O ano de 2010 foi aquele que teve a maior cheia da BHRM (durante o período analisado de 1986 a 2016).

Observou-se que na década de 1990, dos dez anos, sete ficaram abaixo da média, enquanto na década 2000, sete dos dez anos estiveram acima da média em toda a BHRM.

Pode-se afirmar que a precipitação da BHRM não recebe quase nenhuma influência do ENOS e da ODP em escala interanual.

Existe a possibilidade de estar ocorrendo um retardamento dos efeitos da ODP no IAC da BHRM, ou seja, a bacia pode estar sendo afetada apenas indiretamente ou cumulativamente pela ODP e/ou, haver influência preponderante de outros fenômenos climáticos com maior impacto na precipitação dessa bacia.

Observou-se também que dos 31 anos analisados em toda a BHRM, houve 14 com anomalias positivas (acima da média) e 17 com anomalias negativas (abaixo da média), assim como também ocorreram 17 anos com anomalia da ODP acima da média.

Apesar da maioria dos anos (do período analisado) se encontrarem abaixo da média, foi observado uma leve tendência de aumento das precipitações ao longo do tempo, essa

tendência não é significativa para que se possa afirmar que houve mudança do clima da BHRM durante esse período, tornando-se necessário analisar um período muito maior.

Ressalta-se a dificuldade de obtenção de séries pluviométricas longas para essa bacia e a necessidade de se montar um banco de dados confiável e com contínua manutenção e análise.

Existe imensa correlação entre a precipitação e o regime hidrológico da BHRM ($r=0,89$), demonstrando que a bacia possui pouca capacidade de infiltração e retenção da água da chuva, isso pode ter uma relação direta com a má utilização do uso da terra, além dos aspectos naturais da bacia relacionados a morfometria da BHRM.

A variabilidade da precipitação provoca alterações bruscas na vazão, demonstrando que a bacia é extremamente vulnerável as oscilações climáticas que podem ter suas origens distantes da bacia. Essas oscilações podem causar cheias e danos materiais e de vidas humanas, inesperada e aceleradamente.

Esses aspectos de escoamento imediato da água da chuva provocam escassez hídrica na região pernambucana (parte alta da BHRM) e cheias periódicas na parte alagoana da BHRM (parte baixa da BHRM). Porém ao longo de todo ano pouca água fica retida na bacia para ser escoada de forma regular. Isso leva a necessidade de construção de reservatórios de abastecimento e para os demais usos.

Observou-se que há uma tendência de aumento da população da BHRM e consequentemente do uso da água, enquanto a vazão se torna cada vez mais reduzida.

A construção de reservatórios de abastecimento na BHRM, tem sido utilizada como medida estrutural para atender a demanda hídrica da população em seus diversos usos, mas, se mostrou ineficiente para regularizar a vazão da BHRM.

Constatou-se que a construção do maior reservatório da BHRM (Mundaú II – Novo) no ano de 2010, com capacidade de 14,5 milhões de metros cúbicos, não alterou o regime hidrológico da bacia. Ao comparar as vazões de duas regiões de aspectos geográficos semelhantes, constatou-se que àquela que possui os maiores reservatórios da BHRM (Mundaú I e II), tem um regime hidrológico semelhante a outra que não possui com $r=0,95$.

A ineficiência de retenção da vazão da BHRM por medidas estruturais (como a construção de reservatórios) demonstra a necessidade de aplicar medidas conservacionistas para prevenção de cheias, como o reflorestamento de áreas degradadas, uso de técnicas mais adequadas de cultivo da terra além de políticas mais eficientes de gestão dos territórios rurais e urbanos, que visem amenizar a erosão e o solo exposto que muito contribuído para o escoamento superficial acelerado na BHRM e o assoreamento do CELMM.

Verificou-se através de imagens de satélite a crescente eutrofização e poluição do reservatório Mundaú I (Velho). Esses problemas comprometem gravemente a qualidade das águas do reservatório Mundaú II (Novo), já que toda as águas que chegam no reservatório Mundaú I são drenadas para o Mundaú II. Isso demonstra que se nada for feito em pouco tempo o maior reservatório da BHRM estará inviabilizado de abastecer a população de mais de 10 municípios que dependem de suas águas, como ocorreu com o reservatório Mundaú I.

A BHRM apresenta uma composição de vegetação extremamente complexa por ser uma bacia bastante heterogênea em seus aspectos físicos/naturais.

Houve uma queda de Área Com Vegetação (NDVI), entre 1987 e 2001 de 12%, havendo em seguida um leve aumento de 4% na década seguinte (2011).

Na maior parte da bacia, observa-se uma tendência geral de redução da cobertura vegetal ao longo do período analisado.

Na região delimitada até o posto fluviométrico de Santana do Mundaú (AL), os valores percentuais de NDVI relativos aos anos de 1987, 2001 e 2011 correspondem a 78%, 64% e 70% respectivamente.

Na delimitação feita até o posto fluviométrico de São José da Laje (AL), a Área Com Vegetação teve um decréscimo entre os anos de 1987 a 2011, tendo seu menor valor no ano de 2001 (33% apenas de sua área). Essa região está inserida em sua maior parte dentro da região semiárida, apresentando baixos índices pluviométrico e reduzida capacidade de infiltração.

Na região delimitada no posto fluviométrico de União dos Palmares (AL), onde praticamente a BHRM se encontra na fronteira dos estados de Pernambuco e Alagoas, as variações no NDVI entre os anos de 1987, 2001 e 2011 são de 62%, 53% e 54% respectivamente.

Na área da BHRM que vai até o posto de Murici (AL) os valores de Área Sem Vegetação são de 63%, 52% e 53% para os anos de 1987, 2001 e 2011 respectivamente. A partir desse ponto há um contínuo estreitamento do formato da bacia e expressivo aumento da vazão.

No ponto de delimitação de Rio Largo (AL) os valores de NDVI são de 38%, 49% e 46% para os anos de 1987, 2001 e 2011 respectivamente. Nesse ponto de delimitação também se caracteriza grandes volumes de vazão e escoamento acelerado o que tem provocado diversas enchentes na BHRM.

Apesar da BHRM possuir diferentes tipos e quantidades vegetacionais em cada região delimitada, os impactos são cumulativos e interconectados.

A Área Com Vegetação da bacia ao longo desse período analisado, ficou em torno de 54,3%. Quase metade da bacia, durante o período mapeado, se encontrava sem nenhum tipo de cobertura vegetal (que pelo menos pudesse ser medido por sensoriamento remoto), ou seja a ausência de cobertura vegetal torna-se evidente e preocupante.

Esses problemas que se detectam na BHRM demonstram fragilidade no Planejamento e Gestão Ambiental por parte dos gestores municipais, estaduais e federal que se reflete na inexistência de um Comitê de Bacia Hidrográfica assim como nas ações apenas remediativas em situações de catástrofes que só oneram os cofres públicos e prejudicam o desenvolvimento socioeconômico da região.

Os principais usos de água da bacia são: abastecimento público, esgotamento sanitário, irrigação, indústria, criação de animais e mineração, sendo o uso preponderante o da irrigação de cana-de-açúcar em Alagoas.

A captação de água em Alagoas é expressivamente superior comparada a Pernambuco, possuindo os valores de 77,28% e 22,72% respectivamente. O uso de lançamento de águas residuais é registrado pela ANA apenas na parte alagoana, não se tendo informações sobre a destinação dos efluentes líquidos na parte pernambucana, nem sobre se esses esgotos lançados no leito do rio em Alagoas são tratados ou não.

Tem ocorrido enchentes cíclicas na bacia que geram prejuízos socioeconômicos imensuráveis. Essas tragédias retiram dos cofres públicos valores gigantescos para ações emergenciais, mas, não se observa ações preventivas e efetivas para resolver o problema por parte dos gestores públicos nas diferentes esferas de governo.

Houveram algumas tentativas de criação do Comitê da bacia, porém as oscilações e alternâncias dos gestores políticos municipais, estaduais e federais têm afetado de forma negativa a efetivação do grupo, assim como a ausência nas reuniões de usuários de água da BHRM e da ANA, representando assim a ausência também do poder federal.

Caso medidas preventivas não sejam tomadas, a BHRM continuará vulnerável as variabilidades climáticas, refletida nas oscilações inevitáveis de precipitações que influenciam diretamente o regime hidrológico, podendo servir novamente de cenário de destruição material e humana como já ocorreu tantas vezes sem que tenha sido adotado ainda soluções efetivas.

Recomenda-se estudos mais integrados e sistêmicos sobre a BHRM, principalmente àqueles que fomentam a gestão dos recursos naturais da mesma.

Espera-se que este trabalho contribua para o fortalecimento da gestão dos recursos hídricos da BHRM e de outras bacias a que possa servir, assim como para auxiliar em uma futura criação do Comitê da BHRM.

REFERÊNCIAS

- ALAGOAS. **Lei nº 5.965 de 10 de novembro de 1997**. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento. Maceió, 1998.
- ALAGOAS: enchentes matam mais de cem. **Diário de Pernambuco**, Recife, 15 de março de 1969, p.01. Disponível em: <https://bndigital.bn.gov.br/hemeroteca-digital/>. Acesso em 15 de janeiro de 2020.
- ALMEIDA, André Quintão de. **Influência do Desmatamento na disponibilidade hídrica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Galo, Domingos Martins, ES**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Universidade Federal do Espírito Santo, pp154, 2007.
- A LIÇÃO das enchentes alagoanas. **Diário de Pernambuco**, Recife, 23 de março de 1969, p.04. Disponível em: <https://bndigital.bn.gov.br/hemeroteca-digital/>. Acesso em 15 de janeiro de 2020.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G. J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Estugarda, Alemanha, v.22, n.06, p. 711–728, 2014.
- ANDRADE, M. C. **A Terra e o Homem no Nordeste**. 8 Ed. São Paulo: Editora Cortez, 2005, 334 p.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; GUEDES, R. L.; OYAMA, M. D.; ALVES, M. A. S. A influência da temperatura da superfície do mar dos oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 19, n. 3, p. 337-344, 2004.
- ARAÚJO, L. E.; DA SILVA, D. Influência da variabilidade climática sobre a distribuição espaço-temporal da precipitação na região do baixo paraíba (PB). **Revista Caminhos da Geografia**. Uberlândia, v. 12, n.37, p. 289-304, 2015.
- ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Análise climática da bacia do rio Paraíba – Índice de Anomalia da Chuva (IAC). **Revista de Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 06, n. 03, p. 508-523, 2009.
- AUMENTOU o número de mortos, mas enchente já está em declínio. **Diário de Pernambuco**, Recife, 17 de março de 1969, p.01. Disponível em: <https://bndigital.bn.gov.br/hemeroteca-digital/>. Acesso em 15 de janeiro de 2020.
- ÁVILA, P. L. R.; BRITO, J. I. B. Relação entre a Oscilação Decadal do Pacífico e a variabilidade de precipitação de Campina Grande, PB. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n., p. 159-162, 2015.
- BARBIERI, J. C. **Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da Agenda 21**. 7 ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2005.
- BARBOSA, V. V.; SOUZA, W. M.; GALVINCIO, J. D.; COSTA, V. S. O. Análise da variabilidade climática do município de Garanhuns, Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 09, n. 02, p. 353-367, 2016.

BARTH, F. T. (Org.). **Modelos de gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel: ABRH, 1987.

BAYER, D. M. **Efeitos das mudanças de uso da terra no regime hidrológico de bacias de grande escala**. RS. Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e saneamento Ambiental – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pp172, 2014.

BERTALANFFY, L. **Teoria Geral dos Sistemas**: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. 8 ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2015, 360 p.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. da. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

BRANCO, Samuel Murgel. **Água**: origem, uso e preservação. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2003. BRASIL. **Decreto Federal n.º 24.643, de 10 de julho de 1934**. Decreta o Código de Águas. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm. Acesso em: 15 março de 2019.

_____. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Censo Demográfico. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

_____. **Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília: DOU, 5 Jan 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil>. Acesso em: 05 jan. 2019.

_____. **Lei n. 8.080, de 19 de setembro de 1990**. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8080.htm. Acesso em: 02 fev. 2019.

_____. **Portaria n. 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 07 jul. 2019.

_____. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm. Acesso em 15 de março de 2013.

BURROUG, P.; McDONNELL, R. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998.

BUSSAB, W. O.; MORETIN, P. A. **Estatística básica**. 9 ed. São Paulo: Saraiva, 2017, 576 p. CALAMIDADE pública é decretada em 15 cidades de Alagoas; 1.087 estão desaparecidos. UOL Notícias, Maceió, 21 de junho de 2010. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2010/06/21/calamidade-publica-e-decretada-em-15-cidades-de-alagoas-1087-estao-desaparecidos.htm>. Acesso em 18 de janeiro de 2020.

CAMPOS, N. **A água e a vida: textos e contextos**. Fortaleza: ABC Fortaleza, 1999.

_____. STUART, T. (Organizadores). **Gestão das águas: princípios e práticas**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

CAVALCANTI, I.F. de A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J. da; DIAS, M.A.F. da S. (Org) **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CENÁRIO de tsunami no Nordeste: Sobe para 38 o número de mortes causadas pelas enchentes em Alagoas e Pernambuco: Bombeiros comparam estragos à tragédia asiática. **Gazeta do Povo**, Maceió, 21 de junho de 2010. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/cenario-de-tsunami-no-nordeste-1dvohyhgmbfj191c0l0kgxu6/>. Acesso em 18 de janeiro de 2020.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. Apostila IPH/UFRGS. Disponível em: http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/apostila_hidrologia/apostila.html. Acesso em: 12/12/2011.

CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em 05 de julho de 2019.

CHAGAS NETO, P.; ARAÚJO, L. E. Avaliação espaço-temporal da precipitação da microrregião do brejo paraibano. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 21, n. 13, p. 284-294, 2017.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 1999, 236 p.

_____. L. H. Sistemas dinâmicos: as abordagens da teoria do caos e da geometria fractal em geografia. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

DA SILVA, D. F.; ARAÚJO, L. E.; KAYANO, M. T.; SOUSA, F. A. S. Análise da precipitação na bacia do rio Mundaú usando o IAC. **Revista UNOPAR**, Curitiba, v. 07, n. 03, p. 53-61, 2008.

_____. **Análise de aspectos climatológicos, agroeconômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a bacia hidrográfica do Rio Mundaú (AL e PE)**. 2009. 218f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

_____. F.; SOUSA, F. A. S.; KAYANO, M. T. Avaliação dos impactos da poluição dos recursos hídricos na bacia do rio Mundaú (AL e PE). **Revista de Geografia**, Recife, v. 24, n. 03, p. 210-223. 2007.

CHUVA: governo federal reconhece emergência em cidades de Alagoas e Pernambuco. **Agência Brasil**, Brasília, 31 de outubro de 2017. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-05/chuva-governo-federal-reconhece-emergencia-em-cidades-de-alagoas-e-pernambuco>. Acesso em 16 de janeiro de 2020.

DUARTE, C. C.; **Análise dos impactos das mudanças climáticas no escoamento superficial da bacia hidrográfica do Rio Tapacurá – PE, a partir da utilização de um modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído**. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Pernambuco, 125pp, 2009.

DORST, Jean. **Antes que a natureza morra: por uma ecologia política**. Tradução, Rita Buongermino. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

ENCHENTES mataram mais de 200 em Alagoas: incalculáveis prejuízos. **Diário de Pernambuco**, Recife, 16 de março de 1969, p.10. Disponível em: <https://bndigital.bn.gov.br/hemeroteca-digital/>. Acesso em 15 de janeiro de 2020.

FERNANDES, A. M.; NOLASCO, Murilo Basso; MORTATTI, J. Análise da Variabilidade Temporal do Escoamento Superficial Rápido na Bacia do Rio Sorocaba (SP): Aplicação do Modelo de Separação de Hidrogramas com Filtros Numéricos. In: **XII Congresso Brasileiro de Geoquímica**, Ouro Preto – MG, 2009.

FERREIRA, E. P; FERREIRA, J. T. P; PANTALEÃO, F.S; FERREIRA, Y. P. Desafios para a gestão da bacia hidrográfica do rio Mundaú - Diagnóstico ambiental de trechos da bacia localizada no Estado de Alagoas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.8, N.14; p. 1 1 2 6 – 2012.

FERREIRA, P. S.; GOMES, V. P.; GALVÍNCIO, J. D.; SANTOS, A. M.; SOUZA, W. M. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica em uma região semiárida do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 21, n. 13, p. 113-134, 2017.

FRAGOSO JR., C. R.; PEDROSA, V. D. A.; SOUZA, V. C. B. D. Reflexões sobre a cheia de junho de 2010 nas bacias do rio Mundaú e Paraíba. In: Simpósio Regional Brasileiro de Recursos Hídricos, 10, Fortaleza. 2010. **Anais...** Fortaleza: ABRH, 2010. 1 CD-ROM.

FRANÇA, E. M. S., SILVA, S. A. Influência da cobertura vegetal na vazão da parte alta do rio Mundaú, PE/AL. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (Orgs.). **Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento**. Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP, 2017. p. 7140 – 7151.

GALVÍNCIO, J. D. **Balanço hídrico à superfície da bacia hidrográfica do Açude Epitácio pessoa, utilizando modelos digitais de elevação**. 2005. Tese de doutorado em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 156pp, 2005.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. São Paulo: Edgar Blücher, 1988.

GOMES, D. D. M.; DE LIMA, D. R. M.; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V.; GOLDFARB, M. C. Análise e Compartimentação Moformétrica da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú – Pernambuco e Alagoas. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v.27, n2, p.167-182, 2014.

_____. **Geoprocessamento aplicado à análise e zoneamento dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica do rio Mundaú – PE/AL**. 2015. 231f. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

_____. M.; DE LIMA, D. R. M.; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V. Mapeamento e caracterização dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica do Rio Mundaú – Pernambuco e Alagoas. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v.26, n2, p.272-299, 2016.

GONZALES, R. A.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A.; SOUZA, R. A. F. Influence of El Niño-Southern Oscillation and Equatorial Atlantic on rainfall over northern and northeastern regions of South America. **Acta Amazônica**, Manaus, v.43, n.4, 2013.

GURGEL, G. J. B.; MORORÓ, A. P. P.; SILVA, S. R. Avaliação da proposta de gestão da bacia do rio Mundaú. In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2002, Maceió. **Anais do VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 2002.

IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3 ed. v.7. 2013. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/manual_usodaterra.shtm. Acesso em: 22 mar, 2014.

INPE. **Últimas Ocorrências de El Niño e La Niña**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em 06 de maio de 2018.

IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 169 pp.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de José Carlos Neves Epiphany et al. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Decadal variability of northeast Brazil rainfall and its relation to tropical sea surface temperature and global sea surface pressure anomalies. **Journal of Geophysical Research**, V. 109, C11011, 2004.

KNABBEN, V. M. **Ana Maria Primavesi**: histórias de vida e agroecologia. São Paulo: Expressão Popular, 2017.

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klima kunde**: Outline of climate science. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388 p.

LATOUR, B. **Políticas da natureza**: como fazer ciência na democracia. Bauru, SP: EDUSC, 2004.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à Hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 178p.

MAGALHÃES J., PEREIRA, A. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MARENGO, J.A.; ALVEZ, L. M.; ALVALA, R. C. S.; CUNHA, A. P.; BRITO, S.; MORAES, O. L. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences.** Ed. 90, págs. 1973-1885, 2018.

_____. DIAS, P. L. S. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.) **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006, 748 p.

MCCULLOCH J.S.G., ROBINSON M. History of forest hydrology. **Journal of Hydrology.** 1993. 189-216.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e oscilação decadal do Pacífico. **Revista Climanálise,** São José dos Campos, v.03, n. 01, 2005.

MORAES, A. C. R. **Meio ambiente e ciências humanas,** 4 ed. São Paulo: Annblume, 2005.
NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G, A, C, F.; SOARES, D. B. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia,** Curitiba, v. 18, n. 12, p. 276-292, 2016.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 4 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, D. L.; SOUZA, V. C. B.; FRAGOSO JR., C. R. Análise hidrológica da cheia excepcional ocorrida em junho de 2010 nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba do Meio em Alagoas e Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos,** Porto Alegre, v. 19, n. 03, p. 279-293, 2014.

PAREDES, F.J.; BARBOSA, A. Y.; GUEVARA, E. Análisis espacial y temporal de las sequías en el nordeste de Brasil. **Agriscientia,** Córdoba, v.32, n.01, 2015.

PEDROSA, B. M.; CAMARA, G. Modelagem dinâmica e sistemas de informações geográficas. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. **Geomática: modelos e aplicações ambientais.** Brasília, DF: EMBRAPA, 2007.

PEREIRA, M. L. T. SOARES, M. P. A.; SILVA, E. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; SOUZA, W. M. Variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress,** Recife, v.02, n.04, p.394-402. 2017.

PERNAMBUCO. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Mundaú.** *Secretaria de Recursos Hídricos.* Recife, 1998.

_____. **Recursos Hídricos – Leis e Decretos.** Secretaria de Recursos Hídricos. Recife, 1999.

QUEIROZ, Renato da silva. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** In: Caminhos que andam: os rios e a cultura brasileira. (Orgs.) REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.) **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Conceitos básicos de modelagem hidrológica. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. **Geomática: modelos e aplicações ambientais.** Brasília, DF: EMBRAPA, 2007.

RICKLEFS, R.E. **A economia da natureza.** Rio de Janeiro: Guanabara – Koogan, 2000.

ROCHA, P. C.; TOMMASELLI, J. T. G. Variabilidade hidrológica nas bacias dos rios Aguapeí e Peixe, região oeste paulista. **Revista Brasileira de Climatologia.** vol. 10. p. 69-84. 2012.
RODRIGUEZ, J. M. M. (Org.). **Geocologia das paisagens: uma visão sistêmica da análise ambiental.** Fortaleza: Editora UFC, 2004.

RODRIGUES, L. O. SOUZA, W. M.; COSTA, V. S. O.; PEREIRA, M. L. T. P. Influência dos eventos El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física,** Recife, v.10, n.06, p.1995-2009 2017.

SAMUEL M. B. **Água: origem, uso e preservação.** São Paulo: Moderna, 1993.

SILVA, R. O. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental,** Porto Alegre, v.22, n.3, p.579-589, 2017.

SILVA, S. A. et al. VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ (PE/AL). **Revista Brasileira de Climatologia,** v. 23, p. 453-475. 2018.

_____. **Saneamento básico e saúde pública em bacias hidrográficas urbanas: estudo de caso da bacia do Riacho Reginaldo, Maceió, AL.** 2014. 113f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento). Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

_____. SANTOS, C. C. Diagnóstico socioambiental de águas fluviais na região semiárida do nordeste brasileiro: estudo de caso do rio Canhoto em Canhotinho – PE. In: World Water Congress, 14. 2011. **Anais.** Porto de Galinhas: ABRH, 2011. 1 CD-ROM.

SILVA S. R.; MORORO, A. P. P.; GURGEL, G. J. B.; Avaliação da proposta de gestão da bacia do rio Mundaú. In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2002. **Anais.** Maceió. **Anais.** Maceió: ABRH, 2002. 1 CD-ROM.

SILVEIRA. A. L. L. da. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI. C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2014.

SOARES, A. B. **Análise da problemática socioambiental de nascentes urbanas no município de Garanhuns – PE**. 2015. 164f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

TAVARES, C. T. Mudanças climáticas. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre geografia física no Brasil**. 7 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

TICIANELE, E. São José da Laje e a tromba d'água de 1969. **Blog História de Alagoas**. Maceió, 16 de novembro de 2016. Disponível em: <https://www.historiadealagoas.com.br/sao-jose-da-laje-e-a-tromba-dagua-de-1969.html>. Acesso em 17 de janeiro de 2020.

TUCCI, E. C. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2014, 943p.

_____. **Modelos hidrológicos**. 2ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005, 678p.
TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE/SEPREN, 1977.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RIMA, 2003.
VERBA para AL e PE levará no mínimo um mês para chegar, diz Defesa Civil. **G1**. Recife, 22 de junho de 2010. Disponível em: <http://g1.globo.com/brasil/noticia/2010/06/verba-para-al-e-pe-levara-no-minimo-um-mes-para-chegar-diz-defesa-civil.html>. Acesso em 18 de janeiro de 2020.

VIEIRA, P. F.; WEBWE, J.(Orgs). **Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento**. São Paulo: Cortez, 1997.

VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

VÍTIMAS de mesma enchente em 2010, PE tem R\$ 320 mi para barragens e Alagoas, R\$ 8 mi para "estudos". **Notícias UOL**. Recife, 09 de janeiro de 2012. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/politica/ultimas-noticias/2012/01/09/vitimas-de-mesma-enchente-em-2010-pe-tem-r-320-mi-para-barragens-e-al-r-8-mi-para-estudos.htm>>. Acesso em 19 de janeiro de 2020.

VON SPERLING. M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

UVO, C. R. B.; REPELLI, C.; ZEBIAK, S. E.; KUSHNIR, Y. The relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil monthly precipitation. **Journal of Climate**, v.11, p. 551-562, 1998.