



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO

HELENICE FERREIRA FILGUEIRAS

**ANÁLISE DOS EFEITOS NATURAIS E ANTRÓPICOS SOBRE OS ASPECTOS
QUALITATIVOS DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO NIQUIM**

**MACEIÓ
2023**

HELENICE FERREIRA FILGUEIRAS

**ANÁLISE DOS EFEITOS NATURAIS E ANTRÓPICOS SOBRE OS ASPECTOS
QUALITATIVOS DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO NIQUIM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientadora: Prof.^a Dra. Nélia Henriques Callado
Co-orientador: Prof. Dr. Vladimir Caramori B. de Souza

MACEIÓ

2023



Dra. FABIANA CARNAÚBA MEDEIROS
Examinador(a) Externo(a) à Instituição

Dr. MARLLUS GUSTAVO FERREIRA PASSOS DAS NEVES, UFAL
Examinador(a) Interno(a)

Dr. VLADIMIR CARAMORI BORGES DE SOUZA, UFAL
Examinador(a) Interno(a)

Dra. NELIA HENRIQUES CALLADO, UFAL
Presidente

HELENICE FERREIRA FILGUEIRAS
Mestranda

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

F481a Filgueiras, Helenice Ferreira.

Análise dos efeitos naturais e antrópicos sobre os aspectos qualitativos da água na bacia hidrográfica do Rio Niquim / Helenice Ferreira Filgueiras. – 2023.

124 f. : il. color.

Orientadora: Nélia Henriques Callado.

Co-orientador: Vladimir Caramori B. de Souza.

Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 115-124.

1. Qualidade da água - Niquim, Rio, Bacia. 2. Uso e ocupação do solo. 3. Disponibilidade hídrica. I. Título.

CDU: 628.161(813.5)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora. A Eles, dedico todas as vitórias alcançadas, inclusive essa.

A minha mãe, Maria Auxiliadora, e aos meus irmãos, por serem meus maiores incentivadores, por acreditarem tanto em mim e por me amparar durante todos os momentos. Minha gratidão a eles que sempre estiveram presentes e me incentivaram a buscar o melhor para minha vida profissional.

Aos meus amigos de longa data por se fazerem presentes, mesmo eu tão ausente.

Aos professores Nélia Callado e Vladimir Caramori por todo auxílio durante a orientação desta pesquisa e pelo aprendizado durante os dois anos do Curso de Mestrado. Ao professor Eduardo Lucena pela gentileza em fornecer equipamentos, para a realização dos trabalhos em campo.

Aos profissionais do Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) do CTEC/UFAL, em especial a Nadjane e Quitéria, pela colaboração e atenção.

Aos meus colegas, em especial o Fernando, Heloize, Anne Elizabeth e Luciana, que conquistei durante o Mestrado, por terem sido essenciais para a construção desta pesquisa e terem contribuído com o meu crescimento profissional. A eles, minha grande estima.

Aos professores e técnicos administrativos do PPGRHS/UFAL por todo conhecimento transmitido, e ao técnico Henrique que auxiliou nas coletas em campo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Brasil, pela disponibilidade da bolsa, que contribuiu de maneira significativa para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

Considerando que o conhecimento das variáveis que influenciam na qualidade e na disponibilidade hídrica auxiliam a gestão e o melhor aproveitamento dos recursos hídricos, e que o uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas está relacionado direta e indiretamente com a qualidade e a disponibilidade da água nos rios, este estudo buscou analisar os efeitos naturais e antrópicos sobre a qualidade da água do Rio Niquim, localizado na Região Hidrográfica de São Miguel. Esta pesquisa foi dividida em sete etapas: I. Fundamentação teórica; II. Diagnóstico do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos; III. Planejamento das atividades; IV. Levantamento dos dados cadastrais de usos da água; V. Mapeamento da bacia; VI. Estudos técnicos; VII. Avaliação e apresentação do prognóstico, dividindo-se em análise de uso e ocupação do solo, análise quantitativa e qualitativa da água, e a proposta de enquadramento. O monitoramento quali-quantitativo da água foi conduzido em três pontos de coleta, o primeiro ponto localizado na Lagoa Niquim (RNL); o segundo ponto localizado próximo à Estação CASAL (RNEC) e o terceiro ponto localizado próximo a foz (RNF), com coletas mensais de julho a dezembro de 2022. Para cada amostra coletada foram realizadas análises físicas, químicas e microbiológicas, totalizando 19 parâmetros. Os resultados encontrados foram submetidos à estatística descritiva e testes estatísticos. Na análise de uso e ocupação do solo, a bacia foi dividida em áreas de contribuições, para associar o uso e ocupação do solo e os resultados da qualidade da água nos pontos de monitoramento. Nas três áreas de contribuição há predomínio das áreas de cana-de-açúcar, isso explica a carga orgânica possivelmente relacionada à matéria orgânica vegetal ou animal, e no último ponto há contribuição da área urbana em expansão, evidenciada pela inconformidade dos parâmetros de $DBO_{5,20}$, coliformes totais e *E.coli*. Na análise qualitativa, com relação a variação temporal, a DQO do ponto RNEC foi o único parâmetro que apresentou variações significativas entre o período chuvoso e seco. Espacialmente, a turbidez, a condutividade, a alcalinidade total e *E. coli*, apresentaram variações significativas ao longo do rio, entre os pontos de coleta, no período seco. Na temporalidade, a análise feita com dados primários e secundários correspondente ao período de 2005-2022, o cloreto e a *E.coli* apresentaram reduções significativas ao longo dos anos. Na análise quali-quantitativa da água, a correlação entre os parâmetros da água e a vazão apresentou forte correlação para os parâmetros de OD, coliformes totais e *E. coli*, no ponto RNEC e salinidade, $DBO_{5,20}$, coliformes totais, no ponto próximo a foz (RNF). Com relação ao comportamento dos parâmetros de qualidade da água com a variação da vazão, foi identificado que, em todo período de monitoramento que no ponto RNEC, o OD apresentou variação inversa ao comportamento da vazão, diminuindo com o aumento da vazão e aumentando com a redução da vazão. No ponto RNF, a $DBO_{5,20}$ apresentou comportamento semelhante a variação da vazão. Os resultados das análises foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05. Verificou-se que, em alguns trechos, sua qualidade e seu enquadramento não atendem aos seus usos preponderantes. Na proposta de enquadramento, os trechos sejam enquadrados na classe 1 e classe 2; para isso, no trecho 1, busca-se aumentar o OD, e reduzir a $DBO_{5,20}$ e o nitrogênio amoniacal, através da preservação das formações florestais para diminuir a carga orgânica nesse trecho. No trecho 2, busca-se diminuir os parâmetros através da preservação das áreas vegetadas, principalmente da mata ciliar, para diminuir a carga orgânica nesse trecho. No trecho 3, os parâmetros $DBO_{5,20}$, nitrogênio amoniacal, OD e *E.coli* estão acima do permitido pela Resolução; para isso, é necessário a destinação correta dos efluentes, preservação de áreas verdes, planejamento do usos e ocupação do solo.

Palavras-Chave: Qualidade da água; Uso e ocupação do solo; Disponibilidade hídrica.

ABSTRACT

Considering that knowledge of the variables that influence water quality and availability helps the management and better use of water resources, and that the use and occupation of soil in river basins is directly and indirectly related to the quality and availability of water in rivers, this study sought to analyze the natural and anthropogenic effects on the water quality of the Niquim River, located in the São Miguel Hydrographic Region. This research was divided into seven stages: I. Theoretical foundation; II. Diagnosis of the use and occupation of soil and water resources; III. Activity planning; IV. Survey of water use registration data; V. Basin mapping; SAW. Technical studies; VII. Assessment and presentation of the prognosis, divided into analysis of land use and occupation, quantitative and qualitative analysis of water, and the framework proposal. Quali-quantitative water monitoring was conducted at three collection points, the first point located in Lagoa Niquim (RNL); the second point located close to CASAL Station (RNEC) and the third point located close to the mouth (RNF), with monthly collections from July to December 2022. For each sample collected, physical, chemical and microbiological analyzes were carried out, totaling 19 parameters. The results found were subjected to descriptive statistics and statistical tests. In the analysis of land use and occupation, the basin was divided into contribution areas, to associate land use and occupation and the water quality results at the monitoring points. In the three areas of contribution there is a predominance of sugarcane areas, this explains the organic load possibly related to organic vegetable or animal matter, and in the last point there is a contribution from the expanding urban area, evidenced by the non-conformity of the BOD5 parameters, 20, total coliforms and E.coli. In the qualitative analysis, in relation to temporal variation, the COD of the RNEC point was the only parameter that showed significant variations between the rainy and dry periods. Spatially, turbidity, conductivity, total alkalinity and E. coli showed significant variations along the river, between collection points, in the dry period. In terms of time, the analysis carried out with primary and secondary data corresponding to the period 2005-2022, chloride and E.coli showed significant reductions over the years. In the qualitative-quantitative analysis of water, the correlation between water parameters and flow showed a strong correlation for the parameters of DO, total coliforms and E. coli, at the RNEC point and salinity, BOD5.20, total coliforms, at the next point the mouth (RNF). Regarding the behavior of water quality parameters with flow variation, it was identified that, throughout the monitoring period at the RNEC point, the DO showed an inverse variation to the flow behavior, decreasing with the increase in flow and increasing with the flow reduction. At the RNF point, BOD5.20 showed behavior similar to the flow variation. The results of the analyzes were compared with the limits established by CONAMA Resolution nº 357/05. It was found that, in some sections, their quality and framing do not meet their preponderant uses. In the classification proposal, the sections are classified in class 1 and class 2; To this end, in section 1, the aim is to increase DO, and reduce BOD5.20 and ammonia nitrogen, through the preservation of forest formations to reduce the organic load in this section. In section 2, the aim is to reduce the parameters through the preservation of vegetated areas, mainly the riparian forest, to reduce the organic load in this section. In section 3, the parameters BOD5.20, ammonia nitrogen, DO and E.coli are above those allowed by the Resolution; To achieve this, it is necessary to correctly dispose of effluents, preserve green areas, plan land use and occupation.

Keywords: Water quality; Land use and occupation; Water availability; Niquim River.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado de Alagoas.	39
Figura 2. Municípios que compõem a BHRN.	40
Figura 3. Temperaturas e precipitações médias/clima em Barra de São Miguel, 2022.	41
Figura 4. Localização da área de estudo.	51
Figura 5. Fluxograma metodológico.	53
Figura 6. Localização dos pontos de monitoramento.	56
Figura 7. Geologia da bacia hidrográfica do Rio Niquim.	63
Figura 8. Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Rio Niquim.	64
Figura 9. Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Rio Niquim.	65
Figura 10. Mapa de solos da bacia hidrográfica do Rio Niquim.	66
Figura 11. Mapa da vegetação da bacia hidrográfica do Rio Niquim.	68
Figura 12. Formações de Praia: vegetação de restinga na região da pós-praia.	68
Figura 13. Formações de Manguezais do tipo Rhizophora Mangue às margens do Rio Niquim.	69
Figura 14. Uso e ocupação do solo na BHRN.	70
Figura 15. Captações do Rio Niquim.	74
Figura 16. Segmentação do Rio Niquim em trechos.	76
Figura 17. Uso e ocupação do solo do ano 2000 e 2021.	77
Figura 18. Descarte de esgoto in natura no ponto de coleta RNF do Rio Niquim.	83
Figura 19. Uso e ocupação do solo e áreas de contribuição da bacia do Rio Niquim.	88
Figura 20. Variação temporal dos parâmetros físicos nos pontos de monitoramento.	92
Figura 21. Variação temporal dos parâmetros químicos nos pontos de monitoramento.	93
Figura 22. Variação temporal dos parâmetros bacteriológicos nos pontos de monitoramento.	95
Figura 23. Variação dos parâmetros físicos da água e vazão no ponto RNEC.	100
Figura 24. Variação dos parâmetros químicos da água e vazão no ponto RNEC.	101
Figura 25. Variação dos parâmetros bacteriológicos da água e vazão no ponto RNEC.	102
Figura 26. Variação dos parâmetros Físicos da água e vazão no ponto RNF.	104
Figura 27. Variação dos parâmetros Químicos da água e vazão no ponto RNF.	105
Figura 28. Variação dos parâmetros Biológicos da água e vazão no ponto RNF.	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos cursos d'água do Estado de Alagoas.....	33
Tabela 2. Percentual das áreas de cada município na bacia.	40
Tabela 3. Evolução da população dos municípios que compõem a Bacia do Rio Niquim	42
Tabela 4. Projeção Populacional dos municípios que compõem a Bacia do Rio Niquim.....	42
Tabela 5. Indicadores de desenvolvimento econômico.	43
Tabela 6. Características dos sistemas de abastecimento dos municípios que compõem a bacia.....	44
Tabela 7. Indicadores da água que caracteriza o sistema de abastecimento nos municípios. ..	45
Tabela 8. Dados sobre o sistema de esgotamento sanitário dos municípios.	46
Tabela 9. Tipo de esgotamento sanitário nos domicílios particulares nos municípios que compõem a bacia.	46
Tabela 10. Indicadores sobre coleta de resíduos sólidos nos municípios.....	48
Tabela 11. Culturas produzidas nas lavouras permanentes e temporárias.	48
Tabela 12. Produção Pecuária Municipal (PPM) dos municípios da BHRN.	50
Tabela 13. Levantamento de informações.	54
Tabela 14. Diagnóstico de uso e ocupação da bacia.....	54
Tabela 15. Coordenadas dos pontos de monitoramento.	56
Tabela 16. Periodicidade dos dados.	57
Tabela 17. Levantamento de informações e seus objetivos.....	57
Tabela 18. Principais classes de uso e ocupação do solo na BHRN.	71
Tabela 19. Consumo e retirada de água do município de Barra de São Miguel.	72
Tabela 20. Captações no Rio Niquim referentes ao ano de 2021.....	73
Tabela 21. Série temporal de uso e ocupação do solo da BHRN.	78
Tabela 22. Percentual da variação do uso e ocupação do solo.	78
Tabela 23. Valores dos parâmetros de qualidade da água, do período chuvoso e seco, no ponto RNL.	80
Tabela 24. Valores dos parâmetros de qualidade da água, do período chuvoso e seco, no ponto RNEC.	80
Tabela 25. Valores dos parâmetros de qualidade da água, do período chuvoso e seco, no ponto RNF.	81
Tabela 26. Vazões observadas nos pontos de monitoramento RNEC e RNF.	85
Tabela 27. Vazões observadas nas campanhas de medição no ponto da estação linimétrica da CASAL.....	86
Tabela 28. Uso e ocupação do solo nas áreas de contribuição dos pontos amostrais em 2021.	89
Tabela 29. Resumo dos valores médios dos parâmetros da água nos pontos amostrais.	89
Tabela 30. Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água, no ponto de amostragem RNL.....	91
Tabela 31. Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água, no ponto de amostragem RNEC.	91
Tabela 32. Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água, no ponto de amostragem RNF.....	92
Tabela 33. Resultados da análise estatística de variação temporal dos parâmetros de qualidade da água nos três pontos de monitoramento.....	96
Tabela 34. Resultado da análise estatística da variação espacial dos parâmetros de qualidade entre os três pontos de monitoramento.	97

Tabela 35. Resultados das análises de tendência temporal de Mann de Kendall dos parâmetros de qualidade da água no ponto de monitoramento RNEC.....	98
Tabela 36. Correlação os parâmetros e as vazões nos pontos de monitoramento.....	99
Tabela 37. Classificação por trecho.....	107
Tabela 38. Classificação para o ponto RNL de acordo com a CONAMA 357/05.....	108
Tabela 39. Classificação para o ponto RNEC de acordo com a CONAMA 357/05.	109
Tabela 40. Classificação para o ponto RNF de acordo com a CONAMA 357/05.	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/P – Agricultura e Pastagem

ANA – Agência Nacional de Águas

ANV – Área Não Vegetada

AS – Águas Superficiais

AT - Alcalinidade Total

AU – Área Urbana

BHRN - Bacia Hidrográfica do Rio Niquim

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

C - Cor

CA - Campo Alagado;

CERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CL - Cloreto

CONERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos

COOPMAR - Cooperativa dos Catadores de Marechal Deodoro

COPAM - Conselho de Proteção Ambiental

CN – Cana-de-açúcar

CT - Coliformes Totais

CTR – Centro de Tratamento de Resíduos

CTEC/ UFAL – Centro de Tecnologia

DBO_{5,20} - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

E. coli - Escherichia coli

FF - Formação Florestal

GGE - Google Earth Engine

GNSS - Sistema Global de Navegação por Satélite

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano

LSA - Laboratório de Saneamento Ambiental

NO₃ - Nitrato

NO₂ - Nitrito

NO₄⁺ - Nitrogênio Amoniaco

NTK - Nitrogênio Kjeldahl Total

OD - Oxigênio Dissolvido

OLT – Outras Lavouras Temporárias

ONGs - Organizações Não Governamentais

P - Pastagem

PAM - Produção Agrícola Municipal

PDA – Praia, Dunas e Areal

PDRHSM - Plano Diretor da Região Hidrográfica de São Miguel

pH - Potencial Hidrogeniônico

PIB – Produto Interno Bruto

PMGIRS - Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

PPM - Produção Pecuária Municipal

PT - Fósforo Total

RA – Restinga Arbórea

RHSM - Região Hidrográfica de São Miguel

RNEC – Ponto de Monitoramento da Estação CASAL

RNLN – Ponto de Monitoramento da Lagoa Niquim

RNF – Ponto de Monitoramento da Foz

S - Silvicultura

SELAP - Sistema Estadual de Licenciamento de Atividades Poluidoras

SEMACE – Secretaria de Meio Ambiente do Ceará

SEMARH/AL - Secretaria do Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas

SIG - Sistema de Informações Geográficas

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

ST – Sólidos Totais

SUDEMA - Superintendência de Administração do Meio Ambiente

T - Temperatura

Tb - Turbidez

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1	BACIA HIDROGRÁFICA	20
3.2	IMPACTOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	21
3.2.1	Interferência quantitativa.....	22
3.2.2	Interferência qualitativa	24
3.3	LEGISLAÇÃO.....	25
3.3.1	Legislação Federal.....	25
3.3.2	Legislação Estadual.....	27
3.4	QUALIDADE DA ÁGUA.....	28
3.4.1	Parâmetros da qualidade.....	29
3.4.2	Monitoramento	31
3.5	ENQUADRAMENTO DE CORPOS DE ÁGUA.....	32
3.5.1	Alagoas	33
3.5.2	Bahia.....	34
3.5.3	Ceará	34
3.5.4	Maranhão	35
3.5.5	Paraíba	35
3.5.6	Pernambuco	35
3.5.7	Piauí.....	36
3.5.8	Rio Grande do Norte.....	36
3.5.9	Sergipe	36
3.6	GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE	37
3.7	BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO NIQUIM	38
3.7.1	Localização.....	38
3.7.2	Municípios que compõem a bacia	39
3.7.3	Clima	41

3.7.4	Aspectos populacionais	41
3.7.5	Dinâmica Econômica.....	43
3.7.6	Serviços Básicos	44
3.7.7	Agropecuária	48
4	METODOLOGIA.....	51
4.1	ÁREA DE TRABALHO	51
4.2	DELINEAMENTO METODOLÓGICO	52
4.2.1	Formulação teórica	53
4.2.2	Diagnóstico do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos	54
4.2.3	Planejamento das atividades	55
4.2.4	Levantamento de dados cadastrais de usos da água	57
4.2.5	Mapeamento da bacia	57
4.2.6	Estudos técnicos.....	58
4.2.7	Avaliação e apresentação do prognóstico	60
4.2.8	Proposta de enquadramento	62
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
5.1	DIAGNÓSTICO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E DOS RECURSOS HÍDRICOS	63
5.1.1	Caracterização ambiental.....	63
5.1.2	Uso e ocupação do solo atual	70
5.1.3	Usos e demanda atual de águas superficiais	71
5.2	LEVANTAMENTO DE DADOS CADASTRAIS DE USOS DE ÁGUA	72
5.3	MAPEAMENTO DA BACIA	75
5.3.1	Trechos segmentados	75
5.3.2	Uso e ocupação do solo.....	77
5.4	ESTUDOS TÉCNICOS	80
5.4.1	Estudo de qualidade da água	80
5.4.2	Estudo hidrológico	84
5.5	ANÁLISES E APRESENTAÇÃO DO PROGNÓSTICO	86
5.5.1	Análise do uso e ocupação do solo.....	86
5.5.2	Análise estatística da qualidade da água.....	91
5.5.3	Análise sazonal.....	95
5.5.4	Análise espacial.....	97

5.5.5	Análise temporal.....	98
5.5.6	Análise dos dados quali-quantitativos da água	98
5.5.7	Proposta de enquadramento	107
6	CONCLUSÕES.....	112
	REFERÊNCIAS	115

1 INTRODUÇÃO

Os corpos hídricos desempenham um papel relevante no fornecimento de água e na criação de habitats para muitos organismos, colaboram com a preservação do ecossistema, mantendo a integridade biótica e, ao mesmo tempo, aumentando a produção de água na bacia e a manutenção da sua qualidade. A gestão dos aspectos quantitativos e qualitativos é fundamental para a estabilidade do ecossistema hídrico, eficiência dos usos da água e segurança hídrica (MELLO *et al.*, 2018).

O ritmo acelerado das atividades antrópicas reflete diretamente nas características do uso do solo e tem gerado degradação ambiental, poluição da água e perda de biodiversidade, tornando-se uma preocupação ambiental, devido a degradação das águas superficiais e aumento da vulnerabilidade do ecossistema aquático, colocando em risco a saúde dos seres humanos, além de dificultar o desenvolvimento social e econômico (JI *et al.*, 2021). Portanto, identificar as relações quantitativas entre a qualidade da água, o uso e ocupação do solo e os aspectos quantitativos tornou-se um meio eficaz para gestão integrada dos recursos hídricos em bacias hidrográficas (LIU; SHEN; CHEN, 2018).

Os aspectos quantitativos e qualitativos são comprometidos pelo uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica decorrentes de atividades antrópicas, especialmente em regiões em desenvolvimento, onde a crescente urbanização não acompanha o planejamento territorial adequado, causando alterações nos processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais (SONG *et al.*, 2020).

A modificação do uso e ocupação do solo, provoca alteração no sistema de drenagem natural, causando diminuição da infiltração e consequente aumento do escoamento superficial direto e aporte de poluentes nos rios, composto do material lavado pelo escoamento superficial durante as precipitações que chegará aos corpos hídricos, sendo afetados por suas variabilidades espacial e temporal (CAMELO *et al.*, 2020).

Compreender as variações espaço-temporal do uso e ocupação do solo é útil para identificar as principais ameaças à qualidade da água, pois podem ser utilizadas para direcionar áreas críticas de uso do solo e instituir medidas relevantes para minimizar a degradação na bacia hidrográfica (MELLO *et al.*, 2020). A utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) tem ajudado nas análises quantitativa e qualitativa para compreender a relação entre o uso e

ocupação do solo e os aspectos qualitativos e quantitativos da água, e tem contribuído no planejamento e gestão de bacias hidrográficas (XU *et al.*, 2019).

As bacias hidrográficas são fundamentais para o planejamento do uso e conservação dos recursos hídricos e se mostram vulneráveis às atividades antrópicas que podem originar impactos negativos e alterações nos aspectos quantitativos e qualitativos da água. Ao planejar futuras medidas de gestão da água, é essencial ter conhecimento sobre como o antigo uso do solo afetou o estado atual da água, tanto em relação à disponibilidade quanto à qualidade da água (GOSSWEILER *et al.*, 2019).

As alterações na qualidade da água variam de acordo com as escalas temporais e espaciais do uso e ocupação do solo da bacia. Portanto, compreender essa relação é fundamental para a gestão eficiente das bacias hidrográficas e o planejamento do uso do solo para proteção a qualidade da água (MELLO *et al.*, 2020), sendo os efeitos quantitativos da atividade antrópica na qualidade da água essenciais e urgentes. No entanto, os estudos atuais raramente abordam os impactos quantificados dos diferentes usos e ocupações do solo e relacionam esses impactos com as alterações na qualidade da água (JI *et al.*, 2021).

A bacia hidrográfica do Rio Niquim (BHRN) apresenta diferentes usos e ocupações do solo, alguns estudos de qualidade da água foram realizados no Rio Niquim, mas nenhum relacionado as modificações ambientais causadas devido ao crescimento populacional no entorno da bacia e o uso e ocupação do solo, que tem gerado alteração na qualidade do rio, ocupação de encostas de tabuleiros, processos erosivos, ocupações de restingas e mangues e desmatamento, que refletem na qualidade das águas e em seus usos. O Rio Niquim possui importância em termos de recursos hídricos e aspectos econômicos relacionados ao turismo da região e às atividades agrícolas (ALAGOAS, 2003).

O uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Rio Niquim são muito antigos para o cultivo de cana-de-açúcar, seguidos pela pecuária e pelo cultivo de coqueirais. O aumento da demanda hídrica do manancial vem ocorrendo na bacia, tanto por motivos econômicos, como também pela influência antrópica caracterizada intensa expansão e ocupação para fins turísticos. As principais causas da degradação ambiental da bacia hidrográfica se relacionam, dessa forma, às atividades antrópicas, em especial, ao crescimento urbano, à exploração agrícola e pecuária, que contribuem para o aumento da demanda hídrica e contaminação dos cursos d'água e do solo (ALAGOAS, 2003).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar os efeitos naturais e antrópicos sobre a qualidade da água dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Niquim.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a bacia, objetivando a análise e o conhecimento dos fatores naturais e antrópicos, que influenciam, no presente e no futuro, o uso dos recursos hídricos;
- Analisar a evolução do uso e ocupação do solo da água na bacia do Rio Niquim;
- Realizar análise espaço-temporal da dinâmica da qualidade do recurso hídrico;
- Verificar a interferência dos aspectos quantitativos na qualidade da água por meio de análises da variação da vazão e dos parâmetros físico-químicos e biológicos da água;
- Propor o reenquadramento para as águas superficiais do Rio Niquim, segundo os usos preponderantes da água, a partir da evolução dos usos e ocupação do solo, diagnóstico da qualidade atual das suas águas, bem como sugerir ações para o alcance da qualidade desejada de suas águas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Bacia Hidrográfica

As bacias hidrográficas são unidades de planejamento que permitem a realização de análise de forma sistêmica – dos elementos, características físicas, ambientais, sociais e econômicas. Essas análises ajudam a compreender os impactos ambientais existentes por toda a extensão da bacia hidrográfica, levando em consideração as variáveis: solo, relevo, declividade, atividades antrópicas, vegetação dentre outras (VILAÇA *et al.*, 2009).

A Lei Federal 9.433/97, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), considera a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento, implementação da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

A bacia hidrográfica deve ser entendida como um sistema de relações múltiplas em que o ambiente e as ações antrópicas estão relacionadas, tornando-a um instrumento importante para tomada de decisões mais compatíveis e precisas com a realidade, pois permite a análise do uso e ocupação do solo, que está diretamente associada às atividades antrópicas da bacia, fatores naturais, socioeconômico, culturais, degradação na vegetação natural, impermeabilização e contaminação do solo e poluição da água, elementos esses que influenciam na dinâmica da bacia (ANA, 2012).

As atividades antrópicas desenvolvidas na bacia interferem no seu funcionamento de forma direta e indireta. Nesse contexto, para entender o seu funcionamento e sua dinâmica, a bacia será estudada considerando suas partes e elementos. Ao subdividir a bacia hidrográfica em partes menores, facilita-se a percepção das transformações e condições difusas de problemas ambientais, facilitando assim sua identificação, seu controle e o estabelecimento de prioridades para atenuação ou mitigação dos impactos ambientais (BERNARDI *et al.*, 2012).

No atual cenário, proporcionar uma oferta adequada de água, fornecendo qualidade e quantidade satisfatória para os diversos usuários, em detrimento da escassez e danos à qualidade dos corpos hídricos, vêm se mostrando como um dos maiores obstáculos enfrentados pela gestão dos recursos hídricos para assegurar o desenvolvimento econômico e social da comunidade (IGHALO & ADENIYI, 2020; KELLY *et al.*, 2020).

3.2 Impactos do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas

Os impactos do uso e ocupação do solo sobre a bacia hidrográfica e seus recursos hídricos ocorrem tanto no aspecto quantitativo – pela alteração na vazão, quanto no qualitativo – pela alteração da qualidade da água. É importante destacar que esses impactos ocorrem de forma indissociável, devido a carência no planejamento e na gestão de bacias hidrográficas, associada ao desmatamento de áreas vegetadas, uso indiscriminado do recurso hídrico e poluição das águas (REBOUÇAS, 2006).

O meio natural tem passado por modificações significativas e constantes e isso ocorre devido a maior interação entre os recursos naturais e as atividades antrópicas. Esse fato se intensificou, principalmente, após o rápido processo de urbanização de maneira desordenada e sua expansão para as áreas de proteção ambiental. As modificações são originadas do uso indiscriminado dos recursos naturais, decorrendo da necessidade do ser humano em transformar a natureza para o seu uso e benefício imediato, comprometendo cada vez mais os recursos hídricos (BRITO *et al.*, 2013).

Entender a relação entre a degradação dos recursos hídricos e o uso e ocupação do solo será sempre um dos principais componentes de análise para os estudos referentes à água, sendo extremamente importantes para identificar áreas com maior propensão a impactos, prevendo e evitando impactos futuros, tais como poluição da água, do solo e impactos irreversíveis sob o ambiente (MOURA; GRIGIO; DIODATO, 2010). Compreender as características dos usos do solo, suas causas e efeitos, e como podem entrar como fator de análise de ameaças aos sistemas hídricos, vem se tornando cada vez mais importantes para a segurança hídrica (ACUÑA-ALONSO, 2021). Além disso, é um norteador na gestão ambiental para tomadas de decisões, as quais devem sempre buscar o uso equilibrado e racional da água de forma a garantir a qualidade da água (RIBEIRO, 2021).

Uma forma de cooperar para o gerenciamento do território consiste no reconhecimento da extensão espacial que interfere na variação da qualidade da água com base no cenário atual (MWAIJENGO *et al.*, 2020). Nessa perspectiva, os estudos buscam investigar a associação entre o uso e a cobertura da terra com indicadores da qualidade da água sob a concepção de várias extensões espaciais (p. ex. MARZIN; VERDONSCHOT; PONT, 2013; OLIVEIRA; MAILLARD; DE ANDRADE PINTO, 2017). Observa-se que as extensões espaciais que mais

sofrem interferência sobre um dado ponto do curso d'água decorrerá do seu grau de antropização, tipos de uso e ocupação do solo, dentre outros aspectos que proporcionam particularidade aos ambientes (SLIVA & WILLIAMS, 2001). Para avaliar essa associação, observa-se que a utilização de métodos estatísticos, como os modelos lineares de regressão, são frequentemente utilizados (MELLO *et al.*, 2020).

3.2.1 Interferência quantitativa

De acordo com Bayer (2014), existe uma inquietação em relação aos efeitos decorrentes das alterações no regime hidrológico, os quais vêm sendo largamente debatidos por especialistas ao longo dos anos, que buscam mensurar os impactos da remoção da vegetação sobre o escoamento e a disponibilidade de recursos hídricos em bacias hidrográficas. Desse modo, a análise das alterações na vegetação é um eventual impacto que poderia ser observado no ciclo hidrológico, como a redução das vazões, que é um método que pode ser aplicado para auxiliar no planejamento do uso e ocupação das bacias hidrográficas, para averiguar as quantidades disponíveis de água.

Conforme Costa Pereira *et al.* (2020), Da Silva Cruz *et al.* (2022), De Araújo e Ponte (2016) e Duarte *et al.* (2021), estudos revelam que existe associação entre as alterações no uso do solo e no regime de vazões de rios, correlacionando alguns dos processos que são acentuados nos corpos hídricos, devido a mudanças observadas na cobertura natural, tendo como exemplos as erosões, inundações e assoreamentos.

As vazões de um curso d'água representam o volume obtido a partir da precipitação e do escoamento de base (procedente dos aquíferos contidos na bacia hidrográfica), estando entre as mais relevantes variáveis hidrológicas na avaliação do balanço hídrico (COLLISCHONN & DORNELLES, 2013). Elas também atuam como indicadores hídricos para denominação das vazões mínimas de referência, tais como, a Q_{90} , a Q_{95} e a $Q_{7,10}$. Também conhecidas na literatura como vazões ecológicas, as vazões mínimas de referência são descritas como a quantidade de água que deve ser conservada no leito de um curso d'água, para assegurar o atendimento às necessidades do ecossistema aquático, preservando a flora e fauna da região (CRUZ, 2005; DA COSTA *et al.*, 2011).

Em razão de estarem em quantidades reduzidas nos períodos de estiagem do ano, é fundamental garantir uma vazão mínima apropriada disponível para uso essencial, como o suprimento de usos domésticos e industrial, para conservar o padrão de qualidade e aceitabilidade da água dos rios, levando em consideração os lançamentos dos efluentes, para proteger habitats aquáticos, o uso da navegação e a utilização recreativa da população (ZHAO *et al.*, 2012).

Para uma avaliação adequada dos potenciais hídricos que uma determinada região dispõe é primordial entender o comportamento dos corpos hídricos, suas vazões e variações temporais. Em vista disso, para o desenvolvimento de diagnósticos para fins de enquadramento de corpos d'água, a estimativa da disponibilidade hídrica é apontada como uma ferramenta de extrema necessidade. Dado que o entendimento das informações fornecidas possibilita um adequado direcionamento do uso e da gestão compartilhada dos recursos hídricos, há uma redução dos embates entre os que usufruem desses recursos de uma região hidrográfica (SILVA, 2010; SOARES *et al.*, 2010).

Bhattacharya *et al.* (2020) observaram que as alterações no uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica de Kangsabati, localizada na Índia, causadas pelas atividades antrópicas geraram impactos significativos na zona de recarga de aquíferos em terras agrícolas; já nas áreas de florestas densas ou áreas úmidas, apresentaram recarga do lençol freático mais facilitada, devido à preservação da cobertura vegetal local, que colabora com o processo de percolação e infiltração.

Vanzela *et al.* (2010) verificaram a influência do uso e ocupação dos solos sobre os recursos hídricos do córrego Três Barras, localizado em São Paulo, onde constataram que as áreas ocupadas por matas favoreceram a disponibilidade e qualidade da água, enquanto nas áreas agrícolas, urbanas e as matas degradadas, reduziram a disponibilidade e a qualidade da hídrica na sub-bacia.

Por sua vez, Santos, Griebeler & Oliveira (2010) averiguaram a variabilidade climática, a intensas modificações no uso do solo e na disponibilidade de água na bacia do Ribeirão João Leite, em Goiânia, principal manancial de abastecimento de Goiânia, onde se constatou a tendência de redução no escoamento devido ao desmatamento da vegetação nativa e expansão das áreas urbanas, agrícolas e de pastagens.

3.2.2 Interferência qualitativa

Existe uma grande inquietação à nível global em relação à garantia em termos de quantidade e qualidade de água (UNESCO, 2019), uma vez que diversas nações estão enfrentando obstáculos acerca da qualidade da água (SU; WU; HE, 2019), em razão da contínua deterioração decorrente do uso indevido que influencia negativamente (SIMONETTI *et al.*, 2019). Suas propriedades estão interligadas com a forma de como o homem apropria e utiliza os recursos oferecidos pelo solo, sendo observada a frequente perda da qualidade, gerada pela ocupação descontrolada e desordenada da bacia hidrográfica (BIAN; LIU; DING, 2019).

Estudos desenvolvidos ao longo dos anos com o objetivo de destacar a correlação existente entre a qualidade da água e as características da paisagem da bacia hidrográfica (BATBAYAN *et al.*, 2019; CAMARA; JAMIL; ABDULLAH, 2019; ZHANG; LI; JIANG, 2020), por intermédio da utilização de modelos estatísticos juntamente com o sistema de informação geográfica e dados de imagens de sensoriamento remoto (CHANG, 2008), destacam a bacia hidrográfica como uma unidade funcional e ressalta a sua grande importância na gestão dos recursos hídricos (CHEN *et al.*, 2021).

Além dos fatores espaciais, a variação temporal também interfere na alteração da qualidade da água. A pluviosidade interfere nos níveis de vazão que, por sua vez, influenciam no fluxo do rio e no transporte de partículas. Com isso, a poluição difusa se torna ainda mais associada à composição e a estrutura da paisagem devido ao escoamento superficial nos períodos chuvosos (OLIVEIRA; MAILLARD; ANDRADE PINTO, 2017).

O uso e ocupação do solo podem afetar direta ou indiretamente a qualidade da água e, consequentemente, causar a poluição dos corpos hídricos (GOUDIE, 2018). A poluição difusa está relacionada às atividades dispersas, cuja carga poluidora é transportada de forma intermitente pelo escoamento superficial, dependendo da intensidade e duração da precipitação na bacia, adentrando o corpo hídrico ao longo de sua extensão, o que dificulta a sua identificação e associação às atividades geradoras do impacto, como, por exemplo, o carreamento de compostos orgânicos e inorgânicos para o manancial (REIS; BRANDÃO, 2013).

A poluição pontual, por sua vez, ocorre de forma concentrada quando os poluentes atingem o corpo hídrico em um ponto específico, como acontece no lançamento de uma rede

de esgotamento sanitário em um determinado ponto de um manancial. Logo, tanto a poluição difusa quanto a pontual podem estar compostas por elementos orgânicos e inorgânicos, sólidos e nutrientes, metais associados aos tipos de uso e cobertura do solo em uma bacia hidrográfica (VON SPERLING, 2014).

3.3 Legislação

3.3.1 Legislação Federal

3.3.1.1 Política Nacional de Recursos Hídricos

A Lei Federal nº 9.433, conhecida também como Lei das Águas, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a PNRH, estabelece seis instrumentos para a gestão dos recursos hídricos, dentre os quais estão o enquadramento de corpos hídricos e a outorga de direitos de uso de recursos hídricos. O enquadramento dos corpos hídricos, conforme o uso preponderante, tem como finalidade reduzir os custos de controle a poluição e assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes. A outorga, por sua vez, assegura o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso (BRASIL, 1997).

No Art. 2º, Cap. II, a PNRH define, dentre seus objetivos, que se deve “assegurar a disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, necessária à atual e às futuras gerações”. A primeira classificação de águas no Brasil ocorreu em 1976, através da portaria nº 13/76, do Ministério do Interior, na qual foram definidas quatro classes para as águas interiores no país, fixando as especificações de uso e teores máximos de impureza (ANA, 2005).

Os instrumentos da PNRH são fundamentais no processo de gestão e tem como objetivo auxiliar na identificação de possíveis conflitos dos usos múltiplos e, também, na obtenção de prognósticos sobre os recursos hídricos e suas demandas nas bacias hidrográficas, além de orientar as necessidades de investimentos no que diz respeito às estruturas e programas de gestão da água (COUCEIRO; HAMADA, 2011). A PNRH possui uma série de objetivos, fundamentos, diretrizes e instrumentos com a finalidade de assegurar a disponibilidade de água

em quantidade e qualidade, promovendo o uso racional dos recursos hídricos e a prevenção contra eventos hidrológicos críticos (MACHADO *et al.*, 2019).

3.3.1.2 Resolução CONAMA N° 274/2000

A Resolução CONAMA n° 274, de 29 de novembro de 2000, dispõe sobre condições de balneabilidade para atividade de recreação, estabelecendo critérios e limites. A resolução cita também que, considerando a classificação das águas doces, salinas e salobras destinadas à recreação de contato primário, é necessário avaliar os teores de coliformes fecais (termotolerantes), *Escherichia coli* e enterococos, de modo a assegurar as condições de balneabilidade. As águas destinadas à recreação de contato primário terão suas condições avaliadas nas categorias imprópria e própria. As caracterizadas como próprias, são subdivididas em excelente, muito boa e satisfatória, de acordo com a quantidade de coliformes fecais (termotolerantes) ou *Escherichia coli* encontrados em um conjunto de amostras de um determinado local (BRASIL, 2000).

3.3.1.3 Resolução CONAMA N° 357/2005

A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), n° 357 de 2005, alterada pela n° 430 de 2011, classifica os corpos hídricos, bem como as condições e padrões de lançamento de efluentes. Estabelecendo critérios e padrões relacionados à manutenção e controle da qualidade dos recursos hídricos, considera, dentre outros, os seguintes princípios norteadores: a classificação das águas doces, salobras e salinas como fundamental à defesa de seus níveis de qualidade; o enquadramento dos corpos d'água, de acordo com os níveis de qualidade para atender às necessidades da população; que o controle da poluição está relacionado à proteção da saúde, garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e à melhoria da qualidade de vida (BRASIL, 2005).

O enquadramento dos corpos hídricos superficiais em classes, segundo os seus usos preponderantes, é estabelecido pela resolução como sendo o “estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento de corpo hídrico, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo”. Segundo essa resolução, a classe de qualidade pode ser definida como o conjunto de padrões

de qualidade de água e condições necessárias ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros (MACHADO *et al.*, 2019).

Ainda de acordo com essa resolução, tem-se que o enquadramento dos corpos hídricos pode ocorrer em 5 (cinco) diferentes classes, sendo elas: especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4, de modo que a classe especial é a classe com maiores exigências de qualidades e a classe 4 a de menores exigências. Assim, observa-se que a resolução CONAMA 357/2005, diante da falta de enquadramento definido por estudos aprovados pelos comitês de bacias, determina que todos os corpos hídricos são enquadrados como classe 2 (BRASIL, 2005).

3.3.1.4 Resolução CONAMA N° 430/2011

A Resolução CONAMA N° 430/2011, que complementa e altera a Resolução CONAMA N° 357/2005, a fim de preservar a qualidade ambiental, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores, fixando valores de concentração de parâmetros orgânicos e inorgânicos a serem obedecidos por qualquer fonte poluidora que deposite seus efluentes diretamente em corpos receptores. É importante ressaltar que esse é o principal instrumento na legislação nacional sobre a qualidade das águas de corpos receptores e de lançamento de efluentes líquidos (MORAIS; SANTOS, 2019).

3.3.2 Legislação Estadual

3.3.2.1 Lei estadual 5.965/1997

A Lei Estadual nº 5.965, de 10 de novembro de 1997, instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos no Estado de Alagoas e também o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de Alagoas (ALAGOAS, 1997). Os fundamentos, objetivos, diretrizes e os instrumentos são similares com o da Lei Federal, no entanto estão voltados para a realidade do Estado de Alagoas.

Na lei supracitada, segundo o art. 9, os instrumentos de gestão de recursos hídricos do Estado de Alagoas são: o plano estadual de recursos hídricos; o enquadramento; a outorga, a cobrança, o rateio dos custos das obras de recursos hídricos; a compensação aos municípios; o sistema estadual de informação sobre recursos hídricos e o fundo estadual de recursos hídricos.

O diferencial da Lei Federal é em relação ao art. 23, quando não será deferida a outorga; art. 24, referente a quem tem prioridade de receber a outorga de direito de uso; art. 31, sobre o cálculo de custo da água; art. 38, destinado à implantação e ao desenvolvimento da política e do plano estadual, ao rateio de custos das obras de recursos hídricos, a compensação a municípios e ao fundo estadual de recursos hídricos (MENEZES, 2006).

O enquadramento dos corpos hídricos no Estado de Alagoas está presente na Lei Estadual de Recursos Hídricos como um dos instrumentos. É válido destacar que antes da Constituição de 1988, por meio do Decreto Estadual nº 3.766 de 1978, o Estado enquadrou os seus corpos hídricos nas classes 1 e 2, de acordo com a sua destinação. Posteriormente, o enquadramento passou a ser conforme com o que foi proposto na Lei Federal, a que cabe definir os padrões de qualidade e os critérios de classificação dos corpos hídricos e segue as mesmas prerrogativas de assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes; diminuir os custos de combate à poluição da água, mediante ações preventivas permanentes; e, as classes serão estabelecidas pela legislação ambiental (LIMA, 2016).

3.3.2.2 Plano Diretor de Recursos Hídricos

O Plano Diretor de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do São Miguel (PDRHSM) compreende as bacias hidrográficas dos rios São Miguel, Niquim, Jequiá, Poxim e das Lagoas. Ele constitui um instrumento básico de planejamento e visa fundamentar e orientar a implementação da Lei Estadual. Tem por finalidade o aproveitamento integrado das águas superficiais e subterrâneas das bacias formadoras dessa região, baseada numa visão dinâmica de planejamento de longo prazo, de forma a permitir uma gestão compartilhada dos usos múltiplos da água (ALAGOAS, 2003).

O PDRHSM é formado por um conjunto de diretrizes e ações objetivando o aproveitamento racional dos recursos hídricos, de forma a permitir o aumento do nível de bem-estar da sociedade, com vistas a um desenvolvimento sustentado (ALAGOAS, 2003).

3.4 Qualidade da água

De acordo com Kelly *et al.* (2020), a qualidade das águas varia de acordo com as características dos ecossistemas, mesmo em suas situações naturais de equilíbrio,

correspondentes em função da ocorrência de processos físicos, químicos, hidrológicos e biológicos, assumindo particularidades distintas, de acordo com o ambiente que estão inseridos os corpos hídricos. Diante disso, a avaliação das características da água é um estudo para analisar pontos de natureza química, física e biológica, em relação aos usos propostos e seus efeitos nos seres humanos, sobretudo os que afetam a saúde pública e o ecossistema. Portanto, como a qualidade é estabelecida a partir da combinação de eventos ocorridos ao longo dos cursos hídricos, a classificação dessa possibilita conferir os resultados obtidos com a ocorrência de outros processos na bacia.

É natural que as águas superficiais apresentem grande variabilidade espaço-temporal em relação à qualidade e à quantidade da água para abastecimento humano e para a sustentação ecológica, porque são impactadas pelas características geográficas, naturais e socioeconômicas da região em que estão localizadas. Em função da localização geográfica, as águas superficiais são submetidas às características climáticas, topográficas, geológicas e de uso e ocupação do solo, às e formas de apropriação social e econômica de seus recursos hídricos ao longo do tempo (BARBOSA; NOVO; MARTINS, 2019).

A qualidade da água está relacionada às condições naturais, ao uso e da ocupação do solo e às atividades antrópicas na bacia hidrográfica (VON SPERLING, 2014). Naturalmente, a água sofre alteração do meio ambiente pelo transporte de partículas através das etapas do ciclo hidrológico, principalmente durante o escoamento de elementos das partículas de solo, e é potencializada por atividades antrópicas (BITTENCOURT; PAULA, 2014). As atividades antrópicas influenciam na qualidade da água pela geração e lançamento de efluentes domésticos e industriais e pela aplicação de fertilizantes e agrotóxicos agrícolas em lavouras (CAPOANE, 2011).

3.4.1 Parâmetros da qualidade

A qualidade da água depende das características naturais e antrópicas em que se origina, circula e é armazenada. As análises da qualidade da água permitem quantificar as propriedades físicas, químicas e biológicas do corpo hídrico num determinado local e instante, e é realizada a partir de medidas feitas em amostras coletadas nos diferentes locais do corpo hídrico. Como a qualidade da água varia ao longo do espaço e do tempo, existem diferentes

tipos de indicadores de qualidade de água em função do seu uso (BARBOSA; NOVO; MARTINS, 2019).

Os estudos de parâmetros de análise da qualidade da água identificam os padrões de variação das condições ambientais e o conhecimento do ambiente, tanto dentro dos corpos hídricos como em seu entorno, e têm implicações nas características limnológicas (ANA, 2013). Os parâmetros de qualidade da água são a interpretação de características dos elementos presentes na água capazes de modificar seu grau de pureza, sendo assim divididos como características físicas, químicas e biológicas (VON SPERLING, 2014).

3.4.1.1 Parâmetros físicos

Os parâmetros físicos estão relacionados às partículas sólidas presentes na água, podendo estar dissolvidas, na forma coloidal ou em suspensão, e são representados pela cor, turbidez, temperatura, sólidos dissolvidos, odor, transparência, condutividade (VON SPERLING, 2014).

3.4.1.2 Parâmetros químicos

Os parâmetros químicos podem ser definidos de acordo com a classificação de matéria orgânica ou inorgânica. Os principais parâmetros químicos são representados pelo pH, alcalinidade, acidez, dureza, ferro e manganês, cloretos, oxigênio dissolvido (OD), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}), nitrogênio, fósforo, micro poluentes inorgânicos e orgânicos (VON SPERLING, 2014).

3.4.1.3 Parâmetros biológicos

Os parâmetros biológicos são representados pelos microrganismos que degradam a matéria orgânica, habitam a água natural e modificam o ciclo biogeoquímico, podendo ser bacteriológico e hidrobiológico. Alguns desses parâmetros indicam a presença de organismos que podem causar doenças, como os patogênicos, fundamentando-se no emprego de organismos indicadores.

Os parâmetros bacteriológicos são representados pelos organismos característicos de contaminação fecal que pertencem ao grupo de coliformes (VON SPERLING, 2014). Os parâmetros hidrobilógicos são representados pela clorofila *a*, comunidade fitoplanctônica, comunidade zooplanctônica e comunidade bentônica. A clorofila *a* é um indicador do estado trófico dos ambientes aquáticos. A comunidade fitoplanctônica é utilizada como indicadora da qualidade da água em reservatórios, e a análise da sua estrutura permite avaliar alterações ambientais decorrentes da interferência natural ou antrópica. A comunidade zooplanctônica é indicadora da qualidade da água de lagos e reservatórios, por meio da análise da relação entre as alterações na comunidade zooplanctônica e o grau de trofia. A comunidade bentônica exibe ampla variedade de tolerâncias a vários graus e tipos de poluição, e estão continuamente sujeitos às alterações de qualidade do ambiente aquático (CETESB, 2019).

3.4.2 Monitoramento

O monitoramento da qualidade da água é capaz de verificar a degradação da qualidade da água em um manancial, pois consiste na aquisição de informações dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, incluindo-se sua variação espacial e temporal (TANOS *et al.*, 2015). Através do monitoramento hidrológico, variáveis qualitativas e quantitativas são analisadas para verificar o nível de degradação em que a área se encontra, atuando diretamente sobre o agente poluidor (DANVI *et al.*, 2017).

Esse controle da poluição – através do monitoramento das águas superficiais em escala de bacia hidrográfica onde está inserido o manancial, é um apoio técnico fundamental para entender a relação entre o uso e cobertura do solo e a qualidade da água, e para a gestão dos recursos naturais (TODESCHINI, 2016).

Com o monitoramento, busca-se coletar dados que proporcionem a verificação do atendimento aos parâmetros considerados essenciais para garantir as condições adequadas aos seus usos múltiplos atuais e futuros; fundamentar um estudo técnico pautado em conceitos químicos, físicos e biológicos; subsidiar o desenvolvimento de planos e ações para a manutenção e recuperação dos ambientes aquáticos para tomadas de decisões justas que impactam em custos reais de investimentos (FERREIRA; FERNANDES; KAVISK, 2016).

Um fator limitante no monitoramento de variáveis físicas, químicas e biológicas é a descontinuidade espacial e temporal dos dados. No entanto, o monitoramento é de extrema importância para analisar os impactos ambientais nos diferentes ecossistemas, tais como: identificação das variações nos parâmetros de qualidade da água, determinação da concentração dos parâmetros alterados e possíveis causadores das alterações no meio (GOULART; CALLISTO, 2010).

O monitoramento periódico dos corpos hídricos é essencial para a conservação dos recursos hídricos, mas não é um estudo simples devido às diversas características ambientais e suas relações. Os métodos convencionais para a coleta de parâmetros possuem limitações, como: as variações espaço-temporais nem sempre são registradas em amostras pontuais; tempo e custo para realização das análises laboratoriais; o monitoramento contínuo é inviável e de difícil acesso em regiões distantes (BARBOSA; NOVO; MARTINS, 2019).

3.5 Enquadramento de corpos de água

O enquadramento é considerado uma ferramenta de planejamento, desenvolvida para assegurar a qualidade da água que deve ser compatível com os usos mais exigentes do corpo hídrico; portanto, deve ser direcionada de acordo com: a constatação da condição atual dos corpos hídricos (o rio que temos), o conhecimento da visão da sociedade sobre o futuro que deseja para esses corpos hídricos (o rio que queremos), e a pactuação da situação possível de ser mantida ou alcançada, levando em consideração os limites econômicos, técnicos e sociais para alcançar as metas de qualidade para determinado corpo hídrico, em um horizonte de tempo estabelecido (o rio que podemos ter) (ANA, 2020).

O enquadramento não é apenas o estabelecimento da respectiva classe de qualidade do corpo hídrico. A classe de qualidade é uma definição relacionada aos intervalos de concentração de parâmetros físico-químico-biológicos do corpo hídrico e apenas indica sua faixa de qualidade, enquanto o enquadramento é um instrumento de planejamento que representa uma meta ou objetivo de qualidade da água a ser alcançada ou mantida em um segmento de corpo hídrico, de acordo com os usos preponderantes pretendidos (ANA, 2020).

Alcançar ou manter a qualidade da água para atender determinado uso tem enfrentado várias barreiras no Brasil, devido à deficiência de infraestrutura sanitária, lançamento de

efluentes sanitários, disposição inadequada de resíduos e uso indiscriminado de agrotóxico, que comprometem a qualidade da água do corpo hídrico. O processo de enquadramento necessita de um diagnóstico que determine o grau de degradação em termos qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos na bacia hidrográfica, ocorridos de forma natural ou decorrente de atividade antrópica (BELONDI, 2003; MOREIRA, 2007).

Para avaliar a degradação decorrente das atividades antrópicas, deve-se avaliar os diferentes usos e ocupação do solo da bacia hidrográfica e apresentar o estudo em níveis qualitativos e quantitativos para enquadramento dos corpos hídricos, que será uma ferramenta fundamental para orientar os representantes dos comitês de bacia hidrográfica na tomada de decisão (FARIA; TRANNIN; SIMÕES, 2011).

Dentre os instrumentos de gestão de recursos hídricos estabelecidos pela Política Nacional, em termos de implantação prática, o enquadramento é um dos que menos evoluiu. No entanto, ele é de extrema importância, devido às particularidades regionais que desafiam os pesquisadores a desenvolverem metodologias adequadas, para que não seja desenvolvido um processo de enquadramento dissociado da realidade, inviável ou inadequado para ser levado aos usuários e atores envolvidos na prática (CEARÁ, 2017).

3.5.1 Alagoas

A primeira legislação que abordou o enquadramento dos corpos d'água no Estado de Alagoas foi o Decreto nº 3.766, de 30 de outubro de 1978, que enquadrava os cursos d'água conforme classificação estabelecida pela Portaria nº GM-0013 (Tabela 1), de 15 de janeiro de 1976, do Ministério do Interior. No entanto, devido à necessidade de promover o enquadramento dos corpos d'água de dominialidade estadual, de acordo com a Lei Estadual nº 5.965, de 10 de novembro de 1997 e a Legislação Federal, esse decreto foi revogado pelo Decreto nº 4.062, em 7 de outubro de 2008 (NOQUELLI, 2016).

Tabela 1. Classificação dos cursos d'água do Estado de Alagoas.

Classificação	Rios
Classe 1	Rio Remédio; Rio Jacarecica; Rio Pratygy – até 4Km (antes de sua foz); Rio Catolé; Rio Aviação; Rio da Silva.

Classe 2	Riacho Pau Amarelo (Rio Brocotó); Rio Lages; Rio Coruripe; Rio Jequié; Rio São Miguel; Rio Sumaúma; Rio Reginaldo; Rio Praty (com início no ponto onde finda sua classe 1, até sua foz); Rio Mirim ou Meirim; Rio Santo Antônio; Rio Manguaba; Rio Salgado; Rio Niquim; Rio Itabaiana; Rio Tatuamunha; Rio Comporta; Rio Coxeu; Rio Ipioca; Riacho Doce; Riacho da Garça Torta; Riacho Lagoa do Pau; Riacho Taboada; Riacho Feliz Deserto; Riacho Camurupim; Riacho das Pedrinhas; Rio Camaragipe; Rio Sapucaí; Rio Samaçuí; Rio Poxim; Rio Piauí; Rio Perucaba; Rio Boacica; Rio Itiuba; Riacho da Taboca; Rio Satuba.
----------	---

Fonte: ALAGOAS, 1978.

3.5.2 Bahia

No Estado da Bahia, a Lei 10.432/06 instituiu o enquadramento de corpos hídricos como instrumento da Política Estadual, sendo revogada em 2009 pela nova Lei 11.612/09, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, com a criação do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, trazendo, em seu escopo, o enquadramento como instrumento de gestão (LIMA, 2016).

No Estado, o enquadramento não foi realizado de acordo com os seus usos preponderantes e sim pela emergência de serem estabelecidos critérios técnicos para a outorga de lançamento de esgotos domésticos e outros efluentes líquidos. Com isso, criou-se a Resolução CONERH nº 36, de 04 de setembro de 2008, que dispõe sobre enquadramento transitório de corpos de água para a outorga de lançamento de esgotos domésticos e outros efluentes líquidos (NOQUELLI, 2016).

3.5.3 Ceará

Dentre os estados nordestinos, o Ceará foi o pioneiro na implantação da política de recursos hídricos e na implantação da cobrança e outorga dos recursos hídricos, entretanto o enquadramento não fazia parte dos instrumentos da gestão de recursos hídricos. A legislação mais próxima relacionada ao enquadramento dos corpos hídricos foi publicada em 2002, pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), conhecida como Portaria nº 154, que dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras (LIMA, 2016).

3.5.4 Maranhão

No Maranhão, o enquadramento já era instrumento da política de recursos hídricos desde a Lei Estadual nº 7.052, de 22 de dezembro de 1997, em que os instrumentos de gestão foram definidos como sendo: os planos de bacias; o enquadramento; a outorga; a cobrança; a compensação aos municípios e o sistema de informação dos recursos hídricos. Em 2004, a nova lei nº 8.149/04 manteve o enquadramento como instrumento e incluiu outros instrumentos, como: programas destinados à capacitação profissional; planos diretores de bacias hidrográficas; cadastro estadual de usuários; campanhas educativas; e, fundo estadual e a aplicação de penalidades (LIMA, 2016).

3.5.5 Paraíba

O Estado da Paraíba não tratava o enquadramento como instrumento na Lei Estadual nº 6.308/96. O enquadramento dos seus corpos hídricos era baseado na resolução CONAMA nº 20/86 (LIMA, 2016). Entre 1987 e 1988, foi elaborado um documento denominado como DZ 201 – Classificação das Águas Interiores do Estado, elaborado pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente – SUDEMA e o Conselho de Proteção Ambiental – COPAM, que tem como objetivo classificar as águas interiores, segundo os usos preponderantes como parte integrante do Sistema Estadual de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SELAP (NOQUELLI, 2016).

Em 2007, a Lei nº 8.446/07 atualizou as competências do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH, tornando-se responsável pela aprovação do enquadramento de corpos de água em classes de uso preponderante, com base nas propostas dos órgãos e entidades que compõem o Sistema Integrado de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos (NOQUELLI, 2016).

3.5.6 Pernambuco

Em Pernambuco, o enquadramento dos corpos hídricos iniciou com o Decreto Estadual nº 7269/81, em função da Portaria GM 0013/76, do Ministério do Interior, que dispõe sobre a

classificação das águas interiores do Estado. Posteriormente, surgiram os decretos estaduais 11.515 e 11.760 de 1986, estabelecendo o enquadramento de acordo com o disposto no Decreto Estadual N° 7269/81, que regulamentou a Lei 8.361/80 (LIMA, 2016).

Em 1997, surgiu a primeira Lei Estadual de Recursos Hídricos n° 11.426, que não trata o enquadramento como instrumento, apenas o cita várias vezes na lei entre os artigos, como o art. 26: esse artigo expressa que tanto o enquadramento quanto a outorga devem conter um plano de prioridade no plano estadual de recursos hídricos. E no art. 27, que o enquadramento deve ser prezado pelo Comitê Estadual de Recursos Hídricos (LIMA, 2016).

Em 2002, todos os decretos referentes ao enquadramento foram invalidados pela Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Pernambuco. Os corpos hídricos de Pernambuco passariam a ser classificados como de classe 2, caso não tivesse classificação específica (LIMA, 2016).

3.5.7 Piauí

O enquadramento foi definido como instrumento na Lei Estadual de Recursos Hídricos n° 5.165, de 17 de agosto de 2000. Em 2016, foi publicado um Decreto n° 16.696 que dispõe o enquadramento como estimulador do cumprimento dos objetivos da cobrança, na medida em que poderá determinar o investimento em projetos de proteção e conservação, despoluição, reuso, bem como o uso de tecnologias limpas e poupadoras dos recursos hídricos (CEARÁ, 2017).

3.5.8 Rio Grande do Norte

O enquadramento não foi estabelecido como instrumento na Lei Estadual n° 6.908 de 1996. Ele foi incluído como instrumento no sistema de informação apenas em 2013, com a lei complementar n° 481/13, baseado na Portaria GM 013/76 (NOQUELLI, 2016).

3.5.9 Sergipe

Dentre os estados nordestinos, Sergipe apresentou o menor avanço em relação ao enquadramento, segundo os usos preponderantes, sendo desenvolvido em conformidade com o Plano de Recursos Hídricos de Bacia Hidrográfica e o Plano de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe, de acordo com a Superintendência de Recursos Hídricos, órgão da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos (CEARÁ, 2017).

3.6 Geoprocessamento como ferramenta de análise

O Geoprocessamento é definido como um conjunto de tecnologias que compreendem a coleta e posterior tratamento das informações espaciais. Dentre essas tecnologias que compõem o geoprocessamento estão o Sistema de Informação Geográfica (SIG), sensoriamento remoto e o sistema global de navegação por satélite (GNSS) (FITZ, 2008). Essas informações são realizadas por SIG, que as executa, processa os dados georreferenciados e originam produtos, como: arquivos digitais, mapas e relatórios. A partir das técnicas de geoprocessamento, esses são executados com maior precisão em relação ao armazenamento, gerenciamento e análise de dados espaciais, que auxiliam nas análises e no planejamento do desenvolvimento ambiental (SILVA; DE ANGELIS; MACHADO, 2007).

O SIG descreve aspectos e parâmetros de fenômenos reais em um conjunto de dados espaciais a partir de um sistema de coordenadas, de suas propriedades e relações (SILVA; DE ANGELIS; MACHADO, 2007). A combinação das tecnologias do sistema de informação geográfica e de sensoriamento remoto é fundamental para determinação do uso e ocupação do solo (SANTOS, 2005). As técnicas de sensoriamento remoto permitem a visualização espacial e temporal, facilitando o mapeamento, a visualização e interpretação dos pontos críticos de vulnerabilidade ambiental e os sistemas de informações geográficas, por meio da integração de informações relacionadas às condições ambientais nos corpos hídricos para o diagnóstico, e monitoramento da qualidade ambiental (PRADO; NOVO, 2005).

A aplicação de técnicas de geoprocessamento é útil no mapeamento do uso e ocupação do solo, do ponto de vista do planejamento e da gestão, tanto dos recursos hídricos quanto do uso e ocupação do meio físico, proporcionando sua avaliação e monitoramento, a fim de garantir a conservação dos recursos naturais (BORGES *et al.*, 2008).

O mapeamento do uso e ocupação do solo são produtos básicos para estudos ambientais espaciais, que auxiliam na gestão e preservação dos recursos naturais. Com a finalidade de produzir o mapeamento anual da cobertura e uso do solo no Brasil, surgiu, em 2015, um projeto de monitoramento aberto, definido como uma rede colaborativa entre instituições brasileiras como universidades e ONGs, especialistas em conservação e uso da terra e sensoriamento remoto, denominado de Mapbiomas. Esse projeto apresenta as transformações em todo território brasileiro de 1985 a 2021, organizado em biomas, através de mosaico de imagens com resolução espacial de 30 metros, produzidas pelos satélites Landsat, tornando acessível o conhecimento sobre o tema, a fim de buscar a conservação dos recursos naturais (MAPBIOMAS, 2022).

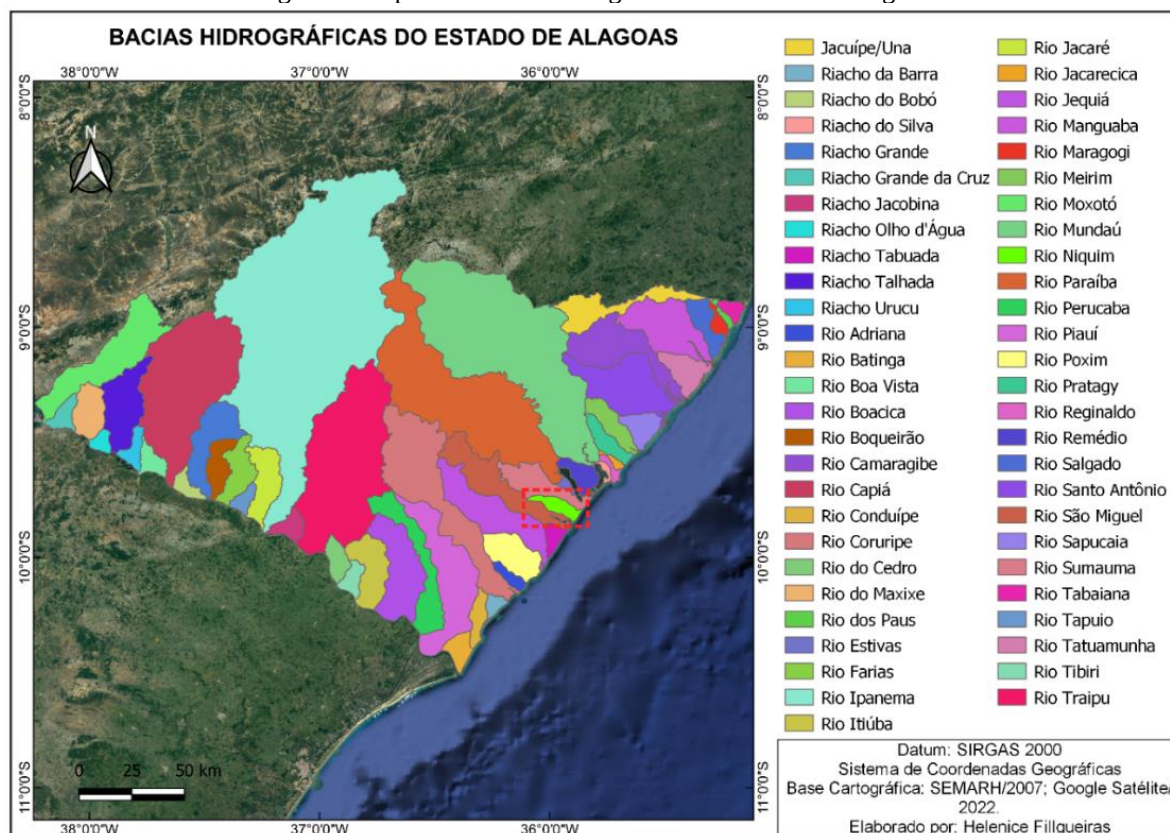
Além das imagens de cobertura e uso da terra, o projeto ainda fornece informações de desmatamento, água e fogo. Todo o processamento é feito na nuvem Google Earth Engine (GEE), incluindo a utilização dos mais avançados métodos de processamento, tecnologia e série temporal Landsat. Todas as informações disponibilizadas pelo projeto são por meio de arquivos de imagens e estatísticas com extensões geotiff e xlsx, respectivamente. Também são disponibilizadas informações das transições temporais e estatísticas associadas (MAPBIOMAS, 2022).

3.7 Bacia Hidrográfica do Rio Niquim

3.7.1 Localização

A Bacia Hidrográfica do Rio Niquim (BHRN) está localizada na região sul do estado de Alagoas e é parte integrante da bacia hidrográfica do São Miguel. Seu curso principal, o Rio Niquim, nasce no município de São Miguel dos Campos, atravessa o município de Barra de São Miguel e deságua no Oceano Atlântico. Possui extensão de aproximadamente 27 km, declividade média de 4,81 m/km, contendo elevações na cota 130 m, próxima a nascente e foz ao nível do mar. Seus limites físicos ocorrem ao norte com a Bacia Hidrográfica do Rio Sumaúma, a oeste com a Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel e a Leste com o Oceano Atlântico (Figura 1).

Figura 1. Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado de Alagoas.



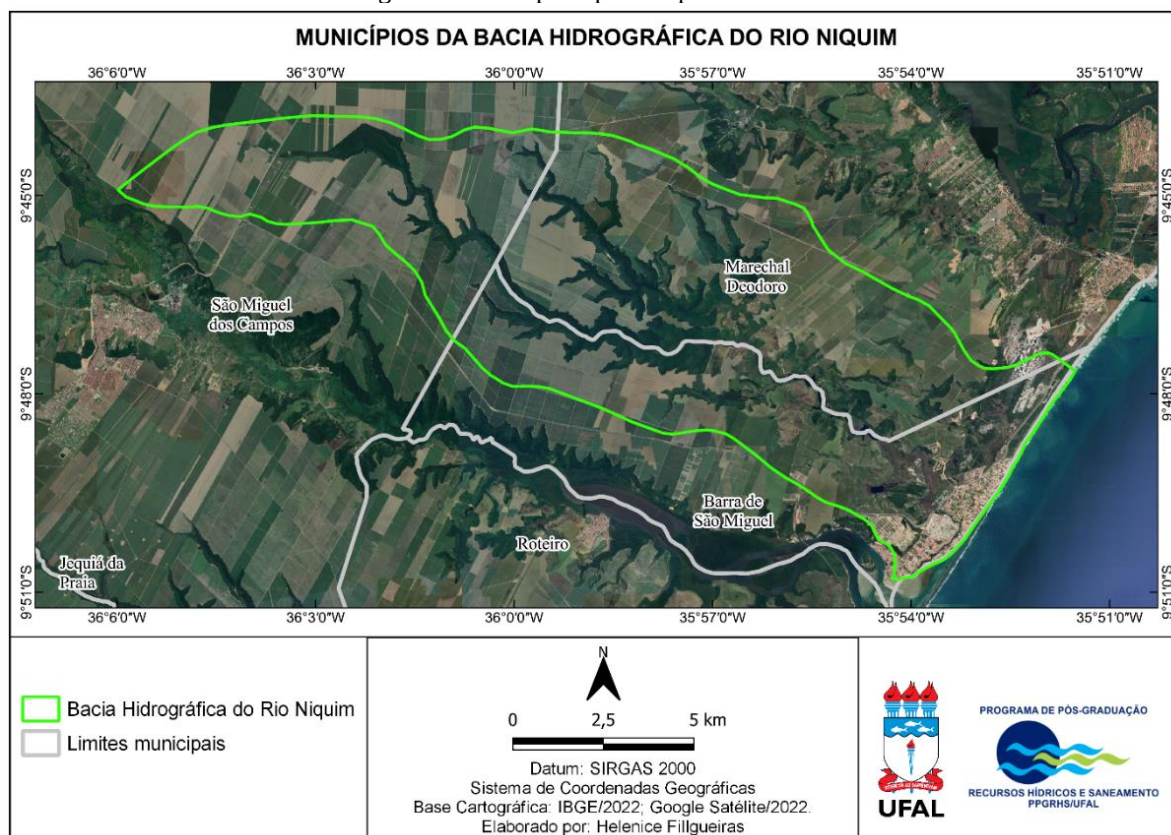
Fonte: Autora, 2023.

3.7.2 Municípios que compõem a bacia

A área das frações dos municípios localizados dentro da bacia do Rio Niquim, de aproximadamente 135,1 km², e que abrange os municípios de São Miguel dos Campos, Barra de São Miguel e Marechal Deodoro, apresentou uma população de cerca de 123.610 habitantes, no ano de 2021 (Tabela 2).

Quanto à superfície territorial, a Bacia Hidrográfica do Rio Niquim é formada por três municípios, sendo eles: Barra de São Miguel, Marechal Deodoro e São Miguel dos Campos (Figura 2), com respectivamente 31,71%, 42,73% e 25,56% de seus territórios na Bacia. Os municípios e suas áreas, no interior da Bacia Hidrográfica do Rio Niquim, estão subdivididos segundo o exposto na Tabela 2.

Figura 2. Municípios que compõem a BHRN.



Fonte: Autora, 2023.

Tabela 2. Percentual das áreas de cada município na bacia.

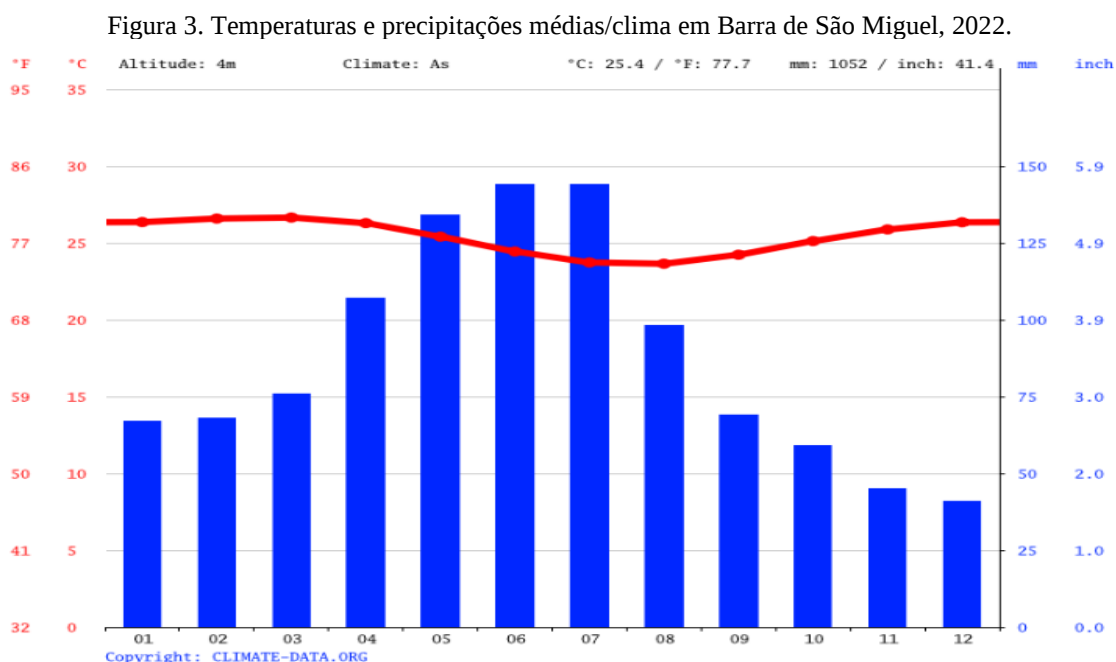
Municípios	Área do Município (km ²)	Área do município dentro da área de estudo (km ²)	Percentual da área da bacia
Barra de São Miguel	74,247	42,84	31,71
Marechal Deodoro	340,980	57,73	42,73
São Miguel dos Campos	335,683	34,53	25,56

Fonte: QGIS, 2023.

Na Tabela 2, evidenciam-se os municípios de maior (Marechal Deodoro) e menor (São Miguel dos Campos) abrangência territorial em relação à delimitação da bacia hidrográfica. Esses resultados foram obtidos utilizando o software Qgis. De acordo com o Infosnbas (2022), plataforma de dados e informações sobre saneamento básico dos municípios brasileiros, cerca de 63,30% das águas do Rio Niquim escoam no município de Barra de São Miguel; 9,03% de Marechal Deodoro e 16,29% de São Miguel dos Campos, sendo responsável pelo abastecimento de água do município da Barra de São Miguel e parte do município de Marechal Deodoro.

3.7.3 Clima

O clima é do tipo tropical chuvoso com verão seco, com temperaturas médias máximas anuais que variam entre 20 °C a 28 °C, atingindo 22 °C nas áreas mais elevadas. O período chuvoso começa em fevereiro e termina em outubro. A precipitação média anual é superior a 1.500 mm. O período de abril a agosto é mais úmido e o período mais seco vai de setembro a março (ARAÚJO *et al.*, 2006). A Figura 3 ilustra a variação apresentada.



Fonte: Climate-Data.org (2022).

3.7.4 Aspectos populacionais

Os conhecimentos relacionados à dimensão e à distribuição espacial da população residente na Bacia Hidrográfica do Rio Niquim são fatores importantes a serem observados, pois são capazes de influenciar na demanda hídrica da região.

Considerando todos os municípios que constituem a Bacia Hidrográfica do Rio Niquim, é importante observar a quantificação de habitantes por município – detalhada na Tabela 3, durante os últimos Censos Demográficos, de 2000 e 2010, em que a taxa média de crescimento geométrico da população corresponde a 1,44%, uma taxa superior a apresentada pelo estado de Alagoas, de 1,01%. Entre os municípios que integram a bacia, os destaques são

o município de Marechal Deodoro e Barra de São Miguel, com respectivamente 2,51% e 1,73 de crescimento populacional, entre os dois últimos Censos Demográficos, acima da média estadual, 1,01%, e nacional, que foi de 1,17%.

Tabela 3. Evolução da população dos municípios que compõem a Bacia do Rio Niquim

Município	População urbana (hab.)		Taxa de crescimento média anual no período (%)
	2000	2010	
Barra de São Miguel	6.379	7.574	1,73
Marechal Deodoro	35.866	45.977	2,51
São Miguel dos Campos	51.456	54.577	0,59
B.H. Rio Niquim	93.701	108.128	1,44
Alagoas	2.822.621	3.120.494	1,01

Fonte: IBGE, 2010.

A evolução populacional dos municípios que compõem a bacia do Rio Niquim (Tabela 4) no período compreendido entre os anos de 1991 e 2010, apresenta um crescimento da população urbana. O município de Barra de São Miguel foi o que apontou uma menor taxa de crescimento dentre os municípios que compõem a bacia. Em contrapartida, o município de São Miguel dos Campos apresenta maior taxa média de crescimento populacional. Quanto maior a aglomeração de habitantes, maior a demanda por espaço geográfico, maior a demanda por água e, por consequência, maiores serão as necessidades em buscar um crescimento econômico sustentável.

Tabela 4. Projeção Populacional dos municípios que compõem a Bacia do Rio Niquim.

Municípios		Barra de São Miguel	Marechal Deodoro	São Miguel dos Campos
1991	Urbana (hab)	3.501	14.658	28.121
	Rural (hab)	1.449	10.152	22.568
2000	Urbana (hab)	5.232	29.801	35.364
	Rural (hab)	1.138	4.770	16.069
2010	Urbana (hab)	6.521	43.392	52.566
	Rural (hab)	1.053	2.585	2.011

Fonte: IBGE, 2010.

Em relação à população rural, houve uma diminuição. Todos os municípios apresentaram uma taxa negativa de crescimento da população rural. O município de Barra de São Miguel apresentou baixa variação na população residente rural, o que demonstra que, mesmo que as zonas urbanas tenham se tornado um atrativo por razão do turismo próximo ao litoral, ao longo dos anos, as pessoas continuam habitando as áreas rurais do município.

3.7.5 Dinâmica Econômica

Para compreender a dinâmica econômica da Bacia Hidrográfica do Rio Niquim, buscou-se os indicadores de cada município, destacando as desigualdades existentes e desenvolvimento humano em cada região. Utilizou-se então o coeficiente de Gini, que mede o grau de concentração da distribuição de renda domiciliar per capita de uma determinada população em um determinado espaço geográfico, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDHM) e Produto Interno Bruto (PIB), como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Indicadores de desenvolvimento econômico.

Municípios	Índice de Gini	IDHM			PIB (R\$) (Ano 2020)	PIB per capita (Ano 2020)
		2000	2010	Evolução (%)		
Barra de São Miguel	0,55	0,44	0,615	39,77	R\$ 227,4 milhões	R\$ 27,1 mil
Marechal Deodoro	0,6	0,463	0,642	32,66	R\$ 2,8 bilhões	R\$ 54,1 mil
São Miguel dos Campos	0,51	0,506	0,623	23,12	R\$ 992,6 milhões	R\$ 16,1 mil

Fonte: IBGE, 2010; CARAVELA, 2022.

Com relação à desigualdade, considerou-se o índice de Gini, que mede a concentração de renda. São Miguel dos Campos foi o município que apresentou baixo índice de Gini e o melhor IDHM no período compreendido entre os anos de 2000 e 2010, dentre todos os integrantes da bacia. Nesse contexto, é válido destacar que as condições dos serviços públicos de saúde, agregado ao aumento da expectativa de vida, levam o índice IDHM dos municípios estudados para valores acima da média estadual.

O município de Marechal Deodoro apresentou melhor classificação no Produto Interno Bruto (PIB) em relação aos demais que constituem a Bacia do Rio Niquim, em 2020. Sendo assim, o valor advém da indústria, na sequência aparecem as participações dos serviços, da administração pública e da agropecuária. Quanto ao PIB per capita, considerado indicador de qualidade de vida da população, a cidade também apresentou em 2020 a melhor posição. A indústria foi o que mais contribuiu para o PIB do município, uma vez que há a predominância de atividades econômicas relacionadas.

3.7.6 Serviços Básicos

3.7.6.1 Abastecimento de água

O abastecimento de água nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Niquim é realizado por meio de captações subterrâneas e principalmente superficiais de água, em que as captações superficiais são responsáveis pelo abastecimento das áreas urbanas nos municípios. Esse abastecimento não está associado apenas ao consumo humano, pois essas captações atendem às demandas para irrigação, entre outras. A Tabela 6 apresenta as características do sistema de abastecimento dos municípios.

Tabela 6. Características dos sistemas de abastecimento dos municípios que compõem a bacia.

Municípios	Barra de São Miguel	Marechal Deodoro	São Miguel dos Campos
Tipo de Sistema	Sistema Isolado	Sistema Isolado	Sistema Isolado
Manancial(is) de Abastecimento	Rio Niquim	Barragem Estiva/ Rio Niquim	Açude Pitu/ Açude Tomada/ Fonte da Fábrica/ Subterrâneo
Tipo Manancial(is)	Superficial	Superficial	Superficial/ Subterrâneo
Classificação Manancial	Manancial com Alta Vulnerabilidade	Manancial com alta vulnerabilidade	Manancial com baixa vulnerabilidade
Eficiência da Produção de Água	Mínima	Mínima	Baixa
Eficiência da Distribuição de Água	Baixa	Baixa	Média
Índice de Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano	Baixa	Baixa	Média

Fonte: ANA, 2021.

Os dados do Atlas Águas de 2021, elaborado pela Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA), apresentam o diagnóstico da segurança hídrica na dimensão específica do abastecimento de água nos municípios que compõem a BHRN. Como resultado, os dados demonstram que o Rio Niquim, responsável pelo abastecimento do município de Barra de São Miguel e parte do município de Marechal Deodoro, possui alta vulnerabilidade e com fragilidades na produção e na distribuição de água.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), nenhum município que constitui a bacia possui Política de Saneamento Básico, conforme a Lei 11.445/2007. Apenas o município de Marechal Deodoro possui plano municipal de saneamento básico, elaborado por lei municipal, nos termos estabelecidos na Lei 11.445/2007, aprovado em

2017, destinado à política dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário da cidade.

Conforme os dados disponíveis no SNIS referente ao ano de 2021, a Tabela 7 apresenta os indicadores da água, que caracterizam o sistema de abastecimento de água dos municípios que compõem a bacia.

Tabela 7. Indicadores da água que caracteriza o sistema de abastecimento nos municípios.

Municípios	Barra de São Miguel	Marechal Deodoro	São Miguel dos Campos
Prestador	CASAL/BRK Ambiental	BRK Ambiental	SAEE
População urbana atendida com abastecimento de água (hab.)	7.142	47.665	60.000
Índice de atendimento urbano de água (%)	98,40	95,60	100,00
Extensão da rede de água (km)	73,08	266	195
Volume de água produzido (1.000m³/ano)	1.831,89	2.242,07	3.806,00
Volume de água tratada em ETAs (1.000m³/ano)	1.766,94	1.393,79	2.691,00
Volume de água consumido (1.000m³/ano)	1.509,74	1.028,44	2.310,00
Índice de perdas na distribuição (%)	43,23	54,13	39,31
Volume de água tratada por simples desinfecção (1.000m³/ano)	64,95	848,28	1.115,00
Consumo per capita de água (L/hab./dia)	218,40	56,30	106,30
Índice de consumo de água (%)	56,77	45,87	60,69

Fonte: SNIS, 2022.

Com fragilidades na produção e na distribuição de água, como ilustram os dados da Tabela 7, o município de Barra de São Miguel apresenta maior consumo per capita de água e o segundo maior índice de perda, menor apenas do que o município de Marechal Deodoro – que apresenta a maior extensão da rede de água, o que facilita o processo de distribuição e o atendimento urbano de água. No entanto, o índice de perdas na distribuição é o maior dentre os municípios que compõem a bacia, chegando a 54,13%, em função da carência na manutenção e correta operação do sistema.

3.7.6.2 Esgotamento Sanitário

As características referentes às condições de esgotamento sanitário nos municípios que compõem a BHRN estão descritas na Tabela 8, segundo o SNIS, referente ao ano de 2021. É possível observar que a rede coletora de esgoto não atende a toda a população urbana dos municípios. Dentre os municípios que compõem a bacia, o de Barra de São Miguel apresenta a menor população atendida com esgotamento sanitário, o menor volume de esgotos tratados e índice de esgotos tratados, de modo que grande parte do esgoto residencial ainda é destinada de maneira inadequada ou não recebe nenhum tipo de tratamento.

Tabela 8. Dados sobre o sistema de esgotamento sanitário dos municípios.

Municípios	Barra de São Miguel	Marechal Deodoro	São Miguel dos Campos
Prestador	BRK Ambiental/CASAL	BRK Ambiental	SAEE
População urbana atendida com esgotamento sanitário (hab.)	1.327	6.534	32.000
Índice de atendimento urbano de esgoto (%)	18,28	13,1	53,31
Extensão da rede de esgotos (km)	2,06	53,11	109,75
Volume de esgotos coletados (1.000m³/ano)	214,97	145,36	1.792,00
Índice de coleta de esgoto (%)	34,75	14,13	77,58
Volume de esgotos tratados (1.000m³/ano)	30,04	48,83	397
Índice de tratamento de esgoto (%)	13,97	33,59	22,15

Fonte: SNIS, 2022.

Tal fato pode ser verificado nas formas de esgotamento sanitário nas áreas urbanas e rurais dos municípios, definidas segundo o Censo Demográfico do IBGE de 2010. Na Tabela 9, é possível visualizar a quantidade de domicílios que utilizam cada forma de esgotamento sanitário.

Tabela 9. Tipo de esgotamento sanitário nos domicílios particulares nos municípios que compõem a bacia.

	Municípios	Barra de São Miguel	Marechal Deodoro	São Miguel dos Campos	Total
Rede Geral de Esgoto ou Pluvial	Urbano	303	1.173	7.092	8.568
	Rural	-	-	1	1
Fossa Séptica	Urbano	726	2.276	1.777	4.779
	Rural	43	5	54	102
Fossa Rudimentar	Urbano	691	7.126	4.157	11.974

	Rural	79	409	217	705
Vala	Urbano	7	247	132	386
	Rural	4	31	22	57
Rio, Lago ou Mar	Urbano	7	65	167	239
	Rural	3	9	4	16
Outro Escadouro	Urbano	8	119	32	159
	Rural	4	44	45	93
Não tinham banheiro	Urbano	2	536	222	386
	Rural	111	123	101	709

Fonte: IBGE, 2010.

Os dados da Tabela 9 retratam a situação dos domicílios particulares dos municípios da bacia do Rio Niquim, segundo o Censo Demográfico do IBGE de 2010. Cerca de 11.974 domicílios urbanos e 705 domicílios rurais possuem a fossa rudimentar como o seu principal escoadouro de esgotos – apesar de ser o mais indicado em casos de ausência de rede de esgoto, ainda causa impacto aos recursos hídricos através da contaminação do lençol freático.

O sistema de esgotamento sanitário ligado à rede geral de esgoto atende a 8.568 residências urbanas e 1 residência rural, porém há lançamento clandestino de esgotos em galerias de águas pluviais que são encaminhados para os rios e mares, causando poluição. O esgotamento sanitário nos municípios ainda é bastante precário, de modo que 1.170 residências urbanas e 875 residências rurais ainda destinam o esgoto de maneira inadequada – não apresentam destino adequado de seus efluentes, que despejam seus rejeitos líquidos diretamente em vala, rio, lago ou mar, ou ainda não recebe nenhum tipo de tratamento.

3.7.6.3 Resíduos Sólidos

De acordo com o SNIS, em 2021, nenhum município que constitui a bacia possui Política de Saneamento Básico, conforme a Lei 11.445/2007. Apenas o de São Miguel dos Campos possui Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), de acordo com a Lei nº 12.305/2010, que trata da Política Nacional de Resíduos, aprovado em 2016.

Desde o ano 2017, todos os municípios realizam a disposição adequada dos resíduos sólidos: destinam seus resíduos na Central de Tratamento de Resíduos (CTR), em Pilar. Além da CTR, o município de Marechal Deodoro também tem a contribuição da Cooperativa dos

Catadores de Marechal Deodoro (Coopmar), que realiza coleta de materiais recicláveis. A Tabela 10 apresenta os dados quantitativos referentes aos indicadores sobre coleta de resíduos sólidos urbanos nos municípios do ano de 2021, segundo o SNIS.

Tabela 10. Indicadores sobre coleta de resíduos sólidos nos municípios.

Município	Barra de São Miguel	Marechal Deodoro	São Miguel dos Campos
Cobertura total (%)	84,95	90,83	99,47
Cobertura urbana (%)	98,68	96,24	100
Massa coletada total (kg/hab./dia)	1,89	1,09	0,72
Massa coletada urbana (kg/hab./dia)	1,86	1,05	0,75

Fonte: SNIS, 2022.

Com relação aos indicadores da coleta de resíduos de sólidos, pode-se verificar que o município de São Miguel dos Campos apresenta os melhores indicadores de resíduos sólidos. Na cidade, os resíduos sólidos públicos são recolhidos separadamente dos resíduos sólidos domiciliares. De acordo com o SNIS, Barra de São Miguel não possui sistema de coleta seletiva e reciclagem do lixo, por isso todo o lixo produzido é destinado para a CTR.

3.7.7 Agropecuária

De acordo com as informações da Produção Agrícola Municipal (PAM), disponibilizadas pelo IBGE (2022), a Bacia Hidrográfica do Rio Niquim dispõe de um conjunto de culturas produzidas nas lavouras permanentes e temporárias dos municípios que compõem a bacia. Essas estão apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11. Culturas produzidas nas lavouras permanentes e temporárias.

Municípios		Barra de São Miguel	Marechal Deodoro	São Miguel dos Campos	BH do Rio Niquim	
LAVOURA PERMANENTE	Banana(cacho)	Quant.(t)	15	87	65	167
		Área(ha)	2	10	5	17
	Coco-da-baía	Quant.(t)	455	1.922	-	2.377
		Área(ha)	90	621	-	711
	Laranja	Quant.(t)	-	120	-	120
		Área(ha)	-	8	-	8
	Manga	Quant.(t)	-	-	30	30
		Área(ha)	-	-	5	5
	Maracujá	Quant.(t)	-	-	26	26
		Área(ha)	-	-	2	2
	Quant.(t)	-	12	-	12	

LAVOURA TEMPORÁRIA	Pimenta do Reino	Área(ha)	-	6	-	6
	Abacaxi	Quant.(t)	-	-	63	63
		Área(ha)	-	-	3	3
	Amendoim	Quant.(t)	-	-	2	2
		Área(ha)	-	-	1	1
	Batata-doce	Quant.(t)	-	200	120	320
		Área(ha)	-	25	10	35
	Cana-de-açúcar	Quant.(t)	172.613	888.243	1.329.129	2.389.985
		Área(ha)	2.950	15.000	22.000	39.950
	Feijão	Quant.(t)	-	-	3	3
		Área(ha)	-	-	3	3
	Mandioca	Quant.(t)	5.940	621	2.500	9.061
		Área(ha)	660	69	200	929
	Melancia	Quant.(t)	-	-	80	80
		Área(ha)	-	-	4	4
	Milho	Quant.(t)	-	-	273	273
		Área(ha)	-	-	70	70
	Soja	Quant.(t)	-	-	820	820
		Área(ha)	-	-	280	280
	Tomate	Quant.(t)	-	-	50	50
		Área(ha)	-	-	1	1

Fonte: IBGE, 2022a.

Observa-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Niquim apresenta uma diversidade na produção agrícola, na qual são despendidas as maiores áreas destinadas à colheita (hectares) para a produção de cana-de-açúcar, mandioca e coco-da-baía, de forma temporária, e são destacadas as culturas do coco-da-baía e da banana, de forma permanente.

Dentre as culturas produzidas na Bacia Hidrográfica do Rio Niquim, a banana, a mandioca e a cana-de-açúcar foram as culturas em comum dos municípios que compõem a BHRN, com maior ênfase na cultura temporária de cana-de-açúcar, que se destaca na maior produção e área de plantio. O município da bacia que se destaca quanto a produção da cana-de-açúcar é São Miguel dos Campos, com uma diferença alta em termos de quantidade, em comparação aos demais municípios. Contudo, é importante frisar que a falta ou o excesso de água no desenvolvimento da cultura pode prejudicar o crescimento. Portanto, faz-se necessário que o solo possua disponibilidade de água para que a cultura apresente um crescimento com boa qualidade e ganhos com produtividade.

Quanto à pecuária, a Tabela 12 apresenta a Produção Pecuária Municipal (PPM) dos municípios que compõem a BHRN, no ano de 2021.

Tabela 12. Produção Pecuária Municipal (PPM) dos municípios da BHRN.

Tabela 12: Produção Pecuária Municipal (P.M.) dos municípios da BRRV.							
Municípios	Cabeças						
	Bovino	Caprino	Codorna	Equino	Galináceo	Ovino	Suíno
Barra de São Miguel	328	-	-	100	3.000	160	-
Marechal Deodoro	3.618	300	-	310	8.000	500	533
São Miguel dos Campos	5.324	151	8.000	151	75.000	1.560	270
BH do Rio Niquim	9.270	451	8.000	561	86.000	2.220	803

Fonte: IBGE, 2022b.

Verifica-se, conforme a Tabela 12, que o principal rebanho da Bacia Hidrográfica do Rio Niquim foi o de galináceo, compreendendo a 86.000 cabeças, tendo – como principal produtor, em 2021 – o município de São Miguel dos Campos (75.000 cabeças), seguido por Marechal Deodoro (8.000 cabeças) e Barra de São Miguel (3.000 cabeças).

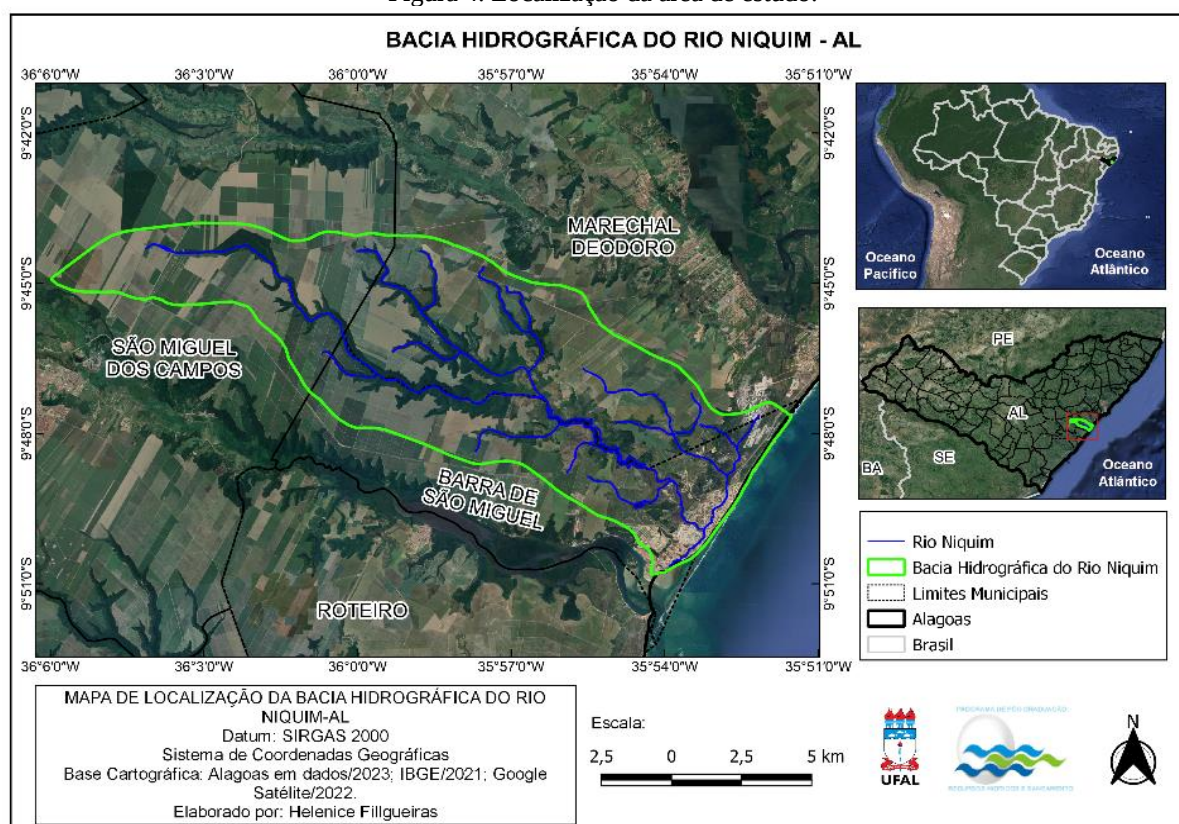
Além dos efetivos rebanhos, o que é parâmetro para se avaliar o desempenho da pecuária na bacia é a aquicultura em cada município. De acordo com o PPM do ano de 2021, destaca-se, no município da Barra de São Miguel, a produção de ostras, vieiras e mexilhões (30.000 kg); em Marechal Deodoro, a produção de camarões (1.500kg) e tilápias (6.000 kg) e, em São Miguel dos Campos, a produção de tambaquis (3.000 kg). Na região, as atividades de pesca e piscicultura são uma importante atividade econômica e social, por constituírem, muitas vezes, a única fonte de alimento, de emprego e de renda dos indivíduos.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de trabalho

A área de estudo é a bacia hidrográfica do Rio Niquim, localizada no sul do estado de Alagoas, com área de 135,1 km², dividida em três municípios (São Miguel, Marechal Deodoro e Barra de São Miguel). A Figura 4 ilustra a localização da área de estudo.

Figura 4. Localização da área de estudo.



Fonte: Autora, 2022.

O Rio Niquim, o rio principal da bacia, é de dominialidade estadual, pois nasce e deságua em território alagoano, caracterizando-o como rio estadual. Suas nascentes se localizam no município de São Miguel dos Campos, numa altitude aproximada de 130 m, em relação ao nível médio do mar e deságua no oceano Atlântico, após cruzar a cidade de Barra de São Miguel (ALAGOAS, 2003).

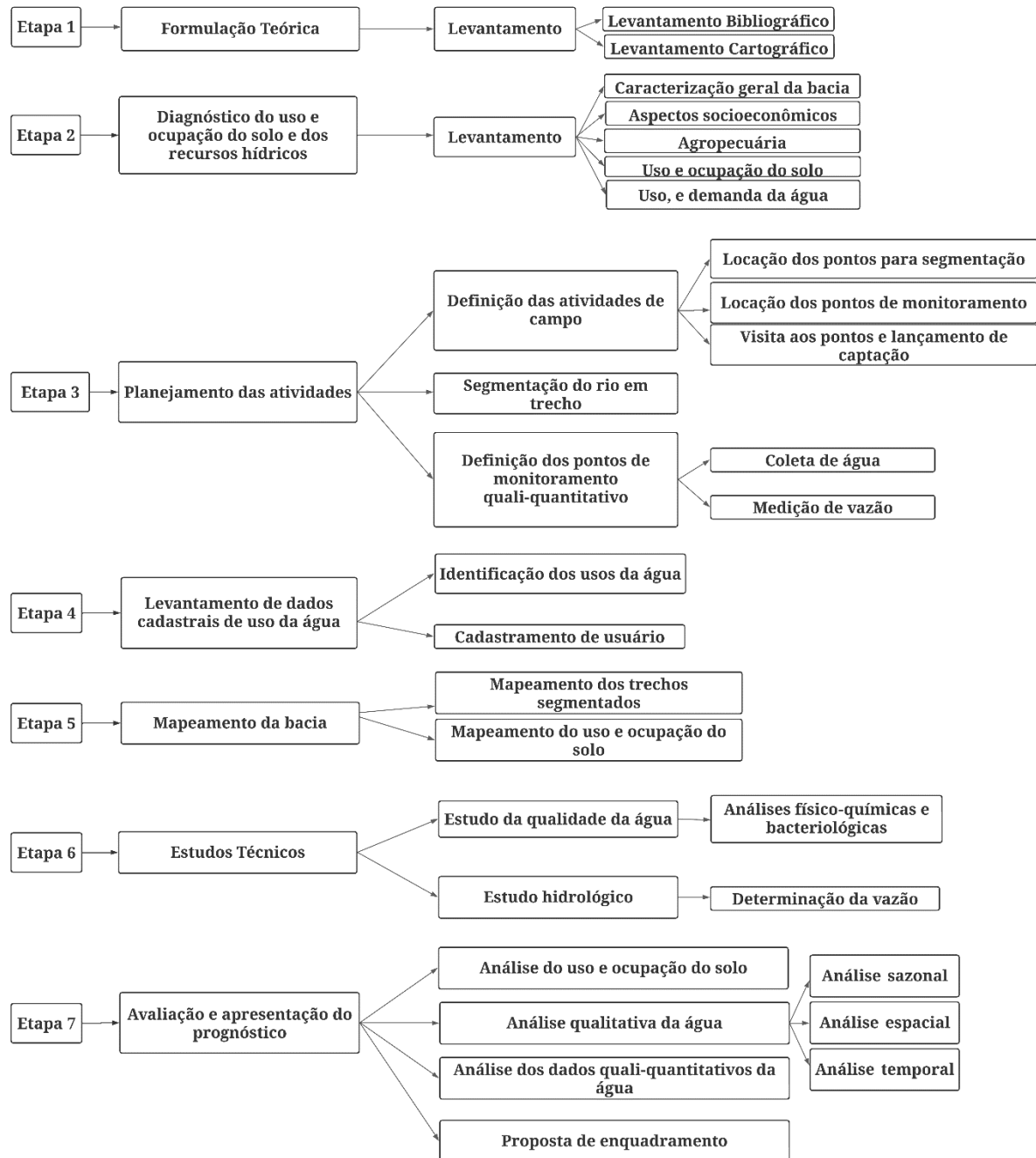
A bacia do Rio Niquim sofre uma elevada variação na demanda hídrica durante algumas épocas do ano, por ser responsável pelo abastecimento do município da Barra de São Miguel – que recebe um afluxo de população flutuante na época de alta temporada, principalmente nos fins de semana e nos períodos festivos, como carnaval e festas de período de verão. É importante destacar ainda a formação da lagoa do Niquim, localizada no tabuleiro, bem anterior à sua foz, fundamental para o turismo, o lazer e a piscicultura (ALAGOAS, 2003).

4.2 Delineamento metodológico

Os procedimentos metodológicos para se atingir os objetivos propostos compreenderam sete etapas (Figura 5): formulação teórica, diagnóstico do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos, planejamento das atividades, levantamento de dados cadastrais de usos de água, mapeamento da bacia, estudos técnicos e avaliação e apresentação do prognóstico.

Optou-se por um estudo de campo, descritivo com abordagem quantitativa, que consiste em observar, descrever e documentar aspectos de uma situação, buscando descrever relações entre variáveis, em que o pesquisador utiliza técnicas estatísticas e uma sequência lógica dos acontecimentos.

Figura 5. Fluxograma metodológico.



Fonte: Autora, 2022.

4.2.1 Formulação teórica

Para consolidar o referencial teórico-metodológico desse trabalho científico foram feitas duas abordagens: a primeira a respeito de conceitos sobre as bacias hidrográficas para compor o referencial teórico, acompanhado de um levantamento de informações em relação à

bacia do Rio Niquim, para conhecimento prévio, como apresentado na Tabela 13. A segunda abordagem foi cartográfica, para conhecimento e visualização do espaço geográfico e posterior desenvolvimento de mapas temáticos da área de estudo.

Tabela 13. Levantamento de informações.

Caracterização geral da bacia	Identificar aspectos relevantes para a caracterização da bacia.
Aspectos socioeconômicos	Identificar principais aspectos demográficos, levantamento da infraestrutura econômica e saúde pública (abastecimento de água, esgotamento sanitário e resíduos sólidos).
Agropecuária	Identificar os principais rebanhos e cultivos praticados na bacia, analisando os dados do Censo Agropecuário.

Para tanto, foi imprescindível a consulta a diversas fontes, por meio de livros, artigos, dissertações, teses, relatórios de pesquisa, periódicos, mapas topográficos/temáticos e imagens de satélite, recorrendo-se ainda a consultas aos órgãos institucionais e governamentais para coleta de dados acerca das políticas de ocupação do solo e qualidade da água.

4.2.2 Diagnóstico do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos

Na etapa de diagnóstico do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos na bacia hidrográfica foram definidos o cenário atual do rio e a condição da bacia hidrográfica, que serviram de fundamentação para a etapa de prognóstico, com base em estudos já realizados e informações obtidas no PDRHSM, complementadas com visitas técnicas, em levantamentos específicos. Nesse contexto, foram analisados os seguintes aspectos: disponibilidade, uso e demanda de água; uso e ocupação do solo; e socioeconômicos da bacia. Nessa etapa, foram abordados os aspectos apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Diagnóstico de uso e ocupação da bacia.

Estudos	Objetivos
Caracterização ambiental	Levantamento do espaço geográfico da bacia envolvendo os seguintes fatores ambientais: geologia, geomorfologia, vegetação e solo.

Uso e ocupação atual do solo	Identificação e mapeamento dos tipos de uso e ocupação atual do solo; áreas naturais e antropizadas.
Usos e demanda atual de águas superficiais	Descrição dos usos consuntivos e não consuntivos históricos e atuais. E a significância de cada um dos usos para a bacia e para a região.

4.2.3 Planejamento das atividades

A etapa de planejamento das atividades foi dividida em três partes: definição das atividades de campo, proposta de segmentação do rio em trechos e a definição dos pontos de monitoramento dos aspectos qualitativos e quantitativos da bacia hidrográfica.

4.2.3.1 Definição das atividades de campo

Como atividades de campo foram definidas a locação dos pontos previstos para segmentação dos trechos do rio, locação dos pontos de monitoramento e controle de qualidade da água, e a visita aos pontos de captação de água.

4.2.3.2 Segmentação do rio em trechos

A segmentação do rio em trechos foi realizada levando em consideração as informações coletadas em trabalhos já publicados. A segmentação final e o seu mapeamento ocorreram após os trabalhos de campo, em que foi verificada a adequação da proposta inicial com a situação observada no local. As segmentações dos trechos foram definidas considerando os limites da bacia, a presença de estações de medição fluviométrica, uso e ocupação do solo, confluência de cursos de água e derivações e lançamentos considerados significativos.

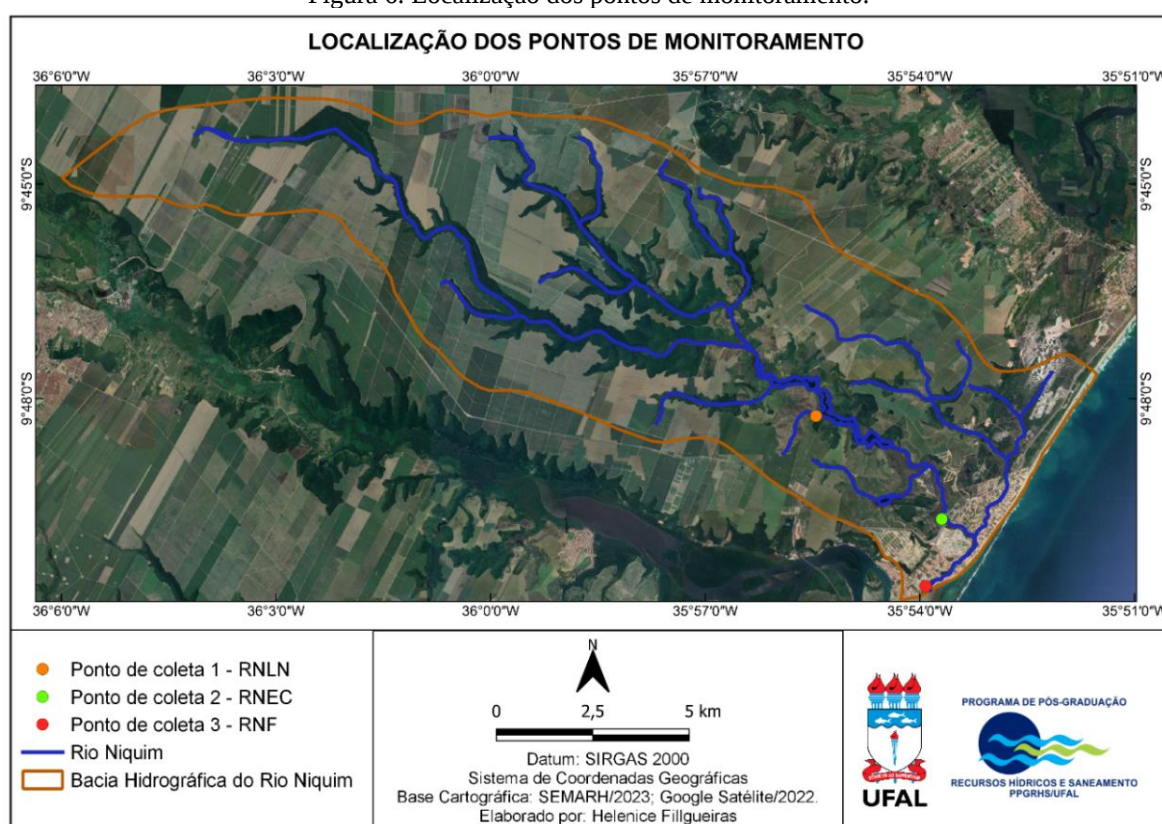
4.2.3.3 Definição dos pontos e frequência de monitoramento da água

Os pontos de monitoramento (Figura 6) foram definidos ao longo de toda bacia, baseando-se nas características de cada trecho e na facilidade de acesso a eles. As coordenadas estão apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15. Coordenadas dos pontos de monitoramento.

Pontos	Localização	Latitude	Longitude	Descrição
RNLN	Lagoa Niquim	9°48'14" S	35°55'27" W	Localizado na lagoa, acima da chácara andorinhas
RNEC	Estação CASAL	9°49'41" S	35°53'41" W	Localizado na chácara Niquim
RNF	Foz	9°50'37" S	35°53'55" W	Localizado no Pier da Barra

Figura 6. Localização dos pontos de monitoramento.



Fonte: Autora, 2023.

Assim, para cada trecho segmentado, foram definidos os pontos para a realização da coleta de água e medição da vazão, considerando as diversidades temporais e espaciais que influenciam nos escoamentos superficiais do rio e nos volumes lançados de efluentes.

As campanhas de coleta de água e medição de vazão foram realizadas mensalmente em dois períodos, de julho a setembro, e de outubro a dezembro de 2022, característicos de

período chuvoso e seco, que são considerados os mais críticos em termos de qualidade e quantidade de água, conforme apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Periodicidade dos dados.

Períodos	Meses	Caracterização do Período
Período I	Jul a Set/22	Período chuvoso
Período II	Out a Dez/22	Período seco

Com relação à vazão, a medição foi feita apenas em dois pontos, devido às condições locais favoráveis, e por possuírem sessão de condição hidráulica oportuna. No ponto da lagoa (RNLN), não foi possível realizar a medição de vazão no mês de dezembro de 2022, em consequência das condições chuvosas que ocasionaram o aumento do volume de água, e a impossibilidade de identificar a área da seção, impossibilitando a medição no ponto.

4.2.4 Levantamento de dados cadastrais de usos da água

Para compreender a dinâmica entre a disponibilidade hídrica e a demanda de água para os múltiplos usos no Rio Niquim, se fez necessário conhecer os múltiplos usos das águas, os usuários e as possíveis fontes de degradação da qualidade da água. Esse conhecimento se deu por meio do levantamento de dados cadastrais feito por meio de consulta ao PDRHSM, e ao setor de outorga da Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH), com validação feita através de visitas em campo, como apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Levantamento de informações e seus objetivos.

Levantamento de informações	Objetivo
Identificação dos usos das águas	Levantamento dos usos atuais e prioritários da água.
	Determinação da vazão correspondente a estes usos.
Cadastramento de usuários	Identificação de agentes potenciais e/ou detentores de licenças ambientais, outorga ou concessão para uso consultivos ou não consultivos.

4.2.5 Mapeamento da bacia

O mapeamento é de fundamental importância no planejamento e execução das atividades, principalmente para as atividades de campo. Então, para a elaboração do trabalho, foi realizado o mapeamento dos trechos segmentados e o mapeamento do uso e ocupação do solo.

4.2.5.1 Mapeamento dos trechos segmentados

O trabalho foi realizado considerando a produção do “Mapa de segmentação do rio em trechos”, para localizar os pontos de coleta e os seus respectivos trechos. Em seguida, esses dados foram validados por meio de visitas a cada trecho proposto. Além disso, houve o registro de imagens importantes para documentação fotográfica, que resultará na proposta final de segmentação.

4.2.5.2 Mapeamento do uso e ocupação do solo

Para acompanhar a evolução temporal de uso e ocupação do solo, foram elaborados mapas anuais recortados do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil, utilizando a coleção 7 de imagens disponibilizadas pelo Projeto Mapbiomas, referentes ao mapeamento dos usos e ocupações dos anos 2000 e 2021.

Por meio do geoprocessamento, as imagens obtidas pelo Mapbiomas foram caracterizadas no Qgis, além de extraídas as informações quantitativas delas através da utilização de ferramentas estatísticas do Qgis, sendo possível obter a área, em km², das tipologias de usos e ocupações do solo da bacia.

4.2.6 Estudos técnicos

4.2.6.1 Estudo da qualidade da água

No estudo de qualidade da água foram utilizados dados primários. Desse modo, para compreender a dinâmica espaço-temporal da qualidade da água foram realizadas as análises dos seguintes parâmetros: cor (C), turbidez (Tb), sólidos totais (ST), temperatura (T), salinidade,

potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), demanda química de oxigênio (DQO), demanda biológica de oxigênio ($\text{DBO}_{5,20}$), fósforo total (PT), cloreto (Cl^-), alcalinidade total (AT), nitrito (NO_2), nitrato (NO_3), nitrogênio amoniacal (NH_4^+), nitrogênio kjedahl total (NTK), coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (EC).

As medições de pH, temperatura, salinidade, turbidez, condutividade e OD foram realizadas no próprio ponto de coleta, por meio de equipamentos de medição portáteis levados ao campo. Para as demais análises, foram coletados 2L de água em cada ponto selecionado, durante as campanhas em período chuvoso e seco, e levadas ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) do CTEC/UFAL para realização de análises físico-químicas e bacteriológicas, seguindo a metodologia descrita no “Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater”, que possui informações referentes à forma adequada do acondicionamento, armazenamento e tempo máximo permitido entre a coleta e a análise, para não comprometer a integridade da amostra, nem os resultados analíticos (APHA, 1995).

Os resultados dos parâmetros de qualidade da água foram agrupados e organizados em um banco de dados de planilhas do software *Excel* e foram submetidos a tratamento estatístico e produção de gráficos para melhor compreensão e visualização dos dados.

Para análise estatística descritiva dos dados de qualidade da água, foi realizada uma análise por ponto de monitoramento, para cada uma das variáveis. Foram calculados os valores mínimo e máximo, mediana, média e desvio padrão.

4.2.6.2 Estudo hidrológico

O estudo hidrológico foi realizado por medições de vazão apenas em dois pontos selecionados, devido às condições não favoráveis dos locais, no mesmo período e com a mesma frequência de coleta de água, com exceção apenas do mês de dezembro, em razão das condições temporais e locais. A medição foi realizada utilizando o método de determinação por molinete, assim:

- Determinar a batimetria da seção – posicionando-se os piquetes nas margens da seção escolhida; amarrando-se aos piquetes a corda graduada em 20 cm sendo, portanto, elaborada a batimetria em cada ponto da seção;

- Determinar a velocidade de rotação do molinete (velocidade do escoamento) – em cada vertical da seção, que determina o número de rotações de sua hélice em um intervalo de tempo escolhido. Para cada vertical, mediram-se, quando possível, as rotações do molinete aos 20%, 60% e aos 80% da profundidade.

4.2.7 Avaliação e apresentação do prognóstico

A apresentação do prognóstico dos recursos hídricos na bacia hidrográfica e do uso e da ocupação do solo, bem como seus benefícios socioeconômicos e ambientais, tem, como base, o diagnóstico do uso e da ocupação do solo; os recursos hídricos na bacia hidrográfica; os usos atuais e desejados; a avaliação dos estudos de qualidade da água feitas a partir da influência da vazão e do uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água, que possibilita a classificação atual do corpo hídrico; evolução da distribuição das populações e das atividades econômicas; evolução de usos e ocupação do solo; a influência da vazão e do uso do solo sobre a qualidade da água e a definição do enquadramento, de acordo com os usos futuros.

A avaliação da condição dos corpos hídricos tem como objetivo verificar a sua situação atual e comparar com os dados apresentados nas legislações e normas vigentes, identificar os parâmetros em desconformidade e as causas dos respectivos desvios.

Assim, o resultado das análises de qualidade da água foi compilado em tabelas, submetidos a tratamento estatístico básico, como medidas de tendência central e de variação, e serviram para compor uma base de dados da bacia.

4.2.7.1 Análise do uso e ocupação do solo

Para analisar a influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água, a bacia do Rio Niquim foi dividida em três áreas de contribuição, definidas como áreas a montante de cada ponto de monitoramento, considerando a localização dos pontos. Dessa forma, é possível relacionar as áreas de uso e ocupação do solo com os resultados da qualidade da água dos pontos de monitoramento.

4.2.7.2 Análise qualitativa da água

A validação dos dados coletados foi realizada através da aplicação de testes estatísticos. Foram utilizados métodos estatísticos para avaliação da variação temporal (período seco e chuvoso), da espacialidade (localização dos pontos de monitoramento) e das tendências temporais (2005, 2006, 2019, 2020, 2021 e 2022) dos parâmetros de qualidade da água selecionados.

Para verificar a variação temporal dos dados, utilizou-se o teste de normalidade Shapiro-Wilk, determinando o valor de p . Para avaliar a existência de diferenças significativas entre as médias (para dados com distribuição paramétrica) ou medianas (para dados com distribuição não-paramétrica) foram utilizados os testes T de Student para comparação de médias e Mann-Whitney para comparação de medianas, com base na diferença significativa (adotando nível de significância de 5%). Para apresentação dos dados, também foram utilizadas técnicas gráficas, por serem de fácil visualização e interpretação.

Para caracterizar a espacialidade dos dados entre os pontos de monitoramento, de acordo com a normalidade ou não da distribuição dos conjuntos de dados amostrais dos parâmetros analisados, foram usados os testes de análise de variância ANOVA (paramétrico) e Kruskal-Wallis (não paramétrico), com o objetivo de verificar quais os parâmetros de qualidade da água apresentam diferenças significativas em função da localização dos pontos na bacia hidrográfica.

Na caracterização temporal foram utilizados dados primários e secundários, apenas para um ponto de monitoramento desse estudo, ponto em comum para todos os dados disponíveis. Os dados utilizados foram do estudo realizado por Pimentel (2007), que possui dados de qualidade referentes aos anos 2005 e 2006 – dados fornecidos pela SEMARH, através da Plataforma QUALIAGUA de 2019 a 2021, com 7 parâmetros em comum em todos os bancos de dados.

Na análise de tendência temporal foi utilizado o teste não-paramétrico de Mann-Kendall, para detectar a correlação entre a série de dados e o tempo, e verificar o seu comportamento ao longo do tempo. Os dados de qualidade da água não seguem uma distribuição normal, pois as amostragens são realizadas irregularmente, apresentam sazonalidade e são dependentes das vazões dos rios. Portanto, o teste de Mann Kendall, por

tratar-se de um método não paramétrico, não requer distribuição normal dos dados, além de ser pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas (ZHANG *et al.*, 2009).

4.2.7.3 Análise quali-quantitativa da água

A análise conjunta da variação espacial e temporal das vazões e dos parâmetros de qualidade da água, em cada ponto, foi feita por meio de estudos de correlação entre os dados obtidos no monitoramento, representados pelos dados de vazão e qualidade da água nos períodos chuvoso e seco na região. O estudo foi feito por meio de análises estatísticas de correlações, com base no coeficiente de correlação de Pearson e nível de significância de 5%.

Essa análise permite o conhecimento da variação espacial e temporal dos dados, como também das concentrações dos parâmetros de qualidade da água, permitindo conhecer o comportamento dos parâmetros na variação das vazões, nos pontos de monitoramento. Para apresentação dos dados, também foram utilizadas técnicas gráficas, representando a sazonalidade nos pontos de monitoramento para cada parâmetro.

4.2.8 Proposta de enquadramento

Os dados obtidos foram comparados com os valores recomendados pela Resolução CONAMA nº 357/05, em função dos usos preponderantes de cada trecho. A partir da análise dos dados obtidos foi feita a classificação dos trechos e relatados os principais problemas de classificação, baseados nas condições preconizadas principalmente na Resolução CONAMA nº 357/05, identificando os trechos com qualidade de água em desconformidade com os seus usos e suas causas. A comparação entre o valor máximo obtido para cada parâmetro, o limite legal da classe e o uso da água esperado propiciaram a avaliação do enquadramento das águas nos trechos segmentados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

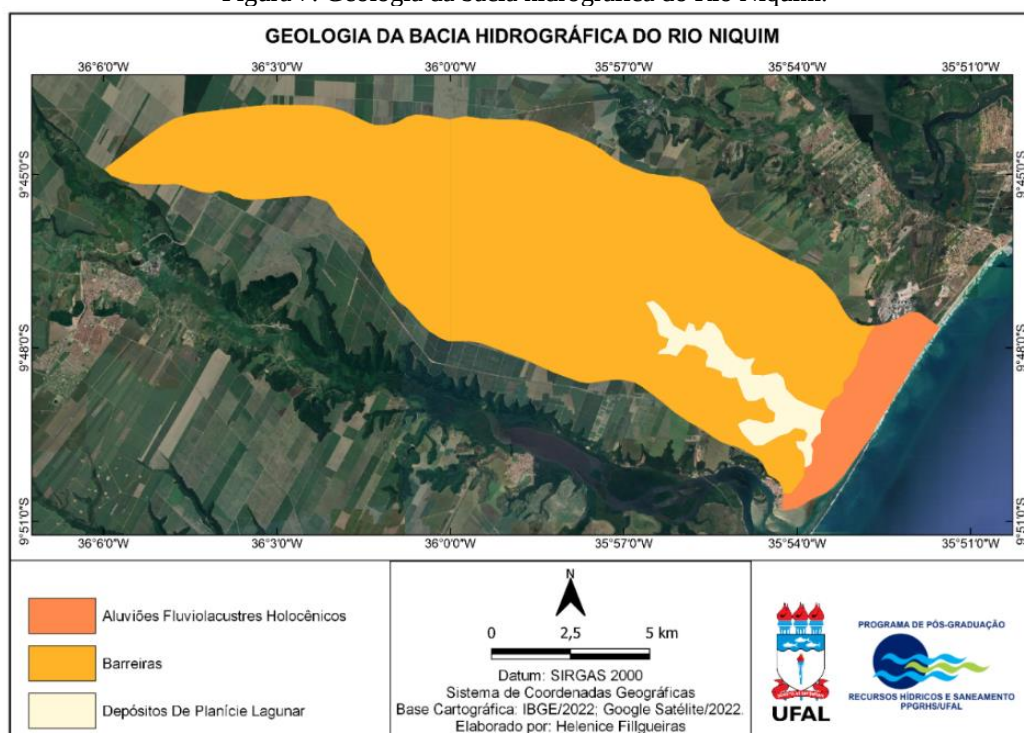
5.1 Diagnóstico do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos

5.1.1 Caracterização ambiental

A geologia local, apresentada na Figura 7, apresenta que a área em estudo está inserida na bacia sedimentar de Sergipe-Alagoas da Província Borborema, representada pelos litotipos do Grupo Barreiras, Depósitos Flúvio-lagunares e Depósitos Litorâneos do período Quaternário.

O Grupo Barreiras (ENb) é caracterizado por arenitos e arenitos conglomeráticos, com intercalações de siltito e argilito. Os Depósitos Flúvio-lagunares ou Aluviões Fluviolacustres englobam filitos arenosos e carbonosos. Os Depósitos Litorâneos ou Planície Lagunar ocorrem na planície litorânea e nas margens dos principais rios, formando as planícies de inundações. Representados por areias finas e grossas e dunas móveis, os depósitos quaternários são fluviais, eólicos, flúvio-marinhos, flúvio-lacustres e marinhos (CPRM, 2005).

Figura 7. Geologia da bacia hidrográfica do Rio Niquim.



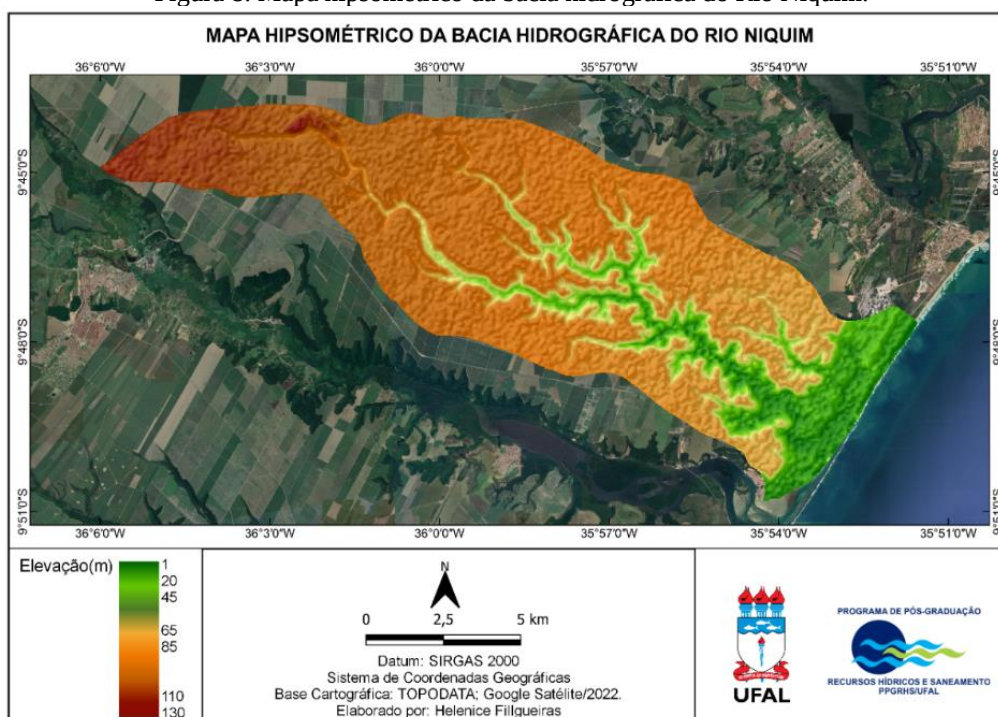
Fonte: Autora, 2023.

Na Figura 7, verifica-se que a formação Barreiras é a unidade geológica predominante, ocupando desde as margens da rede hidrográfica até o contato com as planícies marinha e flúvio-marinha. É composta por sedimentos areno-argilosos, inconsolidados, laterizados e caulínicos (ALHEIROS *et al*, 1998).

Devido às características geológicas favoráveis da formação Barreiras para a agricultura, a área é ocupada em quase sua totalidade pelo cultivo de cana-de-açúcar, em áreas que vão desde o tabuleiro costeiro até o sopé das encostas do Planalto Borborema. Essa intensa ocupação, acompanhada da supressão vegetal, proporciona com maior intensidade o desenvolvimento de processos erosivos que, aliados às declividades do relevo, impactam na qualidade da água da bacia (ALAGOAS, 2003).

O relevo da região faz parte da unidade dos tabuleiros costeiros. Essa unidade acompanha o litoral de todo o Nordeste, apresenta altitude média de 50 a 100 metros; compreende platôs de origem sedimentar, que apresentam grau de entalhamento variável, ora com vales estreitos e encostas abruptas, ora abertos com encostas suaves e fundos com amplas várzeas. As altitudes na bacia hidrográfica do Rio Niquim variam de 1 m a 130 m, conforme observa-se no mapa hipsométrico (Figura 8).

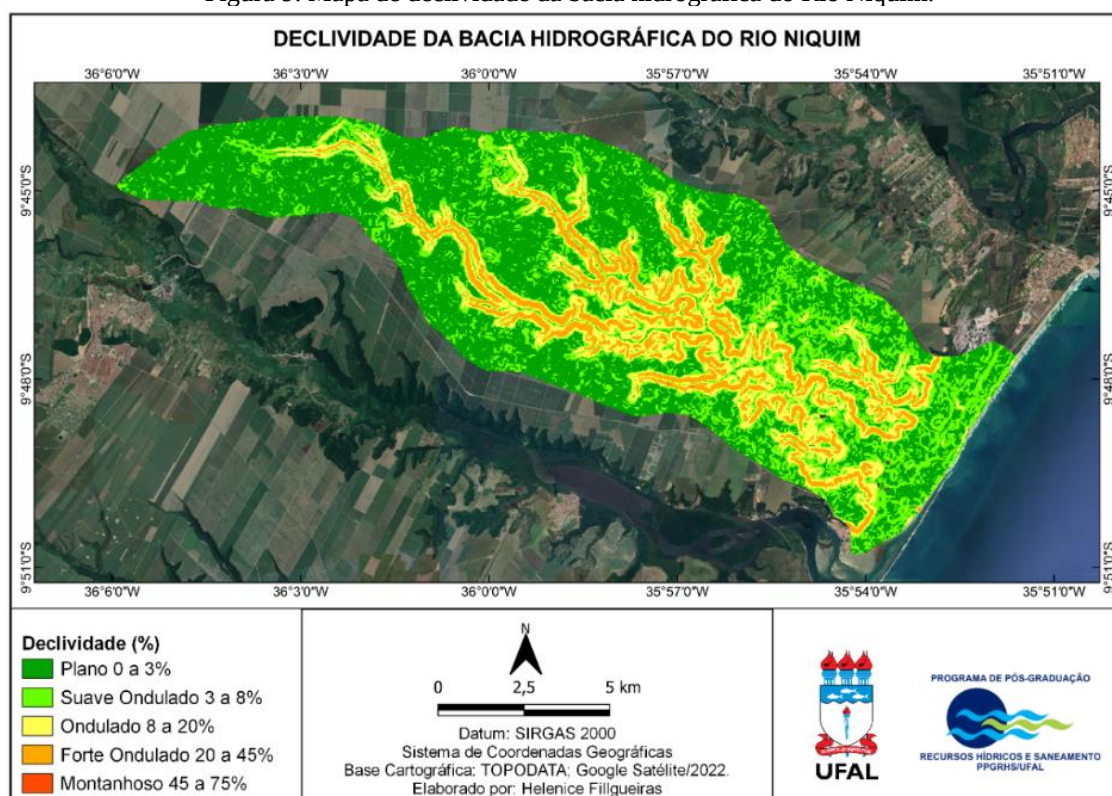
Figura 8. Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Rio Niquim.



Fonte: Autora, 2023.

A bacia apresenta uma declividade média em torno de 4,81 m/km, contendo elevações na cota de 130 m próxima a nascente, e foz ao nível do mar. O Rio Niquim, com cerca de 27 km de extensão em seu terço superior, possui um volume de água pequeno, mas aumento gradual do volume escoado após receber tributários com maior volume, em seu terço médio, passando a ser explorado para usos nobres e para irrigação de canaviais (ALAGOAS, 2003). Na Figura 9, observa-se a espacialização da declividade, com predominância de 0 a 8%, e nas regiões à montante dos rios predominam as classes de 8 a 20% e 20 a 45%. As declividades foram classificadas de acordo a Embrapa (1999).

Figura 9. Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Rio Niquim.



Fonte: Autora, 2023.

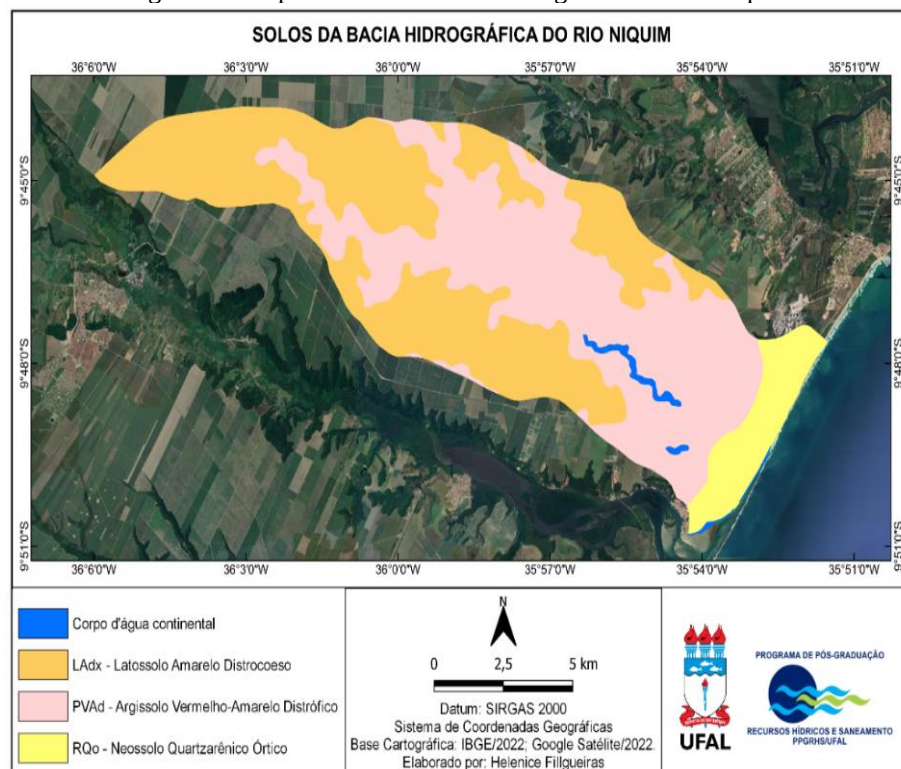
As classes de declive mostraram um maior predomínio de áreas com 0 a 3% de declividade, classificado como relevo plano, terras propícias para o cultivo com culturas permanentes, podendo-se destacar a produção de cana-de-açúcar. As áreas mais próximas ao curso d'água são mais íngremes, o que favorece os processos de erosão e carreamento de materiais que acabam comprometendo a qualidade das águas.

A declividade e a vegetação contribuem para a formação do solo e servem como indicador na caracterização de áreas de risco e restrição de uso, uma vez que a declividade e a cobertura do solo alteram o escoamento das águas superficiais e, consequentemente, o carreamento de materiais, pois quanto maior a declividade e a redução da cobertura vegetal nativa, maior será o escoamento superficial e a velocidade da água, arrastando substâncias e partículas, diminuindo a infiltração do solo e, principalmente, alterando a qualidade das águas superficiais dos processos erosivos fluviais e pluviais.

O carreamento das partículas pela água também dependerá das propriedades intrínsecas do solo, bem como de suas condições de formação do solo (pedogênese). Além disso, a redução da cobertura vegetal para a prática de atividades agrícolas ou o aumento da impermeabilização da cobertura para a edificação também contribuem significativamente para o escoamento superficial (GONÇALVES; NUCCI, 2017).

Os solos são caracterizados pelos Latossolos e Argissolos nos topos de chapadas e topos residuais, e pelos Neossolo Quartzarênico e Solos Aluviais nas áreas de várzeas (Figura 10).

Figura 10. Mapa de solos da bacia hidrográfica do Rio Niquim.



Fonte: Autora, 2023.

No baixo curso, é visível a ocorrência de solo associado a areias quartzosas denominadas de Neossolos Quartzarêncios. É um solo vulnerável à erosão eólica, devido ao elevado grau de desagregação apresentado, passíveis de serem erodidos, principalmente se combinados com relevos vulneráveis à erosão.

Além disso, esses fatores são agravados pela deficiência da cobertura vegetal e efeito local das condições climáticas, uma vez que são encontradas, na região, duas estações bem definidas: uma chuvosa e outra seca, ao lado de climas onde predomina estação seca e um curto período chuvoso, em que ocorrem fortes chuvas. A interação entre as variáveis climáticas e as demais variações ambientais altera drasticamente a qualidade das águas da bacia, propiciando alterações dos parâmetros de qualidade, além de aumentá-los significativamente quando aliados à intensa ação antrópica.

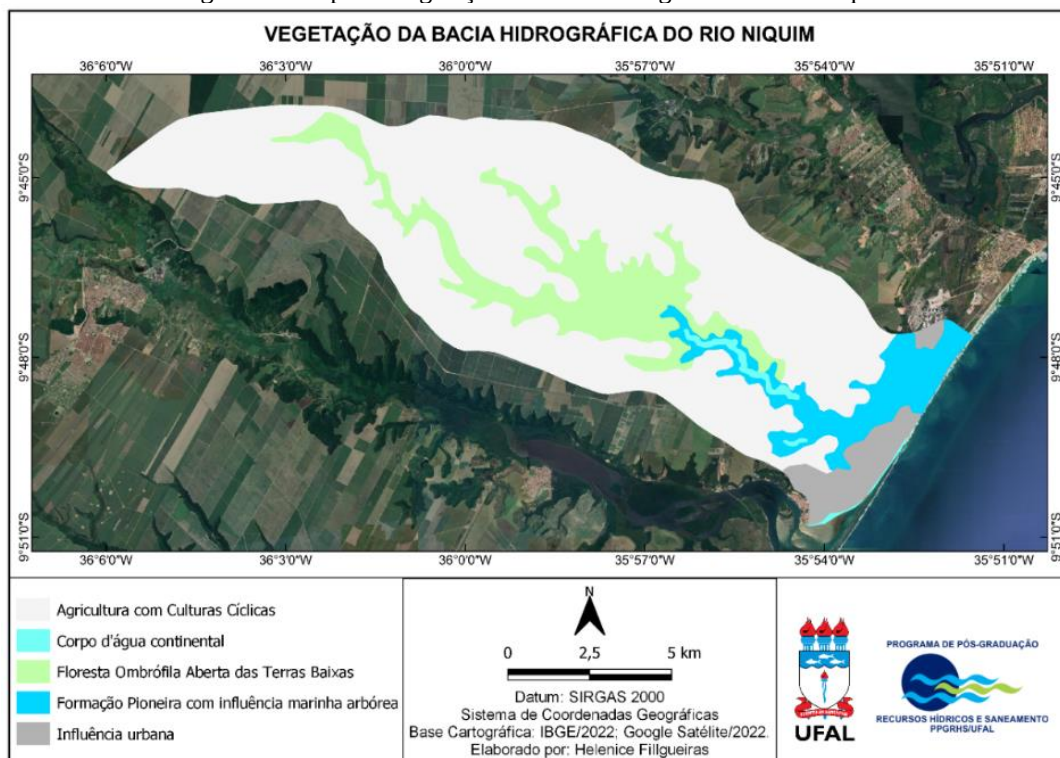
Ao longo do litoral do Estado de Alagoas são identificados diferentes ambientes de sedimentação, depósitos fluviais, incluindo terras úmidas (pântanos de água doce e mangues), terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, dunas costeiras holocênicas (ativas e inativas), bancos recifais e praias atuais, entre outras, em que diversos tipos de vegetação com solos característicos estão presentes (ARAÚJO *et al.*, 2006). Nos tabuleiros costeiros, há formação florestal com plantas herbáceas e arbustivas com poucas árvores espaçadas, e nas planícies costeiras a vegetação assume aspecto de mangues e restingas pela influência fluviomarinha (MENEZES *et al.*, 2012).

Como apresenta a Figura 11, a vegetação é caracterizada por florestas densas e muito heterogêneas, típica de mata atlântica conhecida como Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas. Dentre elas, pode-se citar as formações de manguezais do tipo *Rhizophora mangle*.

Em outros locais do litoral, nas áreas mais baixas pela influência flúvio-marinha, a vegetação se modifica e assume aspectos de restingas e mangues, conhecida como Formação Pioneira com influência marinha arbórea, e de campos cerrados nos tabuleiros costeiros pela presença de solos pobres típicos de cerrado formada por plantas herbáceas e arbustivas com poucas árvores espaçadas (MENEZES *et al.*, 2004).

A modelagem terrestre na região da área de estudo é definida por Florestas Ombrófila e Formações pioneiras com influência marinha arbórea, com predominância de vegetação do tipo Floresta Subperenifólia de Restinga.

Figura 11. Mapa da vegetação da bacia hidrográfica do Rio Niquim.



Fonte: Autora, 2023.

Com relação à vegetação litorânea, pode-se destacar as Formações de Manguezais do tipo *Rhizophora mangle* associadas às Formações de Praia, distribuídas ao longo da faixa litorânea, formada por vegetação herbácea de restinga, arbustivas, subarbustivas e arbóreas, responsáveis pela fixação dos cordões dunares.

Nas Formações de Praia (Figura 12), a vegetação de restinga caracteriza-se por ser densa e herbácea. Sua ocorrência tem início geralmente na região da pós-praia e são representados por gramíneas, salsas de praia e capim de areia.

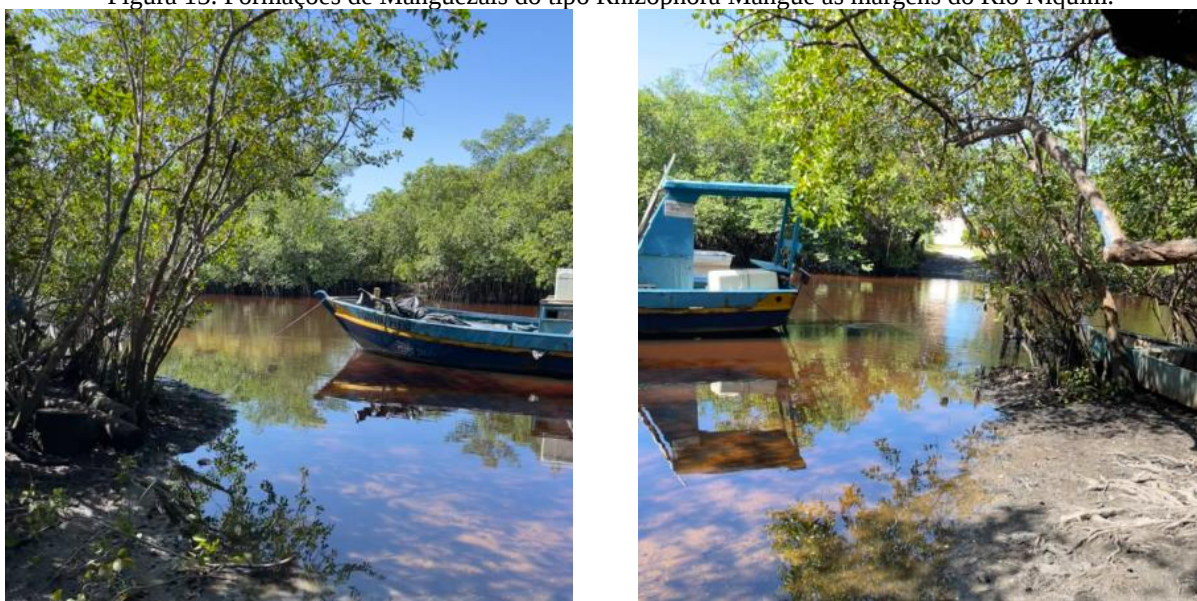
Figura 12. Formações de Praia: vegetação de restinga na região da pós-praia.



Fonte: Autora, 2022.

As Formações de Manguezais (Figura 13) estão presentes nos depósitos de mangue do Rio Niquim, sendo essas as zonas de influência das marés, onde as variações de maré impulsionam as águas salgadas do mar para dentro do continente através dos canais fluviais.

Figura 13. Formações de Manguezais do tipo *Rhizophora Mangue* às margens do Rio Niquim.



Fonte: Autora, 2022.

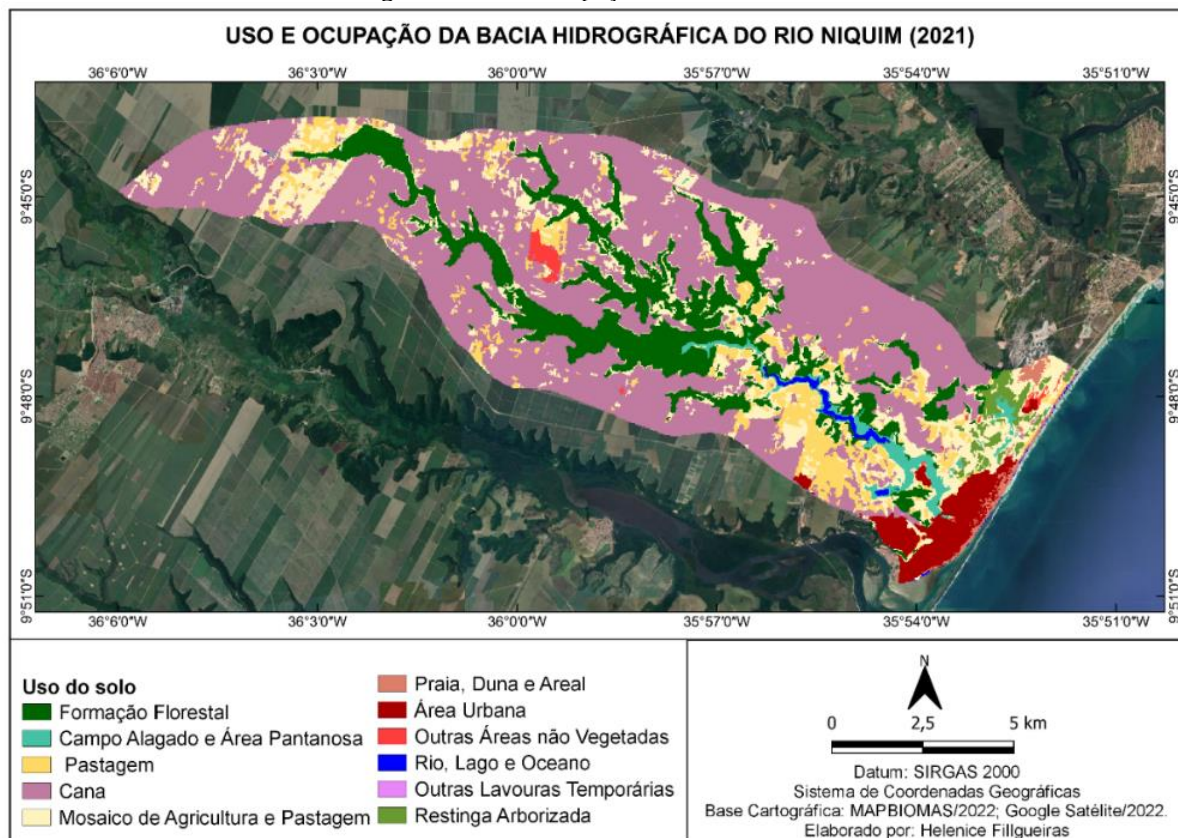
Nesse trecho, a vegetação, principalmente os manguezais, sofrem modificações pela ação antrópica, onde aglomerados urbanos, como o município de Barra de São Miguel, veio a se desenvolver nos terrenos da planície fluvio-lagunar-marinha, que teve a sua vegetação de manguezal retirada para a construção de edificações. Em outros trechos, os manguezais perdem espaço e vão se misturando a uma vegetação ciliar, quando não são substituídos pelos canaviais que circundam os tabuleiros sedimentares. Em igual proporção, os ambientes urbanizados também reduzem o alcance da vegetação.

Colabora-se com a preservação do ecossistema, mantendo a integridade biótica e, ao mesmo tempo, a qualidade da água, quando se tem consciência, por exemplo, que a mata ripária (aquela existente nas faixas de terra marginais aos cursos d'água) contribui para a maior produção de água na bacia e a manutenção da sua qualidade, atuando como um filtro natural, evitando processos erosivos e o assoreamento.

5.1.2 Uso e ocupação do solo atual

Para a caracterização do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Niquim foram utilizados dados obtidos junto ao Mapbiomas, referentes aos levantamentos de uso e ocupação do solo relativos ao ano de 2021. A bacia encontra-se inserida no bioma Mata Atlântica e, segundo o levantamento do Mapbiomas, é composta por formações florestais de Mata Atlântica (16,57%), campo alagado e área pantanosa (1,9%), pastagem (7,70%), cana-de-açúcar (51,53%), agricultura e pastagem (15,46%), praia, dunas e areal (0,77%), área urbana (3,5%), área não vegetada (0,63%), rio, lago e oceanos (0,56%), outras lavouras temporárias (0,06%) e de restinga arborizada (1,32%). Na bacia também há a silvicultura, mas o levantamento do último ano não apresentou nenhum dado correspondente ao uso. Ao todo, a bacia apresenta 16,57 km² de Formações Florestais e 69,62 km² das áreas destinadas ao plantio de cana-de-açúcar e 20,88 km² da área para agricultura e pastagem, distribuídas espacialmente conforme exposto na Figura 14.

Figura 14. Uso e ocupação do solo na BHRN.



Fonte: Autora, 2023.

Na Figura 14, observa-se a presença da formação florestal próxima ao curso principal do rio, e a presença marcante do plantio de cana-de-açúcar em toda extensão da bacia. Verifica-se também que a maior parte dos fragmentos urbanos estão distribuídos na parte baixa da bacia, principalmente próximo ao litoral. O uso do solo predominante é caracterizado pelo cultivo da cana-de-açúcar, principalmente nas regiões dos tabuleiros, e pela pastagem nas regiões de cabeceiras das bacias. A existência de vegetação natural e/ou de reflorestamento, em áreas de preservação, é particularmente pouco significativa.

A Tabela 18 apresenta as principais classes de uso do solo na bacia e suas porcentagens em relação à sua área. As classes foram agrupadas em duas categorias: a do uso natural, relacionada com os elementos da natureza, e a do uso antrópico, relacionada com as atividades socioeconômicas.

Tabela 18. Principais classes de uso e ocupação do solo na BHRN.

Categorias	Classes	Área (km²)	Área (%)
Uso Natural	Formação Florestal	22,38	16,57
	Campo alagado e área pantanosa	2,57	1,90
	Praia, dunas e areal	1,04	0,77
	Águas superficiais	0,76	0,56
	Restinga Arborizada	1,78	1,32
Uso Antrópico	Pastagem	10,41	7,70
	Cana-de-açúcar	69,62	51,53
	Agricultura e pastagem	20,88	15,46
	Área urbana	4,73	3,5
	Área não vegetada	0,85	0,63
	Outras lavouras temporárias	0,08	0,06
Total		135,1	100

Fonte: MAPBIOMAS, 2022.

Nota-se que os usos naturais ocupam uma área de 28,53 km², o equivalente a 21,12% da área da Bacia Hidrográfica do Rio Niquim, enquanto os usos antrópicos ocupam 106,57 km², representando uma área relativa de 78,88%. Esses percentuais chamam atenção, pois o alto nível de antropização do território da bacia potencializa a pressão sobre a disponibilidade dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade.

5.1.3 Usos e demanda atual de águas superficiais

De acordo com o PDRHSM, a bacia do Rio Niquim tem área de 135,1 km². Apresenta vazão média de 2,27 m³/s, estimada com base no período simulado de 1963 a 1991 e sua vazão

específica é de 14,65 L/s.km². A Q₉₀ estimada para o Rio foi de 0,47m³/s, já considerada insuficiente para atender a população nos meses considerados críticos em 2003.

Dentre os municípios que compõem a bacia, grande parte do município de Barra de São Miguel é abastecido pelo Rio Niquim. Então, as demandas hídricas consideradas no município abrangem os seguintes usos consuntivos: abastecimento humano (urbano e rural), indústria e irrigação. Essas demandas foram descritas no Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, lançado pela ANA em 2019. A Tabela 19, apresenta uma estimativa do consumo total e da retirada total do município ao longo dos anos até 2040.

Tabela 19. Consumo e retirada de água do município de Barra de São Miguel.

Ano	Consumo (m ³ /s)	Retirada (m ³ /s)
2000	0,0595	0,0331
2010	0,1553	0,1153
2020	0,2106	0,1615
2021	0,2116	0,1621
2022	0,1969	0,1482
2023	0,1991	0,1500
2024	0,2027	0,1530
2025	0,2061	0,1558
2030	0,2210	0,1683
2040	0,2480	0,1917

Fonte: ANA, 2022.

Assim como em todo país, a demanda de água no município vem crescendo continuamente ao longo dos anos até 2040, com destaque para as retiradas de 2000 a 2021, que aumentou de 0,03 m³/s para 0,16 m³/s. Pela evolução das retiradas, estima-se um aumento de aproximadamente 19% das retiradas de água até 2040, passando de 0,15 m³/s para 0,1917 m³/s. Esses valores tendenciais reforçam a necessidade de um planejamento hídrico que proporcione segurança hídrica aos múltiplos usos, a fim de evitar crises hídricas.

5.2 Levantamento de dados cadastrais de usos de água

Para compreender como a qualidade da água do Rio Niquim se comporta em relação aos seus usos, foram identificados 51 pedidos de outorga referentes às captações superficiais na bacia ao longo dos anos de 2000 a 2021. Cada ponto possui informações quanto ao seu uso.

Buscando identificar a existência de conflitos de uso na bacia, principalmente no comprometimento da água para consumo humano, a Tabela 20 e a Figura 15 apresentam as 8 captações superficiais vigentes na bacia hidrográfica do Rio Niquim. As captações destinadas à irrigação representam a maior parte dos dados do cadastro de outorgas, sendo três pontos distribuídos nos três municípios que compõem a bacia: dois pontos são utilizados para abastecimento humano e apenas um ponto de lançamento de efluentes. Já os outros pontos de captação foram destinados a outros usos.

Tabela 20. Captações no Rio Niquim referentes ao ano de 2021.

Usuário	Município	Finalidade/ Uso	Irrigação		Vazão autorizada para uso (m³/h)
			Área irrigada (ha)	Cultura	
Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL)	Barra de São Miguel	Abastecimento humano			380,50
Município de Marechal Deodoro	Marechal Deodoro	Abastecimento humano			756,63
Caamira Empreendimento Turístico e Imobiliário SPE LTDA	Barra de São Miguel	Irrigação			2,27
Companhia Açucareira Central Sumáuma SA	Marechal Deodoro	Irrigação			260,00
Valdemir Rodrigues dos Santos	Barra de São Miguel	Irrigação	116,67	Coco e cana	25,00
CONCOE - Construtora Coelho, Incorporadora e Hotelaria LTDA	Barra de São Miguel	Lançamento de efluentes			228,42
L. Pereira & CIA	Barra de São Miguel	Outros usos			20,80
Villa Niquim Empreendimento Turístico LTDA	Barra de São Miguel	Outros usos			21,80

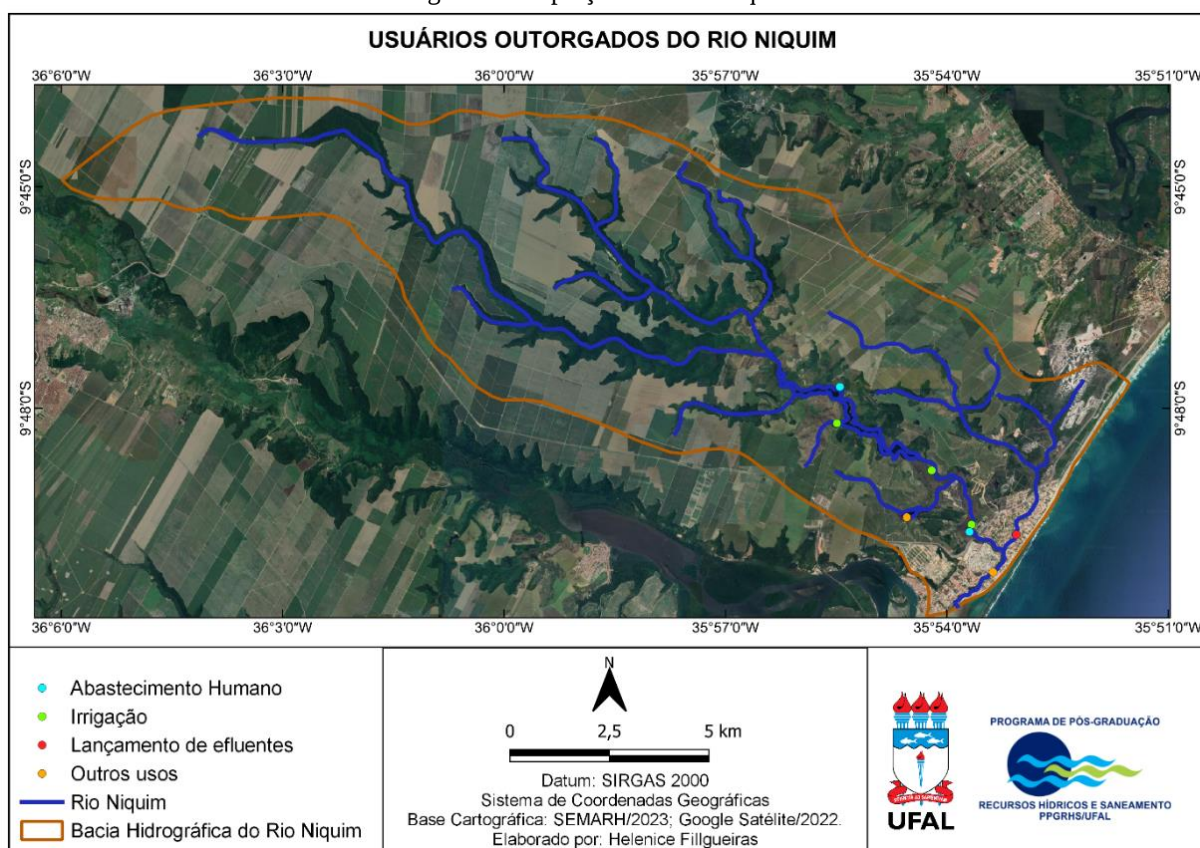
Fonte: SEMARH, 2022.

Verifica-se que, do total de usuários cadastrados ativos, 37,5% destinam o recurso hídrico para irrigação, seguidos de outras finalidades (25%), para abastecimento humano (25%)

e para lançamento de efluentes (12,5%). Pela Tabela 20, observa-se que 2,51% (42,6 m³/h) da água outorgada para utilização são para outros usos que não foram caracterizados pelo órgão gestor; 67,07% (1.137,13m³/h) são utilizados para abastecimento humano; e mesmo apresentando a maior quantidade de cadastro de outorgas, o setor de irrigação possui 16,95% (287,27 m³/h) e para lançamento de efluentes apenas 13,47% (228,42m³/h).

Na Figura 15 é apresentada a localização dos usuários, cujos usos dos recursos hídricos são considerados significantes. Nota-se que a maior parcela dos usuários cadastrados está localizada na parte baixa, próximo à foz. Na porção alta da bacia, próximo à nascente, não existem usuários cadastrados.

Figura 15. Captações do Rio Niquim.



Fonte: Autora, 2023.

Inicialmente, percebe-se uma alta densidade de pontos de captação de água, assim como um elevado consumo na região sul da bacia (Figura 15), região essa próxima à área urbana. Esse cenário demonstra aumento na demanda hídrica, por se tratar de pontos mais

próximos à foz, com uma maior concentração populacional. A situação é preocupante e traz um alerta, demonstrando, nessas localidades, possíveis conflitos pelo uso do recurso e um processo de insegurança gerado pela possibilidade de escassez hídrica na região em períodos festivos.

A Tabela 20 também apresenta as áreas irrigadas para cultivo de cana-de-açúcar, totalizando uma área de 116,7 ha, atividade preponderante na região. É importante frisar que a área da Bacia Hidrográfica do Rio Niquim é, em quase sua totalidade, ocupada pelo cultivo de cana-de-açúcar. Embora isso não se caracterize como um conflito direto pelo uso da água, o aumento das áreas de cultivo e produção de cana-de-açúcar, ao longo dos anos, pode causar interferência nas vazões disponibilizadas para cada usuário.

5.3 Mapeamento da bacia

5.3.1 Trechos segmentados

A segmentação dos trechos obedeceu aos requisitos propostos na metodologia. Assim sendo, foram selecionados os pontos característicos com relação à importância para a caracterização da bacia. O Rio Niquim apresenta diferentes usos que demandam uma qualidade variada, evidenciando a importância da segmentação do rio em trechos para facilitar a determinação das classes de enquadramento adequadas para cada uso. Considerando os diferentes usos e as classes de uso e ocupação do solo da bacia, a Figura 16 demonstra a segmentação do Rio Niquim em trechos a serem enquadrados posteriormente, o que facilitou o trabalho de campo, direcionando as atividades para as regiões consideradas mais representativas para a bacia.

Figura 16. Segmentação do Rio Niquim em trechos.



Fonte: Autora, 2023.

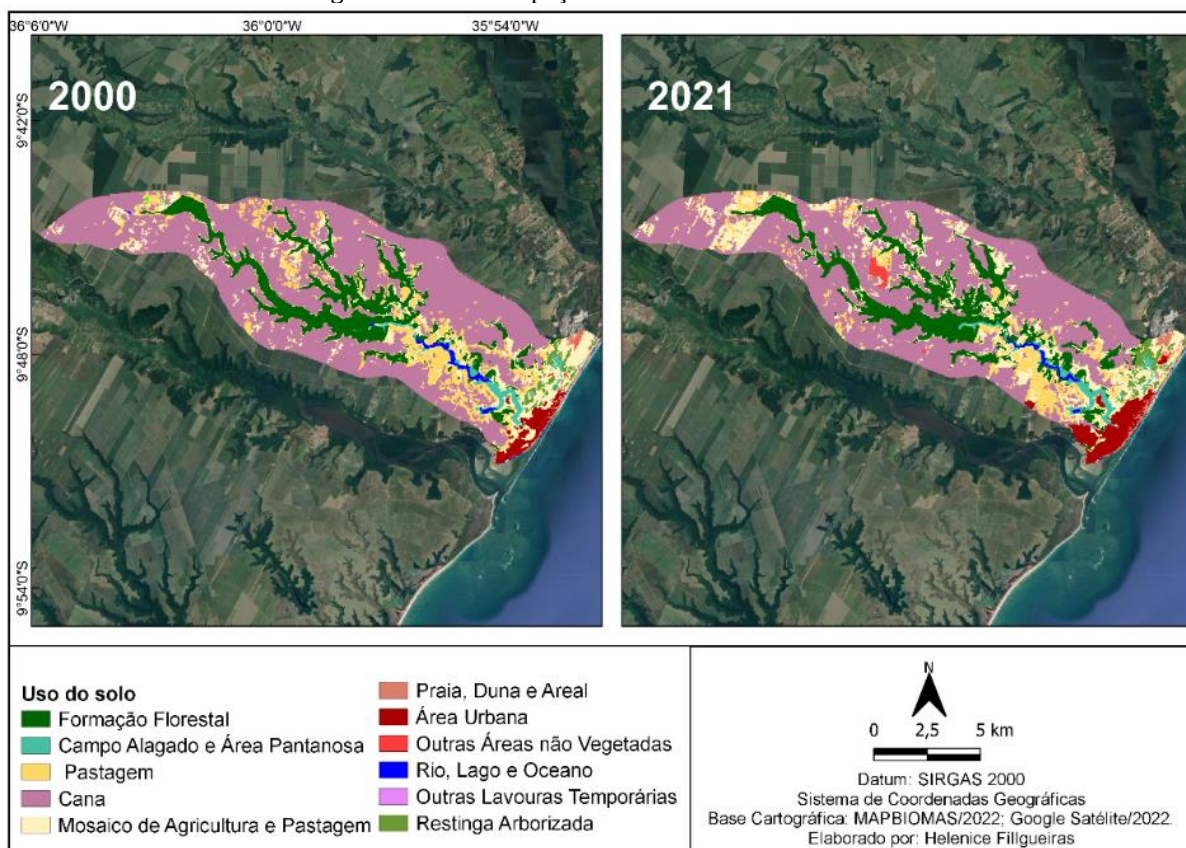
A análise foi realizada de montante para a jusante. Sendo assim, percebe-se que o primeiro trecho está inserido em uma área com presença de área florestada; portanto, necessariamente, sua classe precisa atender aos parâmetros da Classe Especial ou Classe 1. Na sequência, observa-se uma captação para abastecimento público da cidade localizada perto do rio. Usualmente, a classe selecionada para trechos de abastecimento público é a Classe 2, que considera qualidade razoável e um menor investimento de tratamento se comparada à Classe 3. O último trecho, localizado a jusante dos anteriores, recebe o produto do consumo da água na cidade, ou seja, lançamento de efluentes. A carga inserida diminui ainda mais a qualidade do rio, que a esse ponto atinge o patamar de Classe 4.

5.3.2 Uso e ocupação do solo

Para o mapeamento do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio Niquim foram utilizadas imagens de satélite, disponibilizadas pela coleção 7 do Mapbiomas e, por meio dessas imagens, foi possível processar e gerar o mapeamento de uso e ocupação do solo utilizando-se o *Qgis*.

Foram produzidos mapas de uso e cobertura do solo para preceder a análise espacial e temporal da evolução do uso e cobertura do solo, possibilitando a compreensão da intensidade das mudanças na paisagem. A Figura 17 apresenta as classes de uso, considerando as transformações ocorridas durante um período de 21 anos.

Figura 17. Uso e ocupação do solo do ano 2000 e 2021.



Fonte: MAPBIOMAS, 2022.

O Projeto Mapbiomas mapeou 13 classes de uso e ocupação do solo na área da bacia hidrográfica do Rio Niquim. A quantificação das áreas, em km², ocupadas por cada classe, obtida dos mapeamentos temáticos de uso e ocupação do solo, e a diferença entre os períodos em percentuais estão representadas nas Tabelas 21 e 22.

Tabela 21. Série temporal de uso e ocupação do solo da BHRN.

ANO	Área(km ²)											
	FF	S	CA	P	CN	A/P	PDA	AU	ANV	AS	OLT	RA
2000	20,33	0	2,29	14,06	76,85	15,35	0,78	2,50	0,14	1,11	0,15	1,54
2001	20,34	0	2,30	14,47	76,63	15,04	0,83	2,53	0,14	1,10	0,21	1,51
2002	20,49	0	2,23	14,44	76,17	15,04	0,90	2,63	0,12	1,16	0,39	1,53
2003	20,58	0	2,21	13,88	77,13	14,26	0,97	2,91	0,10	1,15	0,43	1,48
2004	20,61	0	2,20	13,88	77,35	13,97	0,99	3,05	0,08	1,14	0,36	1,47
2005	21,08	0	2,23	12,79	78,94	12,74	0,93	3,31	0,08	1,14	0,20	1,66
2006	21,35	0	2,20	11,10	80,5	12,78	0,91	3,19	0,07	1,18	0,23	1,59
2007	20,77	0	2,20	8,64	80,94	14,79	0,95	3,88	0,10	1,15	0,20	1,48
2008	20,68	0	2,25	7,24	82,28	14,69	1,00	3,98	0,10	1,11	0,29	1,48
2009	20,68	0	2,33	7,24	82,37	14,46	1,06	3,98	0,09	1,03	0,38	1,48
2010	20,60	0	2,36	7,9	82,00	14,28	1,08	4,10	0,08	1,00	0,30	1,40
2011	21,55	0	2,36	10,13	81,11	11,94	1,09	4,15	0,05	0,97	0,22	1,53
2012	22,11	0	2,44	12,86	80,34	9,51	1,09	4,16	0,04	0,92	0,11	1,52
2013	22,27	0	2,49	14,15	78,55	9,67	1,04	4,27	0,03	0,89	0,23	1,51
2014	22,79	0,02	2,54	13,87	78,14	9,85	0,96	4,33	0,03	0,84	0,14	1,59
2015	22,98	0,04	2,55	14,48	76,79	10,25	0,97	4,49	0,02	0,83	0,07	1,63
2016	22,91	0,04	2,52	14,37	75,12	11,98	1,00	4,59	0,04	0,83	0,10	1,60
2017	22,82	0,04	2,51	15,77	69,62	16,18	1,03	4,64	0,03	0,81	0,11	1,54
2018	23,06	0,04	2,51	14,42	68,51	18,30	1,02	4,70	0,03	0,81	0,11	1,59
2019	23,43	0,04	2,50	12,56	69,56	18,61	1,01	4,71	0,09	0,81	0,08	1,70
2020	23,32	0,04	2,55	11,85	69,57	19,25	1,02	4,71	0,12	0,79	0,10	1,78
2021	22,38	0	2,57	10,41	69,62	20,88	1,04	4,73	0,85	0,76	0,08	1,78

Fonte: MAPBIOMAS, 2022. Nota: FF- Formação florestal; S - Silvicultura; CA - Campo Alagado; P - Pastagem; CN - Cana; A/P - Agricultura e pastagem; PDA - Praia, dunas e areal; AU - Área urbana; ANV - Área não vegetada; AS - Águas superficiais; OLT- Outras lavouras temporárias; RA - Restinga arborizada.

Tabela 22. Percentual da variação do uso e ocupação do solo.

Classes	Percentual de variação entre (2000-2021)
Formação Florestal	+ 10,08
Silvicultura	0,00
Campo alagado	+ 12,23
Pastagem	-25,96
Cana	-9,41
Agricultura e pastagem	+ 36,03
Praia, dunas e areal	+ 33,33
Área urbana	+ 89,20
Área não vegetada	+ 507,14
Águas superficiais	-31,53
Outras lavouras temporárias	-46,67
Restinga Arborizada	+ 15,58

Fonte: MAPBIOMAS, 2022.

Considerando os dados, o mapeamento do uso e ocupação do solo na bacia (Tabela 21 e Figura 17), a principal classe de uso e ocupação do solo nas séries temporais analisadas foi a classe de cana-de-açúcar, ocupando quase que 60% do total da área da bacia hidrográfica do Rio Niquim. Durante esse período, a classe referente às áreas de silvicultura aparece registrada na área de estudo somente a partir de 2014, contabilizando, a partir dessa data, um aumento de 0,04 km² até 2020. A classe de Mangue representou menos de 0,01% da área da bacia e, por isso, não foi considerada no restante das análises.

Em relação ao período global entre 2000 e 2021 (Tabela 22), notou-se o acréscimo de 507,14% das áreas não vegetadas e agricultura e pastagem de 36,03%, em decorrência da redução, principalmente, das classes de outras lavouras temporárias (46,67%), águas superficiais (31,53%), pastagem (25,96%) e cana-de-açúcar (9,41%). As categorias de áreas com vegetação classificadas como formação florestal e restinga arborizada registraram percentuais de aumento, provavelmente representadas por áreas de reflorestamento.

Já as classes representadas pelas áreas não vegetadas (solo exposto) e áreas urbanas estão concentradas ao sul da área de análise e apresentaram aumento expressivo no percentual de alteração, predominantemente representada pelo município de Barra de São Miguel. O uso e ocupação nesse município exerce papel fundamental preponderante na disponibilidade e qualidade da água do rio, destacando-se os índices de atendimento total, coleta e tratamento de esgoto.

Relacionando a caracterização do uso e ocupação do solo e os dados de outorga, tem-se que as tipologias de uso dos recursos hídricos estão diretamente relacionadas às tipologias de uso do solo. Nota-se aqui que, assim como grande parte da área da bacia é voltada para o cultivo de cana-de-açúcar, por meio das outorgas, 46% dos usos do recurso hídrico estão voltados para irrigações e 31% para outros usos, enquanto 15% são destinados ao abastecimento humano e 8% para o lançamento de efluentes.

Embora o uso e ocupação do solo, representados pelas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, seja de aproximadamente 60%, tem-se, por meio dos dados de outorga, que a captação de água na bacia do Rio Niquim para a irrigação caracteriza em torno de 22,08% da vazão total autorizada para os usos, sendo perceptível o significativo aumento das áreas de cultivo de cana-

de-açúcar ao longo da bacia, podendo comprometer os recursos hídricos dela, devido ao carreamento de compostos à base de fósforo e nitrogênio.

5.4 Estudos técnicos

5.4.1 Estudo de qualidade da água

Para a análise da qualidade da água, os dados dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos estudados foram organizados temporalmente em função do período chuvoso e seco e, especialmente, em função do trecho de coleta. As Tabelas 23, 24 e 25 resumem os dados temporais obtidos espacialmente nos pontos da RNL, RNEC e RNF, respectivamente.

Tabela 23. Valores dos parâmetros de qualidade da água, do período chuvoso e seco, no ponto RNL.

Parâmetros (unidade)		Período Chuvoso			Período Seco		
		Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Físicos	Temperatura (°C)	27,4	28,9	29,9	30,1	30,8	30,4
	Cor (Uc)	42,0	34,0	23,0	31,0	36,0	40,0
	Turbidez (NTU)	2,08	3,13	2,14	16,10	4,54	10,32
	Sólidos totais (mg/L)	96	146	148	154	22	88
	Condutividade (mS/cm)	0,073	0,073	0,059	0,076	0,077	0,077
	Salinidade (ppt)	0	0	0	0	0	0
Químicos	Cloreto (mg/L)	19,17	6	24,44	9,11	19,41	14,26
	OD (mg/L)	5,13	3,35	6,04	6,02	4,68	5,35
	DBO _{5,20} (mg/L)	7,0	0,0	0,0	19,0	6,5	13,0
	DQO (mg/L)	50,98	30,81	44,93	48,96	30,81	39,88
	Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	2,8	49	28	11,2	16,8	14
	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	0,21	5,67	5,67	1,89	0,63	0,26
	Nitrito (mg/L)	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
	Nitrato (mg/L)	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
	Fósforo total (mg/L)	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
	pH	6,21	6,53	5,50	6,19	6,00	6,10
Bact.	Alcalinidade total (mg/L)	30	28,5	12	9	10,5	9,75
	Coliformes Totais (NMP/100 mL)	1.090	770	40	3.230	740	1.985
	Escherichia coli (NMP/100 mL)	220	360	0	210	310	260

Nota: Nd= Não detectado

Tabela 24. Valores dos parâmetros de qualidade da água, do período chuvoso e seco, no ponto RNEC.

Parâmetros (unidade)		Período Chuvoso			Período Seco		
		Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Físicos	Temperatura (°C)	25,69	25,85	27,55	28,08	28,38	26,48
	Cor (Uc)	53	47	26	23	38	55
	Turbidez (NTU)	1,66	2,32	0,7	1,02	0,85	1,87
	Sólidos totais (mg/L)	192	124	146	106	42	82
	Condutividade (mS/cm)	0,055	0,075	0,088	0,092	0,083	0,086

	Salinidade (ppt)	0	0	0	0	0	0
Químicos	Cloreto (mg/L)	19,17	8,63	15,1	13,18	7,91	1,68
	OD (mg/L)	7,64	5,8	5,13	9,47	5,93	9,22
	DBO _{5,20} (mg/L)	3	3	4	10	18	70
	DQO (mg/L)	50,98	28,79	44,93	53,00	34,84	28,79
	Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	8,4	6,02	12,6	9,8	19,6	16,8
	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	1,68	4,83	1,26	1,26	1,47	1,05
	Nitrito (mg/L)	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
	Nitrato (mg/L)	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
	Fósforo total (mg/L)	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
	pH	5,26	5,01	6,62	5,57	5,57	5,09
	Alcalinidade total (mg/L)	15	7,5	13,5	13,5	6	13,5
Bact.	Coliformes Totais (NMP/100 mL)	615	500	20	620	1320	2220
	Escherichia coli (NMP/100 mL)	90	110	10	170	70	120

Nota: Nd= Não detectado

Tabela 25. Tabela 25. Valores dos parâmetros de qualidade da água, do período chuvoso e seco, no ponto RNF.

Parâmetros (unidade)		Período Chuvoso			Período Seco		
		Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Físicos	Temperatura (°C)	25,77	26,23	27,22	28,14	28,62	26,43
	Cor (Uc)	82	83	43	35	65	94
	Turbidez (NTU)	1,56	3,6	4,34	2,46	3,2	3,38
	Sólidos totais (mg/L)	2.680	162	482	404	316	108
	Condutividade (mS/cm)	4,26	0,2	0,98	0,83	0,8	0,23
	Salinidade (ppt)	2,3	0,1	0,5	0,4	0,4	0,1
Químicos	Cloreto (mg/L)	139,94	60,39	121,73	94,89	107,35	14,38
	OD (mg/L)	18,19	3,83	3,65	2,33	3,84	4,5
	DBO _{5,20} (mg/L)	6	3	37	9,3	16,4	26,8
	DQO (mg/L)	53	46,95	24,76	24,76	40,9	50,98
	Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	25,2	81,2	35,7	16,8	5,6	72,8
	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	3,57	10,08	9,66	1,05	1,68	0,63
	Nitrito (mg/L)	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
	Nitrato (mg/L)	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
	Fósforo total (mg/L)	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
	pH	5,66	5,92	6,27	5,83	6,36	5,65
	Alcalinidade total (mg/L)	28,5	13,5	12	25,5	7,5	16,5
Bact.	Coliformes Totais (NMP/100 mL)	13.570	3.750	370	28.560	21.600	15.800
	Escherichia coli (NMP/100 mL)	6.900	1.100	90	20.400	6.000	9.400

Nota: Nd= Não detectado

No ponto RNL, verificou-se os maiores valores de temperatura em relação aos demais pontos. Mesmo não constando nas legislações, a temperatura da água do rio variou em função da sazonalidade, sendo as maiores temperaturas observadas no período seco, época do ano com registro de maiores temperaturas atmosféricas.

A legislação não estabelece limite para cor aparente. Com isso, foi utilizado o limite estabelecido para cor verdadeira. Nos pontos RNL e RNEC, a cor apresentou valores em conformidade com a resolução CONAMA 357/05. Entretanto, durante alguns meses, o ponto

RNF apresentou valores acima do recomendado, podendo estar relacionado ao aumento da concentração de substâncias que conferem a coloração da água, carreadas pelo escoamento superficial, de sedimentos, nutrientes e contaminantes para a rede de drenagem.

A turbidez, nos três pontos de monitoramento, apresentou conformidade e permaneceu dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, tanto para Classe 1 quanto para Classe 2. Verificou-se que os valores de turbidez foram maiores no ponto com influência direta do cultivo de cana-de-açúcar e da agricultura, quando comparado com os valores obtidos para os pontos de coleta sob influência de atividades turísticas (início da área urbana).

No ponto RNL, os valores do pH apresentaram inconformidade com aqueles indicados pela Resolução CONAMA 357/05 – valores inferiores aos limites para todas as classes de água. Contudo, apenas esses valores baixos de pH não caracterizam poluição, podendo ser características naturais locais. Os outros pontos indicaram conformidades apenas no mês de setembro no ponto RNEC, e nos meses de setembro e novembro no ponto RNF, apresentando valores próximos ao limite inferior da CONAMA nº 357/05 para as classes de 1 a 4.

No ponto RNEC, os valores de OD permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 para mananciais de Classe 2, cujo limite inferior é 5 mg/l. Já os pontos RNL e RNF apresentaram variações nos valores de OD, em que os menores valores estiveram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 para mananciais de Classe 4, cujo limite inferior é 2 mg/L.

Quanto aos nutrientes, nitrogênio e fósforo, não foi verificada a presença de nitrito, nitrato e fósforo na água durante todo o período de monitoramento em nenhum dos pontos, e o nitrogênio amoniacal verificado esteve fora dos limites estabelecidos pela Resolução, em alguns meses do período chuvoso. No entanto, a maioria dos valores estão dentro dos limites estabelecidos para as classes 1 e 2.

No que diz respeito à presença de matéria orgânica na água, a Resolução 357/05 do CONAMA faz referência apenas à DBO_{5,20}. No entanto, sabe-se que a DQO é sempre maior que a DBO_{5,20}. No ponto RNL, os valores de DQO estiveram dentro dos limites estabelecidos para a DBO_{5,20}, pela Resolução CONAMA nº 357/05 para mananciais de classe 2 a 4, cujo

limite máximo varia de 3 a 10 mg/L. Já os pontos RNEC e RNF apresentaram valores maiores que os do ponto RNL, mas ainda dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 para mananciais de classe 1 a 4, com maiores valores no período seco. A prática do turismo e lazer, na região litorânea (próximo ao ponto RNF), é a maior responsável por esse cenário de maior presença de matéria orgânica, uma vez que casas de veraneios, pousadas e restaurantes fazem o descarte “*in natura*” de seus efluentes nos corpos d’água, conforme demonstra a Figura 18.

Figura 18. Descarte de esgoto in natura no ponto de coleta RNF do Rio Niquim.



Fonte: Autora, 2022.

Quanto ao parâmetro cloreto, em todos os pontos os valores estiveram sempre abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05, para qualquer classe. Mas percebe-

se que a concentração aumenta gradativamente ao longo do curso do Rio, tendo as maiores concentrações sido observadas no trecho da foz e no período chuvoso.

Em relação aos parâmetros biológicos, em todos os pontos os valores estiveram acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05, para qualquer classe, sendo que a concentração aumenta gradativamente ao longo do curso do Rio. Quanto às maiores concentrações, essas foram verificadas no trecho da foz e no período chuvoso.

Pimentel (2007) analisou parâmetros físico-químicos em três trechos ao longo da BHRN. Os valores de temperatura, a cor e a turbidez aumentam ao longo do percurso do Rio, dentro do estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05, tanto para Classe 1 quanto para Classe 2. Os valores do OD estiveram constantes entre as campanhas e entre os trechos; os valores de DQO aumentam entre as campanhas e entre os trechos, ressaltando que – de agosto a novembro – houve uma degradação na qualidade da água quanto à presença de matéria orgânica, e que este fato, provavelmente, está relacionado ao início do corte da cana, carreando, consequentemente, matéria orgânica para o leito do Rio.

Bezerra, Freire & Pereira (2020) analisaram a qualidade da água do trecho do Rio Niquim, com as amostras coletadas em duas campanhas, uma realizada antes (Cenário 1) e a outra após (Cenário 2) o fim de semana. Nessas análises, foi constatado o aumento da turbidez e da $DBO_{5,20}$ e a redução do oxigênio dissolvido no Cenário 2. Tal resultado foi justificado devido à presença de banhistas e o despejo de resíduos no manancial.

5.4.2 Estudo hidrológico

De acordo com Alagoas (2003), o Rio Niquim apresenta uma vazão de referência (Q_{90}) de $0,47 \text{ m}^3/\text{s}$, incapaz de suprir as demandas hídricas nos períodos de verão e épocas festivas no município da Barra de São Miguel – cidade abastecida pelo Rio Niquim. Entretanto, os dados coletados mostram as condições hidráulicas das seções do Rio, tais como velocidade média, área molhada, vazão, largura superficial e profundidade média, nas seções avaliadas do Rio, estão apresentados na Tabela 26.

Tabela 26. Vazões observadas nos pontos de monitoramento RNEC e RNF.

Pontos de monitoramento	Medições	Período Chuvoso			Período Seco	
		Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
RNEC	Velocidade média (m/s)	0,688	0,559	0,682	0,451	0,947
	Área molhada(m ²)	5,06	6,98	6,88	6,29	3,43
	Vazão (m ³ /s)	3,48	3,906	4,696	2,835	3,244
	Largura superficial (m)	3,3	8,2	8,3	7,9	5,6
	Profundidade média (m)	1,53	0,85	0,83	0,8	0,61
RNF	Velocidade média (m/s)	0,424	0,409	0,444	0,416	0,425
	Área molhada(m ²)	7,53	7,46	9,13	7,08	7,65
	Vazão (m ³ /s)	3,323	3,051	4,048	2,943	3,25
	Largura superficial (m)	15,27	15	17,25	13,2	15,62
	Profundidade média (m)	0,52	0,5	0,53	0,54	0,49

De acordo com os dados apresentados na Tabela 26, observa-se que no ponto RNEC a vazão líquida variou entre 4,696 e 2,835 m³/s. A velocidade da água foi menor na coleta realizada em outubro de 2022 (0,451m/s), data também em que a vazão foi menor (2,835m³/s), enquanto a maior velocidade foi verificada na coleta realizada no mês de novembro de 2022 (0,947m/s), cuja vazão foi de 3,244 m³/s. O trecho do ponto de monitoramento RNEC é mais estreito, o que confere maior velocidade às suas águas no trecho do ponto RNF. Apesar do maior comprimento de leito e, conseqüentemente, maior área de escoamento, suas águas são mais tranquilas.

No ponto RNF, a velocidade não apresentou variação significativa, alterando de 0,409 a 0,444 m/s. A vazão variou entre 2,943 e 4,048 m³/s. A maior velocidade foi verificada na coleta realizada no mês de setembro de 2022 (0,444 m/s), cuja vazão foi de 4,048 m³/s. As medidas da seção transversal dos pontos são diferentes, ou seja, no ponto RNF, as medidas de área molhada, largura são maiores e a profundidade menor. Nesse ponto, o Rio se torna cerca de duas vezes mais largo do que o ponto a montante, porém a velocidade da água nesse ponto é menor, o que torna a vazão ter valores baixos.

Pimentel (2007), em seu estudo, obteve valores de vazão no ponto da estação linimétrica (Tabela 27), em que observou a variação da vazão entre 1,06 m³/s e 1,92 m³/s. Mesmo as demandas sendo inferiores à disponibilidade, já existia a necessidade urgente de gestão dos recursos hídricos e a revisão nos procedimentos de adoção da vazão de referência para outorga, que adotava um único valor para todo o ano – quando é de conhecimento que as demandas são variáveis ao longo do ano.

Tabela 27. Vazões observadas nas campanhas de medição no ponto da estação linimétrica da CASAL.

Data	Leitura régua	Comprimento da seção	Área da seção	Perímetro molhado	Raio hidráulico	Vazão (m ³ /s)	Velocidade média (m/s)
7/12/05	102 cm	3,2 m	4,33 m ²	5,45 m	0,79 m	1,274	0,29
16/1/06	98 cm	3,4 m	4,47 m ²	5,56 m	0,80 m	1,236	0,27
21/1/06	100 cm	3,8 m	3,46 m ²	5,37 m	0,64 m	1,138	0,32
26/1/06	88 cm	3,6 m	3,29 m ²	5,17 m	0,63 m	1,081	0,32
3/2/06	83 cm	3,8 m	3,31 m ²	5,32 m	0,62 m	1,06	0,31
8/2/06	86 cm	4,0 m	3,47 m ²	5,50 m	0,63 m	1,14	0,32
29/5/06	101 cm	3,8 m	3,84 m ²	5,63 m	0,68 m	1,924	0,50
5/10/06	86 cm	4,2 m	3,39 m ²	5,58 m	0,61 m	1,428	0,42
2/11/06	83 cm	4,2 m	3,12 m ²	5,52 m	0,56 m	1,184	0,38
6/11/06	83 cm	4,2 m	3,09 m ²	5,70 m	0,54 m	1,234	0,40
17/11/06	71 cm	4,2 m	3,38 m ²	5,61 m	0,60 m	1,478	0,44
25/11/06	72 cm	4,0 m	3,30 m ²	5,67 m	0,58 m	1,419	0,43

Fonte: PIMENTEL, 2007.

O ponto de monitoramento de Pimentel (2007) é o mesmo ponto RNEC do presente estudo. Comparando os dados, observa-se um aumento da vazão e da velocidade média, que pode contribuir para disponibilidade hídrica ou para o arrasto de partículas que comprometem a qualidade da água. Embora as vazões atuais sejam superiores aos dados da Tabela 27, ainda existe a necessidade da gestão dos recursos hídricos para um horizonte muito próximo.

5.5 Análises e apresentação do prognóstico

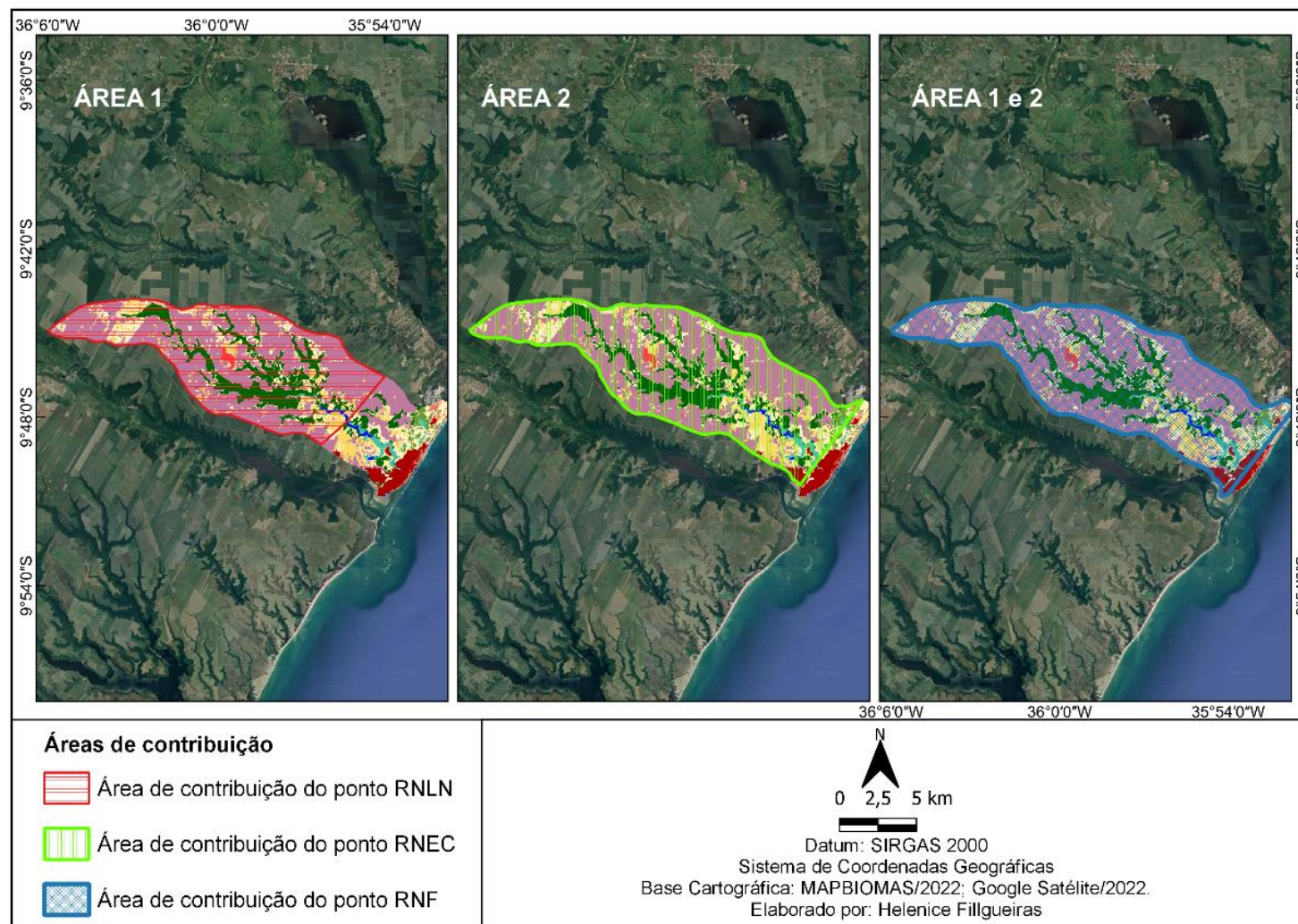
5.5.1 Análise do uso e ocupação do solo

O uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas influenciam na qualidade dos recursos hídricos, bem como nos processos físicos e biológicos. Nesse sentido, buscou-se verificar se o uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Niquim influencia na qualidade da água.

Para essa análise, a bacia do Rio Niquim foi dividida em três áreas de contribuição, considerando a localização dos pontos amostrais de água. Dessa forma, foi possível associar o uso e ocupação do solo com os resultados da qualidade da água dos pontos amostrais. A divisão dessas áreas é apresentada na Figura 19, sendo que a área de contribuição do ponto RNLN

compreende a área 1; no ponto RNEC abrange as áreas 1 e 2; e o último ponto amostral de água (RNF) considera quase a bacia toda.

Figura 19. Uso e ocupação do solo e áreas de contribuição da bacia do Rio Niquim.



Fonte: Autora, 2023.

A Tabela 28 apresenta o uso e ocupação do solo nas áreas de contribuição dos pontos amostrais de água. Cabe ressaltar que a caracterização do uso e ocupação do solo no ano de 2021 está descrita no subitem 5.1.3.

Tabela 28. Uso e ocupação do solo nas áreas de contribuição dos pontos amostrais em 2021.

Classes	RNL		RLEC		RNF	
	Área(km ²)	%	Área(km ²)	%	Área(km ²)	%
Formação Florestal	19,47	14,41	22,37	16,56	22,42	16,60
Campo alagado	0,6	0,44	2,33	1,72	2,56	1,89
Praia, dunas e areal	0,0	0,0	0,22	0,16	0,38	0,28
Águas superficiais	0,29	0,21	0,66	0,49	0,66	0,49
Restinga arborizada	0,0	0,0	0,97	0,72	1,67	1,24
Pastagem	6,44	4,777	10,18	7,54	10,33	7,65
Cana	60,64	44,89	69,12	51,16	69,19	51,21
Agricultura e pastagem	14,11	10,44	18,81	13,92	20,68	15,31
Área urbana	0,0	0,0	1,1	0,81	3,33	2,46
Área não vegetada	0,67	0,5	0,72	0,53	0,85	0,63
Outras lavouras temporárias	0,06	0,04	0,08	0,06	0,08	0,06

A Tabela 29 apresenta, resumidamente, os valores dos parâmetros avaliados na água dos pontos de monitoramento do Rio Niquim.

Tabela 29. Resumo dos valores médios dos parâmetros da água nos pontos amostrais.

Parâmetros/Pontos		RNL	RNEC	RNF
Físicos	Temperatura (°C)	29,6	27,0	27,1
	Cor (Uc)	34,3	40,3	67,0
	Turbidez (NTU)	6,38	1,40	3,09
	Sólidos totais (mg/L)	109	115,3	692
	Condutividade (mS/cm)	0,07	0,08	1,22
	Salinidade (ppt)	0,0	0,0	0,63
Químicos	Cloreto (mg/L)	15,40	10,95	89,78
	OD (mg/L)	5,06	7,20	6,06
	DQO (mg/L)	41,1	40,2	40,2
	DBO (mg/L)	7,6	18,0	16,4
	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	2,39	1,93	4,44
	Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	20,3	12,2	39,55
	pH	6,09	5,54	5,95
	Alcalinidade total (mg/L)	16,62	11,50	17,25
Bact.	Coliformes Totais - CT (NMP/100 mL)	1.309	883	1.3942
	Escherichia coli – EC (NMP/100 mL)	227	95	7.315

No último ponto (RNF), os parâmetros cor, salinidade, condutividade, alcalinidade, cloreto, nitrogênio amoniacal, NTK, coliformes totais, *E. coli* e sólidos totais aumentaram e o pH diminuiu, em relação aos outros pontos amostrais. O aumento desses parâmetros indica diminuição da qualidade do corpo hídrico. Nesse ponto amostral, verifica-se transporte de despejos domésticos pela água das chuvas até o Rio. Esses despejos podem estar relacionados à expansão das áreas urbanas, agrícolas e áreas não vegetadas. Na área de contribuição do ponto, 77,32% são caracterizadas por áreas antropizadas, destinadas para cultivo de cana-de-açúcar, expansão da agricultura, pecuária, área urbana e não vegetada, sendo assim, responsável pelo aumento da quantidade de matéria orgânica na água no trecho da foz.

A presença de matéria orgânica no ponto RNEC também é evidenciada pelos valores de OD e $\text{DBO}_{5,20}$ e indicam carga de matéria orgânica no Rio. A carga orgânica nesse ponto pode estar relacionada com matéria orgânica vegetal e animal ou com a decomposição do solo, considerando que a área de contribuição do ponto RNEC antecede a expansão da área urbana, mas possui 66,48% de área antropizada – com destaque as áreas de cultivo de cana-de-açúcar (51,16%) e agricultura e pastagem (13,92%).

No ponto RNL, as concentrações de turbidez e DQO foram maiores do que os outros pontos ao longo de Rio, haja vista que esse ponto possui uma área natural maior e uma área antropizada menor do que os outros pontos, favorecendo as áreas de formação florestal e sem nenhuma influência de áreas urbanas. No entanto, possui 60,64% da área destinada ao cultivo de cana e 14,11% para agricultura e pastagem, o que favorece o aumento desses parâmetros nesse ponto. Ainda, esses parâmetros podem estar relacionados com matéria orgânica vegetal e animal ou com a decomposição do solo, provenientes das áreas de cultivo de cana-de-açúcar.

Em geral, as áreas de contribuição dos três pontos demonstraram predominância de áreas destinadas aos cultivos de cana-de-açúcar e isso explica as cargas orgânicas no corpo hídrico. Além disso, a carga de matéria orgânica possivelmente está relacionada tanto com a decomposição do solo e matéria de origem vegetal ou animal, como por despejos domésticos evidenciados pelos parâmetros $\text{DBO}_{5,20}$, Oxigênio Dissolvido (OD) e Coliformes Totais (CT) e *E-coli* (EC).

5.5.2 Análise estatística da qualidade da água

Os parâmetros de qualidade da água também foram avaliados estatisticamente. Nas Tabelas 30, 31 e 32 são apresentadas as estatísticas descritivas dos parâmetros, por ponto de monitoramento. Para cada ponto, foram calculados os valores mínimos e máximos, a média, o erro padrão, o desvio padrão, para cada parâmetro, agrupados por período chuvoso (C) e seco (S).

Tabela 30. Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água, no ponto de amostragem RNL.

Parâmetros (unidade)	Mínimo		Máximo		Mediana		Média		Desvio padrão	
	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S
Temperatura (°C)	30,1	7,39	30,78	29,89	30,44	28,92	30,44	28,733	0,34	1,26
Cor (Uc)	31	23	40	42	36	34,00	35,67	33	4,51	9,54
Turb (NTU)	4,54	2,08	16,1	3,13	10,32	2,14	10,32	2,45	5,78	0,59
Sol.Totais (mg/L)	22	96	154	148	88	146	88	130	66	29,5
Condutiv. (mS/cm)	0,076	0,059	0,077	0,073	0,077	0,073	0,077	0,0683	0,00058	0,0081
Salinidade (ppt)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl ⁻ (mg/L)	9,11	6	19,41	24,44	14,26	19,17	14,26	16,54	5,15	9,5
OD (mg/L)	4,68	3,35	6,02	6,04	5,35	5,13	5,35	4,84	0,67	1,368
DBO (mg/L)	6,5	0	19	7	13	0	12,83	2,33	6,25	4,04
DQO (mg/L)	30,81	30,81	48,96	50,98	39,88	44,93	39,88	42,24	9,08	10,35
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,260	0,21	1,89	5,67	0,63	5,67	0,927	3,85	0,855	3,15
NTK (mg/L)	11,20	2,8	16,8	49	14,00	28	14	26,6	2,80	23,1
pH	6	5,5	6,19	6,53	6,1	6,21	6,097	6,08	0,095	0,527
Alcal.T (mg/L)	9,00	12	10,5	30	9,75	28,50	9,75	23,5	0,75	9,99
CT (NMP/100mL)	740	40	3.230	1.090	1.985	770	1.985	633	1.245	538
EC (NMP/100mL)	210	0	310	360	260	220	260	193	50	181

Tabela 31. Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água, no ponto de amostragem RNEC.

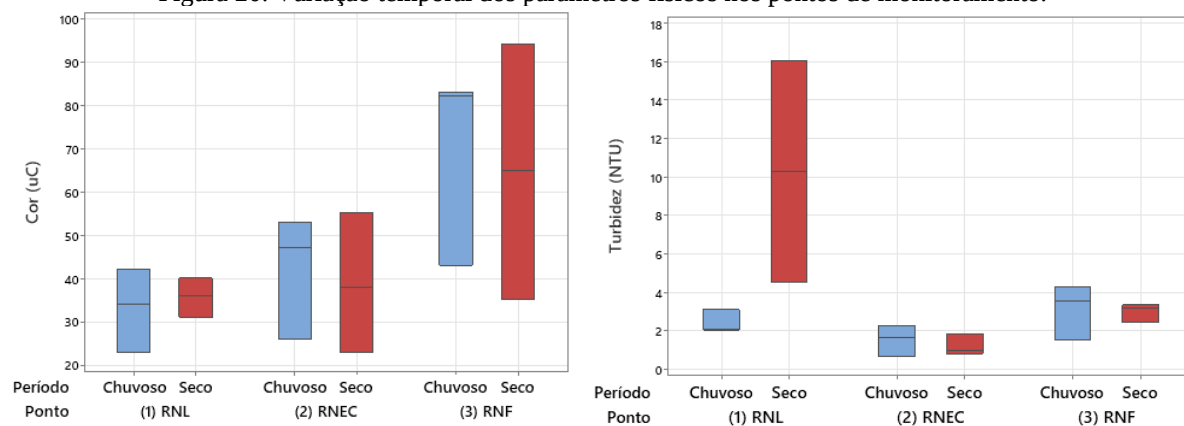
Parâmetros (unidade)	Mínimo		Máximo		Mediana		Média		Desvio padrão	
	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S
Temperatura (°C)	25,69	26,48	27,55	28,38	25,85	28,08	26,36	27,647	1,031	1,021
Cor (Uc)	26	23	53	55	47	38	42	38,67	14,18	16,01
Turb (NTU)	0,7	0,85	2,32	1,87	1,66	1,02	1,56	1,247	0,815	0,546
Sol.Totais (mg/L)	124	42	192	106	146	82	154	76,7	34,7	32,3
Condutiv. (mS/cm)	0,055	0,083	0,088	0,092	0,075	0,086	0,073	0,087	0,01662	0,0046
Salinidade (ppt)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl ⁻ (mg/L)	8,63	1,68	19,17	13,18	15,1	7,91	14,3	7,59	5,32	5,76
OD (mg/L)	5,13	5,93	7,64	9,47	5,8	9,22	6,19	8,21	1,3	1,98
DBO (mg/L)	3	10	4	70	3	18	3,33	32,7	0,577	32,6
DQO (mg/L)	28,79	28,79	50,98	53	44,93	34,84	41,57	38,88	11,47	12,6
NH ₄ ⁺ (mg/L)	1,26	1,05	4,83	1,47	1,68	1,26	2,59	1,26	1,95	0,21
NTK (mg/L)	6,02	9,8	12,6	19,6	8,4	16,8	9,01	15,4	3,33	5,05
pH	5,01	5,09	6,62	5,67	5,26	5,57	5,63	5,443	0,866	0,31
Alcal.T (mg/L)	7,5	6	15	13,50	13,5	13,5	12	11	3,97	4,33
CT (NMP/100mL)	20	620	615	2.220	500	1.320	378	1.387	316	802
EC (NMP/100mL)	10	70	110	170	90	120	70	120	52,9	50

Tabela 32. Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água, no ponto de amostragem RNF.

Parâmetros (unidade)	Mínimo		Máximo		Mediana		Média		Desvio padrão	
	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S
Temperatura (°C)	25,8	26,4	27,2	28,6	26,2	28,1	26,4	27,7	0,74	1,15
Cor (Uc)	43	35	83	94	82	65	69,3	64,7	22,8	29,5
Turb (NTU)	1,56	2,46	4,34	3,38	3,6	3,2	3,167	3,013	1,44	0,488
Sol.Totais (mg/L)	162	108	2.680	404	482	316	1.108	276	1.371	152
Condutiv. (mS/cm)	0,2	0,23	4,26	0,83	0,98	0,8	1,81	0,62	2,15	0,338
Salinidade (ppt)	0,1	0,1	2,3	0,4	0,5	0,4	0,97	0,3	1,172	0,173
Cl ⁻ (mg/L)	60,4	14,4	139,9	107,3	121,7	94,9	107,4	72,2	41,7	50,5
OD (mg/L)	3,65	2,33	18,19	4,5	3,83	3,8	8,56	3,557	8,34	1,112
DBO (mg/L)	3,0	9,3	37,0	26,8	6,0	16,4	15,3	17,5	18,8	8,8
DQO (mg/L)	24,76	24,76	53	50,98	46,95	40,9	41,57	38,88	14,87	13,23
NH ₄ ⁺ (mg/L)	3,57	0,63	10,08	1,68	9,66	1,05	7,77	1,12	3,64	0,528
NTK (mg/L)	25,2	5,6	81,2	72,8	35,7	16,8	47,4	31,7	29,8	36,0
pH	5,66	5,65	6,27	6,36	5,92	5,83	5,95	5,947	0,306	0,369
Alcal.T (mg/L)	12,0	7,5	28,5	25,5	13,5	16,5	18,0	16,5	9,12	9,0
CT (NMP/100mL)	370	15.800	13.570	28.560	3.750	21.600	5.897	21.987	6.857	6.389
EC (NMP/100mL)	90	6.000	6.900	20.400	1.100	9.400	2.697	11.933	3.675	7.527

Os dados qualitativos também foram ilustrados por meio de gráficos (Figuras 20, 21 e 22), para facilitar a visualização e interpretação dos dados nos períodos chuvoso e seco.

Figura 20. Variação temporal dos parâmetros físicos nos pontos de monitoramento.



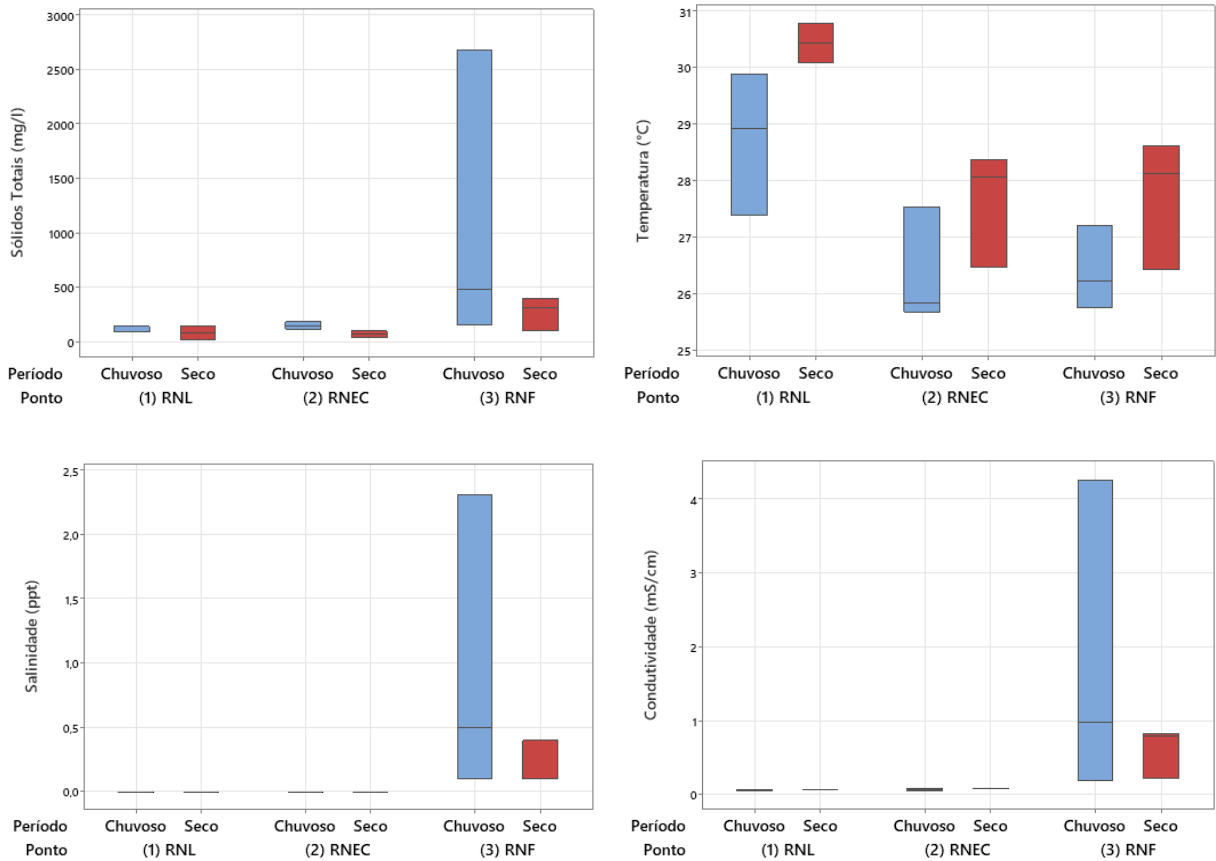
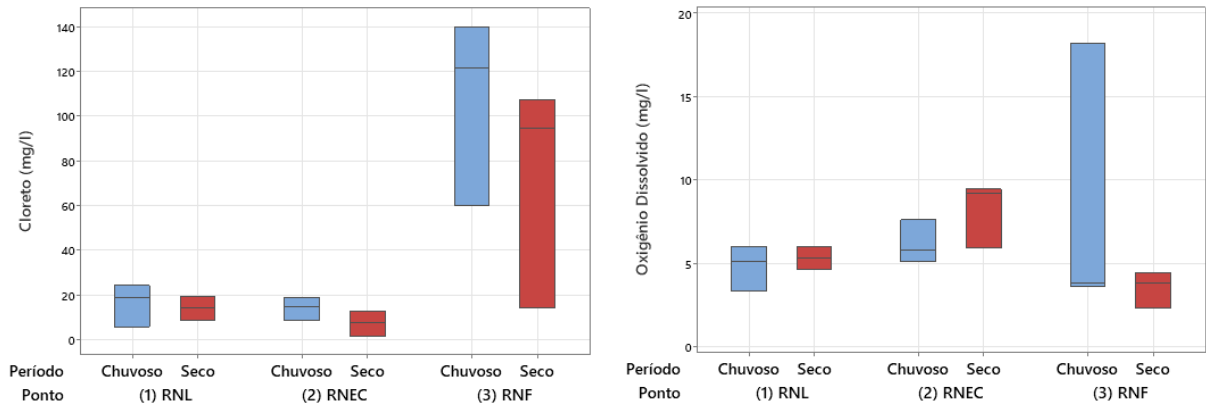


Figura 21. Variação temporal dos parâmetros químicos nos pontos de monitoramento.



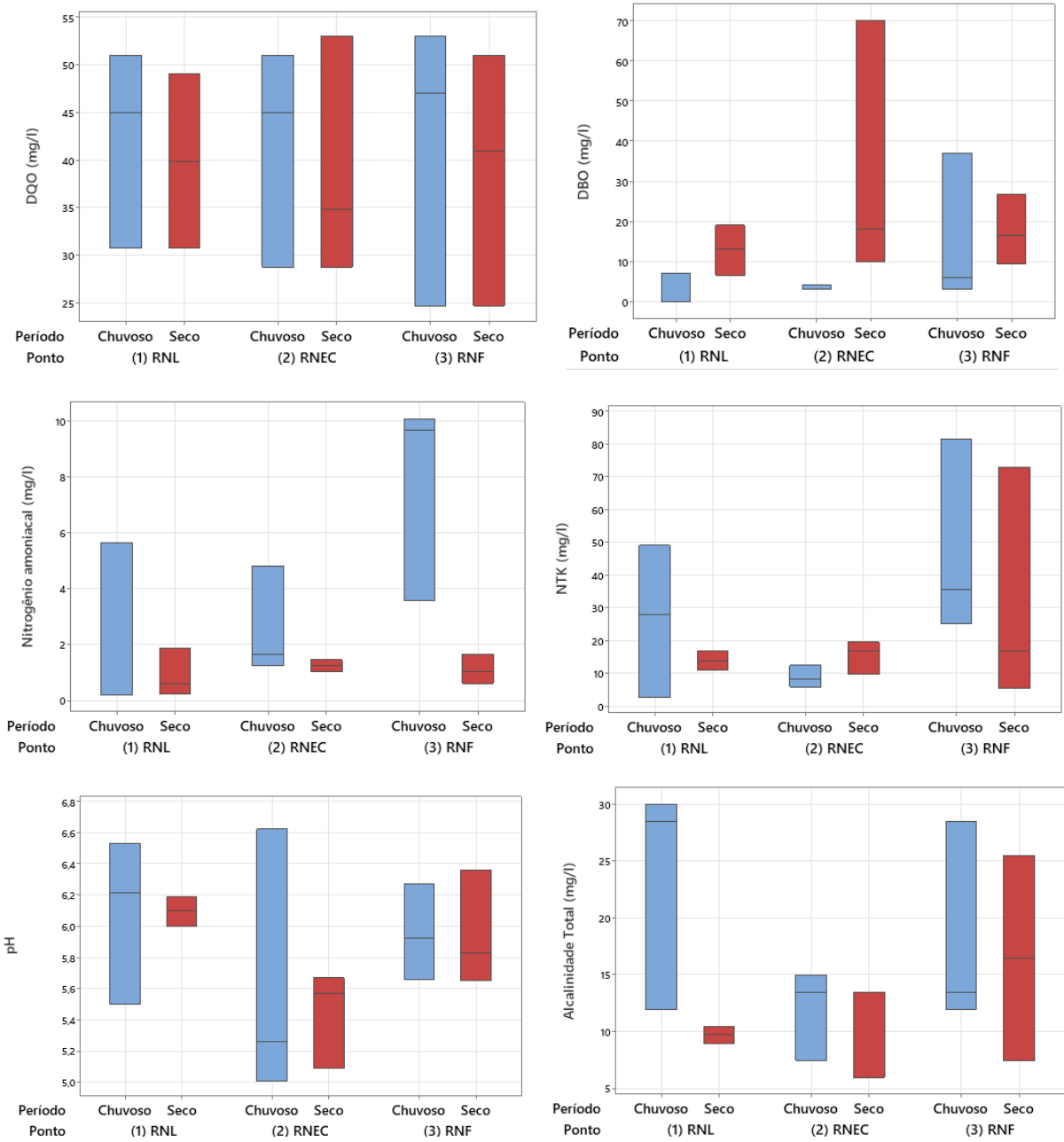
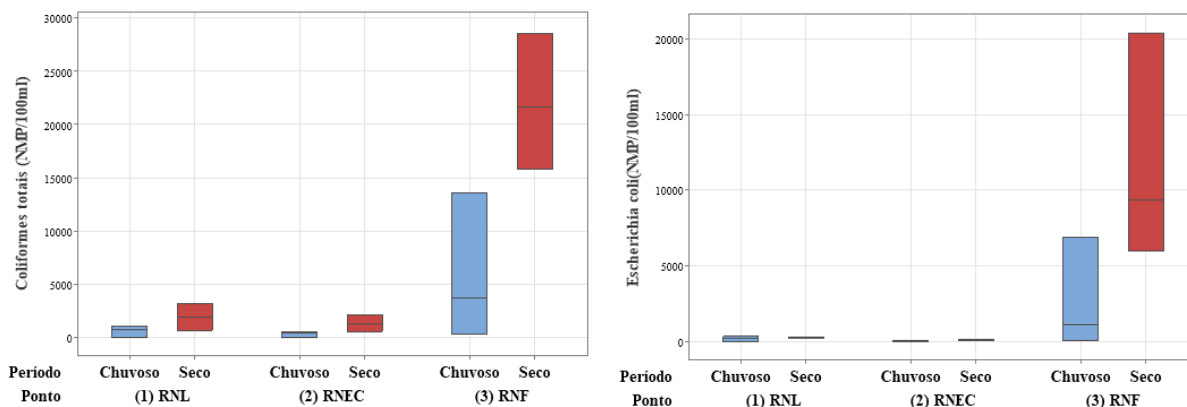


Figura 22. Variação temporal dos parâmetros bacteriológicos nos pontos de monitoramento.



Por meio da análise gráfica dos parâmetros de qualidade da água, no ponto RNL, nos períodos secos e chuvosos, observa-se que os valores apresentados são maiores no período chuvoso para os parâmetros cor, sólidos totais, pH, alcalinidade total, cloreto, DQO, N-amoniacal e N-NTK. No período seco, os valores apresentados são maiores para os parâmetros temperatura, DBO, coliformes totais e *Escherichia coli*.

No ponto RNEC, nos períodos secos e chuvosos, observa-se que os valores apresentados são maiores no período chuvoso para os parâmetros sólidos totais, pH, alcalinidade total, cloreto e nitrogênio amoniacal. Já no período seco, para os parâmetros cor, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, DQO, DBO, coliformes totais e *Escherichia coli*.

No ponto RNF, nos períodos secos e chuvosos, observa-se que os valores apresentados são maiores no período chuvoso para os parâmetros turbidez, sólidos totais, salinidade, condutividade, oxigênio dissolvido, DQO, DBO, alcalinidade total, cloreto, nitrogênio amoniacal e NTK. No período seco, nota-se os parâmetros cor, temperatura, pH, coliformes totais e *Escherichia coli*.

5.5.3 Análise sazonal

A sazonalidade dos dados foi verificada utilizando os testes T-Student (para os paramétricos) e Mann-Whitney (para os não-paramétricos), a fim de observar diferenças

significativas entre os dados medidos nos períodos secos e chuvoso (Tabela 33). A série de dados dos parâmetros de qualidade da água que possuem uma tendência sazonal de alteração estatisticamente significativa são aqueles que apresentam p -valor menor que 0,05 ($p < 0,05$).

Tabela 33. Resultados da análise estatística de variação temporal dos parâmetros de qualidade da água nos três pontos de monitoramento.

	Parâmetros (unidade)	p -valor (RNL)	p -valor (RNEC)	p -valor (RNF)
Físicos	Temperatura (°C)	0,152	0,223	0,193
	Cor (Uc)	0,704	0,805	0,842
	Turbidez (NTU)	0,144	0,619	0,877
	Sólidos Totais (mg/L)	0,42	0,067	0,383
	Condutividade (mS/cm)	0,072	0,287	0,663
	Salinidade (ppt)	-	-	0,5
Químicos	Cloreto (mg/L)	0,739	0,235	0,421
	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,621	0,236	1,000
	DBO (mg/L)	0,092	0,077	0,873
	DQO (mg/L)	0,786	0,038	0,83
	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,261	0,268	0,089
	Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	0,448	0,165	0,603
	pH	0,962	0,759	0,991
	Alcalinidade Total (mg/L)	0,081	0,643	0,852
Bact.	Coliformes Totais (NMP/100 mL)	0,226	0,18	0,059
	Escherichia coli (NMP/100 mL)	0,602	0,32	0,196

As análises estatísticas dos dados coletados quase não apresentaram variações significativas entre os períodos chuvoso e seco, nos pontos de monitoramento. A variação temporal influenciou na concentração de DQO no ponto RNEC. A DQO é um dos parâmetros utilizados para a medição do consumo de oxigênio, que indica a presença de matéria orgânica no corpo hídrico, indispensável nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais.

De modo geral, os valores de DQO são menores na lagoa e aumentam gradativamente até o último ponto, ou seja, a carga de matéria orgânica aumenta no sentido da foz. O aumento do parâmetro DQO representa o aumento do teor de toda a matéria orgânica oxidável presente na água e esse aumento pode estar relacionado com a matéria orgânica vegetal ou animal, microrganismos, despejos domésticos ou industriais (VON SPERLING, 2014). Porém, verifica-se que no trecho do Rio não há existência de indústrias que poderiam estar relacionadas com efluentes industriais.

5.5.4 Análise espacial

Os dados de qualidade da água foram comparados estatisticamente entre os pontos de monitoramento, considerando os valores mensais, haja vista os períodos secos e chuvosos (Tabela 34). Assim, como na análise da variação temporal, a série de dados dos parâmetros de qualidade da água que possuem uma tendência espacial de alteração estatisticamente significativa são aqueles que apresentam p-valor menor que 0,05 ($p < 0,05$).

Tabela 34. Resultado da análise estatística da variação espacial dos parâmetros de qualidade entre os três pontos de monitoramento.

Parâmetros (unidade)		Período chuvoso <i>p</i> -valor	Período seco <i>p</i> -valor
Físicos	Temperatura (°C)	0,802	0,354
	Cor (Uc)	0,548	0,430
	Turbidez (NTU)	0,511	0,027
	Sólidos Totais (mg/L)	0,099	0,113
	Condutividade (mS/cm)	0,059	0,027
	Salinidade (ppt)	0,067	0,067
Químicos	Cloreto (mg/L)	0,063	0,058
	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,646	0,409
	DBO (mg/L)	0,378	0,67
	DQO (mg/L)	0,956	0,882
	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,736	0,276
	Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	0,084	0,875
	pH	0,447	0,297
	Alcalinidade Total (mg/L)	0,522	0,045
Bact.	Coliformes Totais (NMP/100 mL)	0,329	0,061
	Escherichia coli (NMP/100 mL)	0,315	0,027

Os resultados apontaram que, no período chuvoso, não há existência de diferença significativa estatística entre os pontos de monitoramento para todos os parâmetros. Entretanto, no período seco, há diferença significativa nos valores de turbidez, condutividade, alcalinidade e Escherichia coli, entre os três pontos de monitoramento – RNL, RNEC e RNF.

A variação entre os pontos de monitoramento deve-se às contribuições ao longo do curso do Rio Niquim, decorrentes das atividades antrópicas que caracterizam o uso e ocupação do solo, sendo predominante as contribuições provenientes de áreas de cultivo de cana-de-açúcar e expansão das áreas urbana e não vegetada, assim como aquelas advindas de esgotos domésticos do município da Barra de São Miguel, em que, durante os períodos chuvosos, os

efluentes deságuam próximo a foz, o que contribui e interfere na qualidade das águas superficiais.

5.5.5 Análise temporal

A análise de tendência temporal foi realizada para cada parâmetro no ponto RNF, utilizando dados primários e secundários para compor a série histórica dos anos 2005, 2006, 2019, 2020, 2021 e 2022. Os resultados do teste estatístico de Mann-Kendall, proposto na metodologia, estão apresentados na Tabela 35. A série de dados dos parâmetros de qualidade da água que possuem uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa são aqueles que apresentam p -valor menor que 0,05 ($p < 0,05$). O sinal da estatística S indica que a tendência é de aumento (sinal positivo) ou de diminuição (sinal negativo) ao longo do tempo.

Tabela 35. Resultados das análises de tendência temporal de Mann de Kendall dos parâmetros de qualidade da água no ponto de monitoramento RNEC.

Parâmetros (unidade)	Estatística S	p -valor
Temperatura (°C)	-0,598305	0,274818
Turbidez (NTU)	0,349856	0,363223
pH	-1,11954	0,131455
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	-0,349856	0,363223
DQO (mg/L)	-1,57532	0,0575919
Cloreto (mg/L)	-2,30905	0,0104705
Escherichia coli (NMP/100 mL)	-2,96923	0,0014927

A análise dos resultados nos pontos de amostragem RNEC apresentaram tendências significativas apenas negativas. Os resultados apontaram tendência de redução significativa na concentração de cloreto e Escherichia coli, ao longo do tempo.

5.5.6 Análise dos dados quali-quantitativos da água

Para analisar a possível relação entre a variabilidade dos parâmetros com a variabilidade das vazões, nos pontos RNEC e RNF, foi estabelecida a correlação entre os dados de vazão e os dados de cada um dos parâmetros.

A correlação foi estabelecida e avaliada com base nos valores do coeficiente de correlação de Pearson, comumente adotado nesse tipo de análise, considerando um nível de significância de 0,05 (intervalo de confiança maior que 95%). Os resultados obtidos são

apresentados para os parâmetros, por ponto de monitoramento. Os valores de coeficiente de correlação estão destacados na Tabela 36.

Tabela 36. Correlação os parâmetros e as vazões nos pontos de monitoramento.

Parâmetros (unidade)		RNEC		RNF	
		r	Correlação	r	Correlação
Físicos	Temperatura (°C)	-0,259	Fraca	-0,087	Fraca
	Cor (Uc)	-0,017	Muito fraca	-0,248	Fraca
	Turbidez (NTU)	-0,008	Muito fraca	0,541	Moderada
	Sólidos Totais (mg/L)	0,379	Fraca	0,600	Moderada
	Condutividade (mS/cm)	0,005	Muito fraca	0,600	Moderada
	Salinidade (ppt)	0,000	Inexistente	0,718	Forte
Químicos	Cloreto (mg/L)	0,146	Muito fraca	0,538	Moderada
	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	-0,794	Forte	0,400	Moderada
	DBO (mg/L)	-0,564	Moderada	0,903	Forte
	DQO (mg/L)	-0,265	Fraca	-0,323	Fraca
	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,205	Fraca	0,496	Moderada
	Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	-0,111	Muito fraca	-0,059	Fraca
	pH	0,534	Moderada	0,497	Moderada
	Alcalinidade Total (mg/L)	0,103	Muito fraca	-0,331	Fraca
Bact.	Coliformes Totais (NMP/100 mL)	-0,714	Forte	-0,644	Forte
	Escherichia coli (NMP/100 mL)	-0,819	Forte	-0,600	Moderada

A vazão parece influenciar alguns valores das análises realizadas de pelo menos 5 variáveis da qualidade de água, interferindo de acordo com a localização dos pontos e/ou possíveis impactos pontuais.

No ponto RNEC, os parâmetros mais relevantes foram o OD, coliformes totais e E. coli classificados como forte; e no ponto RNF, os parâmetros indicados como fortes são a salinidade, DBO_{5,20} e coliformes totais. Na correlação de todo o período de monitoramento, os dados mostraram correlação negativa entre esses parâmetros e a vazão, sendo que o aumento da vazão parece favorecer a diminuição desses parâmetros na água.

As fortes correlações desses parâmetros podem indicar a existência de despejo por esgotos sem tratamento ou elevadas taxas de lixiviação de matéria orgânica. A mistura de águas residuais com águas pluviais pode degradar severamente a qualidade das águas superficiais receptoras, já que modifica sua função ecológica e eleva as concentrações de poluentes orgânicos e microbiológicos que impactam a saúde pública (MADOUX-HUMERY *et al.*, 2013).

Para analisar a influência da vazão com as concentrações dos parâmetros nos dois pontos de monitoramento, foram analisados o comportamento dos parâmetros em conjunto com as vazões das coletas, por meio da análise gráfica dos parâmetros de qualidade da água, nos períodos chuvoso e seco.

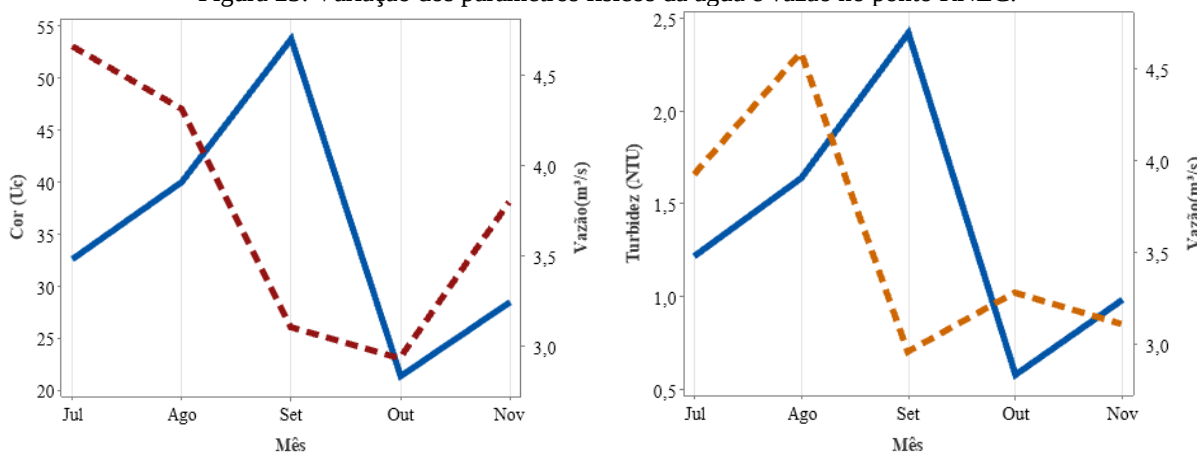
- RNEC

Os comportamentos das variáveis de qualidade de água no RNEC, em função da vazão, estão apresentados nas Figuras 23, 24 e 25.

No ponto RNEC, nos meses chuvosos (julho, agosto e setembro), com o aumento da vazão, houve: diminuição da cor; a concentração de OD diminuiu; a concentração de $\text{DBO}_{5,20}$ aumentou; a concentração de coliformes totais diminuiu. As concentrações dos parâmetros turbidez, DQO, NTK, E. coli não apresentaram variação de semelhança ou diferença com a vazão em todo período chuvoso.

Nos meses considerados secos (outubro e novembro), com a redução da vazão, houve: aumento da cor; a concentração de OD aumentou; a concentração de DQO e a concentração de NTK diminuíram; as concentrações de coliformes totais e E. coli aumentaram. As concentrações dos parâmetros turbidez e $\text{DBO}_{5,20}$ não apresentaram variação de semelhança ou diferença com a vazão em todo período seco.

Figura 23. Variação dos parâmetros físicos da água e vazão no ponto RNEC.



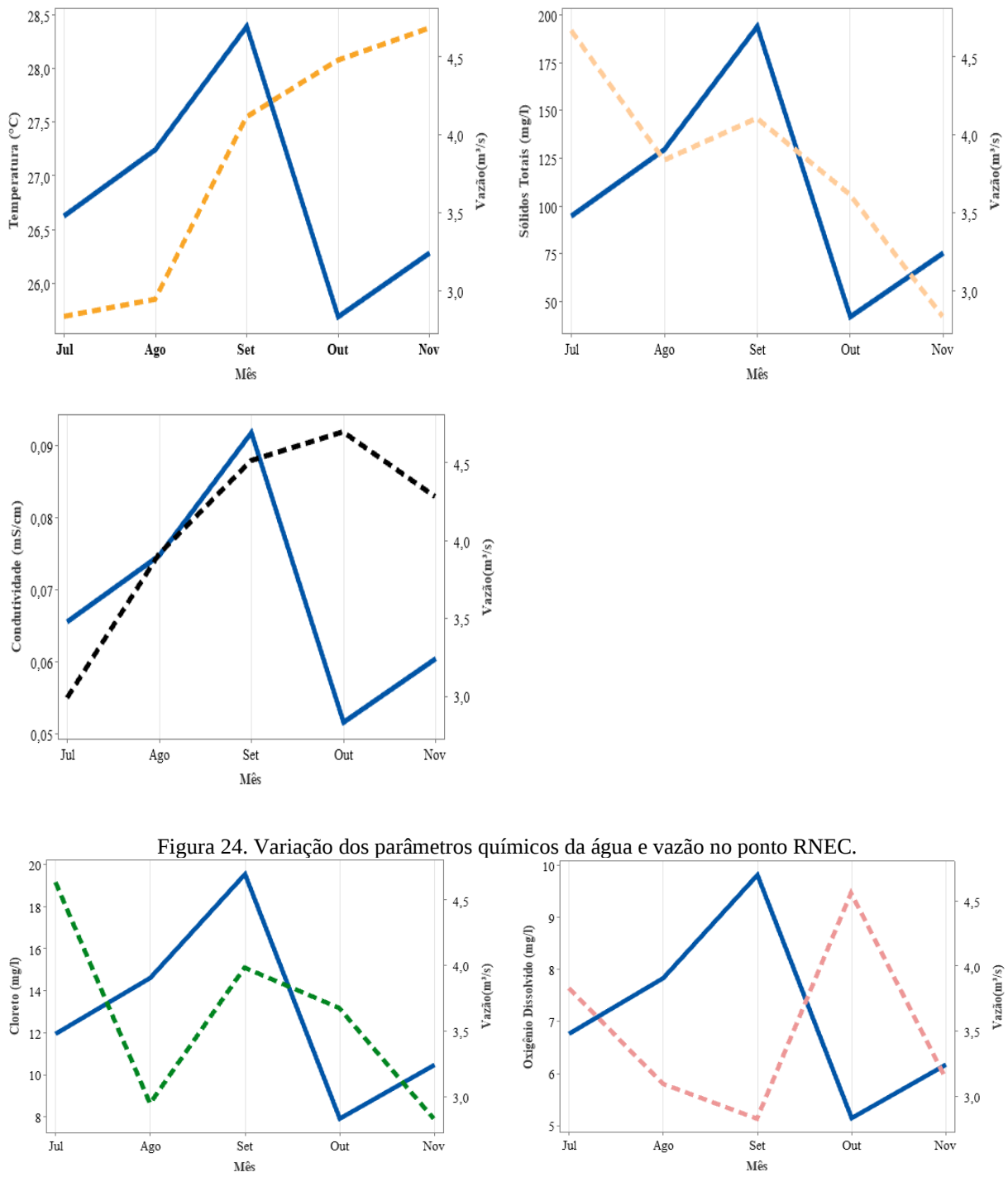


Figura 24. Variação dos parâmetros químicos da água e vazão no ponto RNEC.

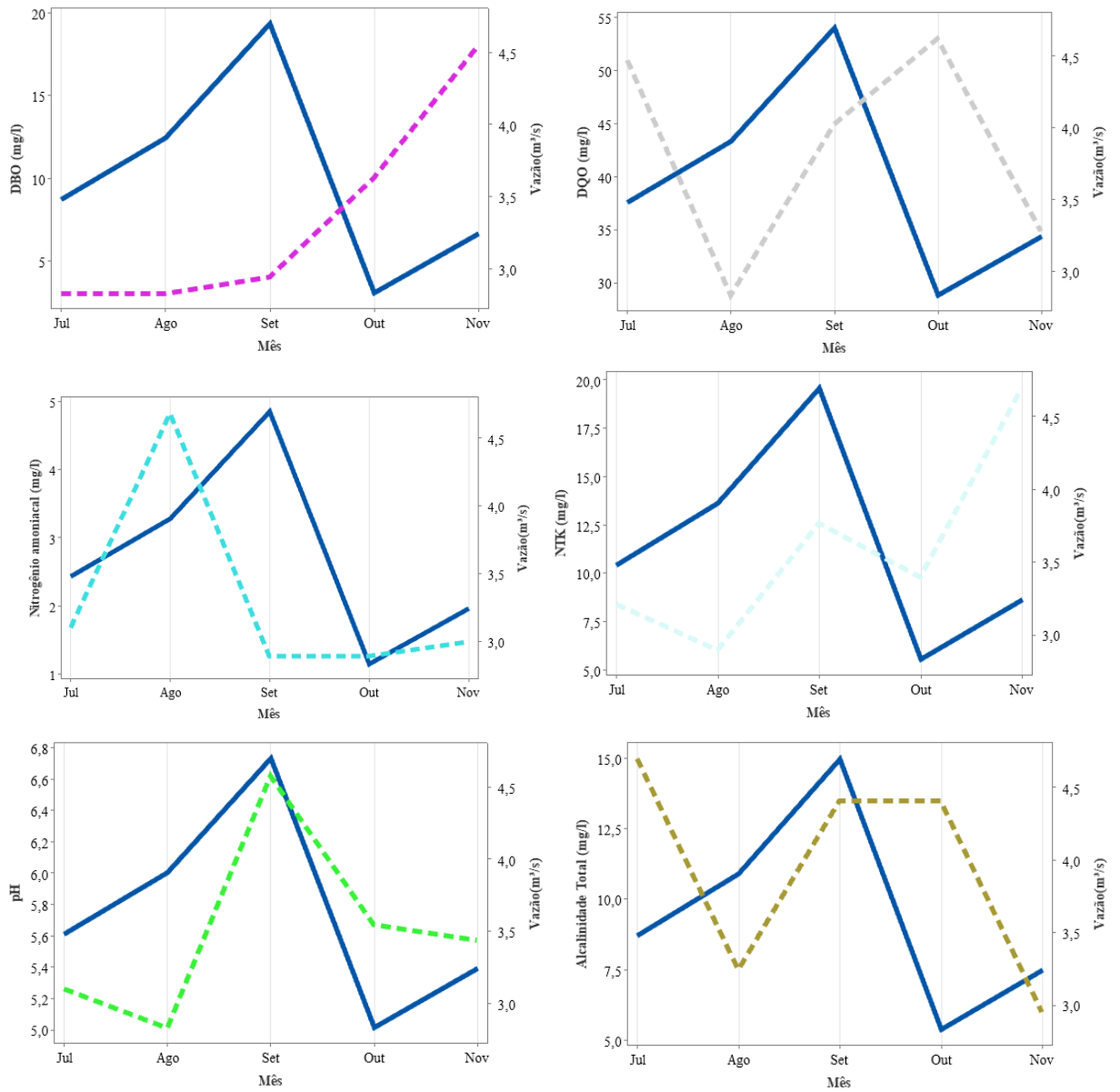
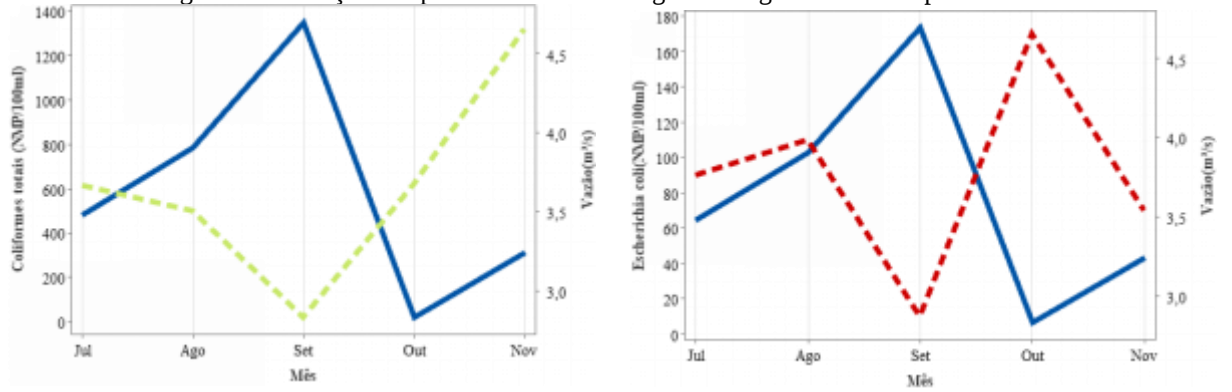


Figura 25. Variação dos parâmetros bacteriológicos da água e vazão no ponto RNEC.



Os parâmetros temperatura, pH, condutividade, alcalinidade total, cloreto, nitrogênio amoniacal e sólidos totais não apresentaram nenhuma variação semelhante ou inversa ao aumento ou diminuição da vazão, em todo período de monitoramento.

A baixa concentração de OD no RNEC está relacionada ao escoamento superficial, uma vez que sofre com processo de ações antrópicas, erosões e poluições próximas às margens e, quando chove, essas matérias orgânicas são levadas para o Rio Niquim, provocando queda no OD, durante a estação chuvosa. O OD diminui devido ao consumo de oxigênio pela matéria orgânica carregada da lavagem da superfície do solo pelas águas pluviais.

- RNF

Os comportamentos das variáveis de qualidade de água no RNF, em função da vazão, estão apresentados nas Figuras 26, 27 e 28.

No ponto RNF, nos meses chuvosos (julho, agosto e setembro), com o aumento da vazão: a cor diminuiu; o pH aumentou; a condutividade aumentou; a concentração de $\text{DBO}_{5,20}$ aumentou; a concentração de cloreto e a salinidade aumentaram; as concentrações de nitrogênio amoniacal e NTK diminuíram; a concentração de sólidos totais aumentou. As concentrações dos parâmetros turbidez, OD, alcalinidade total, coliformes totais e E.coli não apresentaram variação de semelhança ou diferença com a vazão em todo período chuvoso.

Nos meses considerados secos (outubro e novembro), com a redução da vazão: a cor e a turbidez, o pH, o OD e $\text{DBO}_{5,20}$ apresentaram comportamentos semelhantes com a vazão, diminuindo com a redução da vazão. A condutividade diminuiu; a concentração de alcalinidade total aumentou; a concentração de cloreto aumentou; as concentrações de nitrogênio amoniacal e NTK diminuíram; as concentrações de coliformes totais e E.coli aumentaram. A concentração de sólidos totais e salinidade não apresentou variação de semelhança ou diferença com a vazão em todo período seco.

Figura 26. Variação dos parâmetros Físicos da água e vazão no ponto RNF.

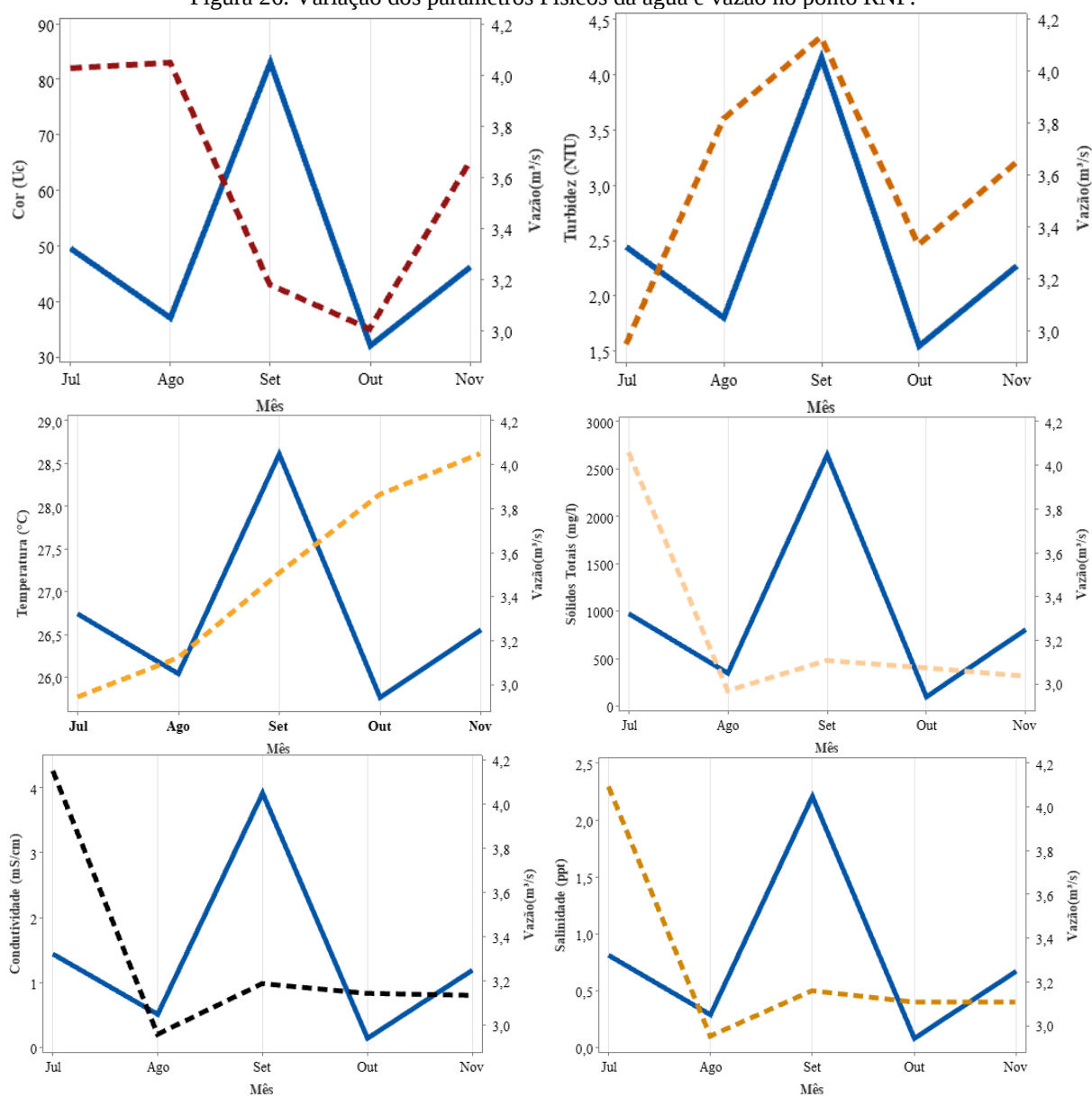


Figura 27. Variação dos parâmetros Químicos da água e vazão no ponto RNF.

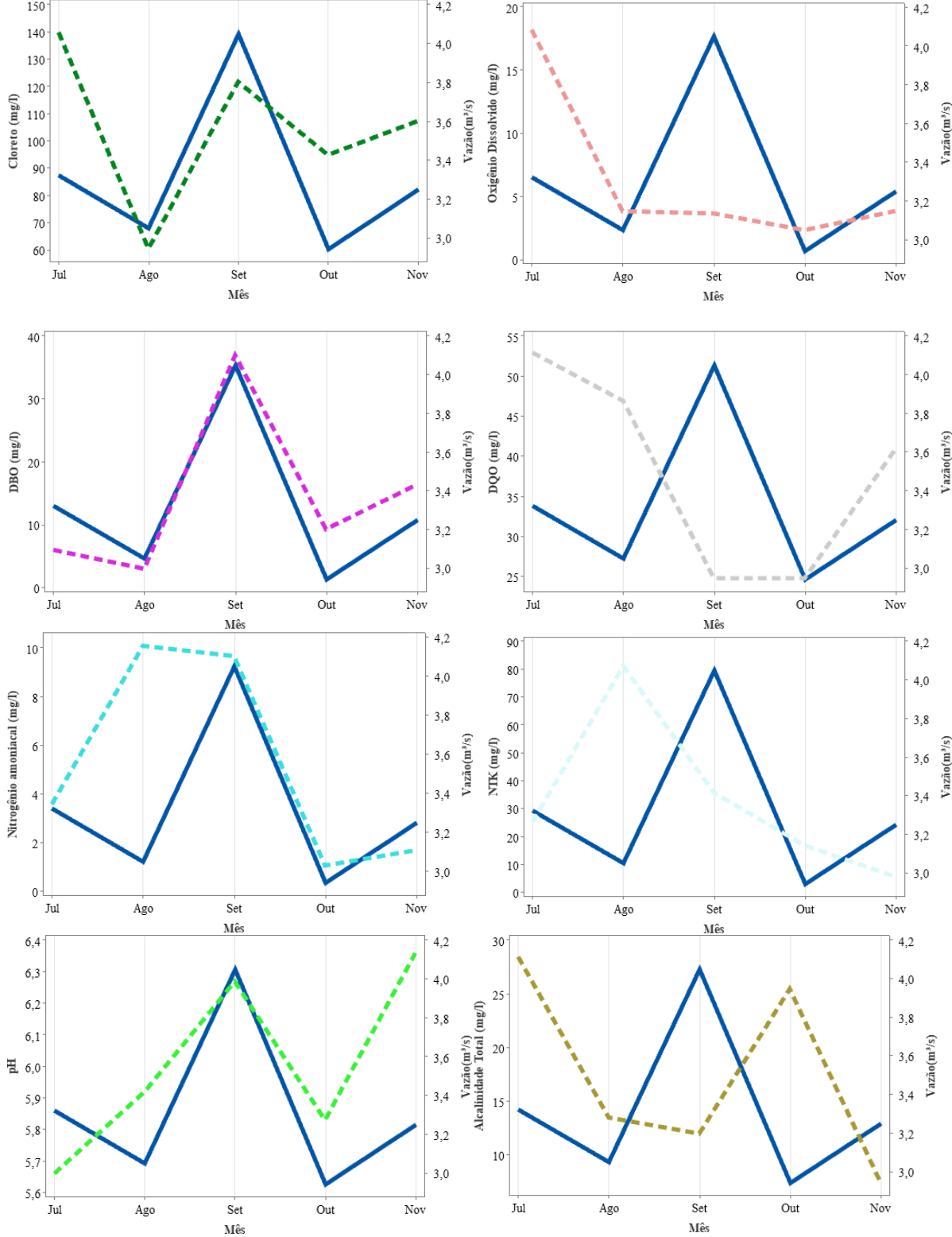
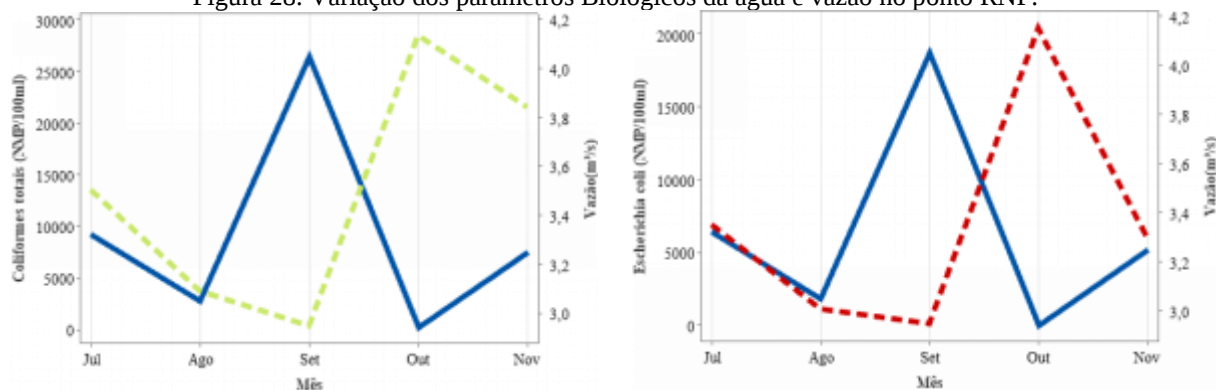


Figura 28. Variação dos parâmetros Biológicos da água e vazão no ponto RNF.



Os parâmetros temperatura e DQO não apresentaram nenhuma variação semelhante ou inversa ao aumento ou diminuição da vazão, em todo período de monitoramento.

Com destaque, o parâmetro $DBO_{5,20}$ apresentou comportamento semelhante em todo período de monitoramento: aumentando sua concentração no período chuvoso e diminuindo no período seco. Ao analisar esse parâmetro, observa-se, no ponto RNF, no período chuvoso, o valor de 37 mg/L. Quando analisados os valores $DBO_{5,20}$, observa-se que, em todo período de monitoramento, apresentaram valores superiores ao máximo permitido pela Resolução do CONAMA para águas doces de Classe 2.

Tal fato provavelmente seja decorrente do lançamento de cargas poluidoras provenientes de atividades próximas à foz do Rio Niquim, devido ao crescimento urbano próximo à faixa litorânea, além de lançamento de efluentes domésticos advindos das moradias que circundam o Rio. Pode-se concluir também que os valores maiores encontrados foram na estação menos chuvosa da região, conforme ilustra a Figura 16.

As maiores concentrações de $DBO_{5,20}$ normalmente são encontradas em áreas que apresentam grandes concentrações de matéria orgânica, seja ela natural ou lançada no corpo hídrico. A $DBO_{5,20}$ retrata, de uma forma indireta, o teor de matéria orgânica nos esgotos ou no corpo d'água, sendo, portanto, uma indicação do potencial de consumo do oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2014).

Em sua maioria, essas observações relativas à variação das concentrações com as vazões são coerentes com o que se espera de parâmetros de fontes pontuais e de parâmetros de

fontes não pontuais ou difusas. Uma vez que a concentração aumenta com o aumento da vazão, é provável que venha de fonte difusa, pois, quando chove na bacia, mais do parâmetro é carregado para o Rio, embora que com o aumento da vazão a concentração não aumente como esperado. Se a concentração do parâmetro diminui com o aumento da vazão, é provável que tenha origem pontual, pois a liberação acontece independente da chuva e, com o aumento da vazão, há diluição do parâmetro.

5.5.7 Proposta de enquadramento

Por meio da análise dos dados de qualidade da água, uso e ocupação do solo e dos aspectos quantitativos, conclui-se que as ações antrópicas causam impacto no recurso hídrico. Portanto, foi proposta a classificação dos trechos, identificando a classe em que cada trecho do Rio estudado pode ser enquadrado, considerando os usos preponderantes (Tabela 37).

Tabela 37. Classificação por trecho.

Trechos	Enquadramento sugerido	Usos preponderantes
Nascente ao ponto RNL (1)	Classe 1	Proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); irrigação de hortaliças; e, abastecimento doméstico após tratamento simplificado.
Ponto RNL ao ponto RNEC (2)	Classe 1	Proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); irrigação de hortaliças; e, abastecimento doméstico após tratamento simplificado.
Ponto RNEC ao ponto RNF (3)	Classe 2	Proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário; irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; e, abastecimento doméstico, após tratamento convencional.

Nos trechos 1 e 2, há predomínio de formação florestal e mosaico de agricultura e pastagem, antecedendo a expansão da área urbana. Verifica-se que as águas não atendem aos limites para o enquadramento atual em Classe 2, da Resolução CONAMA nº 357/05. Os parâmetros que provoca isso são a DBO_{5,20} e o nitrogênio amoniacal, que se encontram acima do limite inferior para a classe. Os demais parâmetros estão na Classe 1. Como observado, o uso preponderante desse trecho é para preservação dos ambientes aquáticos, ou seja, criação de unidades de conservação de proteção integral, em virtude do trecho 1 ser área de nascente.

Portanto, de acordo com os dados analisados neste trabalho, a proposta para esses trechos é serem enquadrados na Classe 1, da Resolução CONAMA nº 357/05.

O trecho 3 é caracterizado como área de urbanização e não vegetada, sendo assim, é responsável pelo aumento da quantidade de matéria orgânica na água no trecho da foz. Verifica-se que a qualidade das águas não atende ao atual enquadramento em Classe 2, devido ao valor elevado do parâmetro *Escherichia coli*, nitrogênio amoniacal e OD, limitando essa classificação à Classe 4. Os demais parâmetros estão na Classe 1. Assim, o parâmetro a ser trabalhado deve ser o de *Escherichia coli*, buscando diminuir os níveis. Portanto, de acordo com os dados analisados neste trabalho, a proposta para esse trecho é ser enquadrado na Classe 2, da Resolução CONAMA nº 357/05 – trabalhando os parâmetros, por meio de implantação de rede coletora e tratamento de esgotos, além de preservação das matas ciliares, definição de áreas destinadas ao lazer ao longo do Rio, entre outros.

A análise atual de qualidade das águas nos pontos e trechos em que estão inseridos foi realizada a partir da análise comparativa por ponto de monitoramento, entre o valor máximo obtido para cada parâmetro analisado, e o limite legal da classe estabelecida pela Resolução CONAMA nº 357/05. Cada trecho foi classificado de acordo com a classe mais baixa, segundo a avaliação atual de qualidade das águas nos pontos e trechos em que estão inseridos. A Tabela 38, Tabela 39 e Tabela 40 apresentam os valores mínimos e máximos de cada parâmetro e a classificação, de acordo com os padrões de cada classe definidos pela Resolução CONAMA 357/05, em cada ponto.

Tabela 38. Classificação para o ponto RNL de acordo com a Resolução CONAMA 357/05.

Parâmetros (unidade)	Mínimo	Máximo	Classificação
Temperatura (°C)	27,39	30,78	Não possui referência na resolução
Cor (Uc)	23	42	Dentro dos padrões para classe 1
Turbidez (NTU)	2,08	16,1	Dentro dos padrões para classe 1
Sólidos Totais (mg/L)	22	154	Dentro dos padrões para classe 1
Salinidade (ppt)	0	0	Não possui referência na resolução
pH	5,5	6,53	Dentro dos padrões para classe 1
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	3,35	6,04	Dentro dos padrões para classe 3
Condutividade (mS/cm)	0,059	0,077	Não possui referência na resolução
DQO (mg/L)	30,81	50,98	Não possui referência na resolução
DBO (mg/L)	0	19	Dentro dos padrões para classe 4
Alcalinidade Total (mg/L)	9	30	Não possui referência na resolução
Cloreto (mg/L)	6	24,44	Dentro dos padrões para classe 1
Nitrito (mg/L)	Nd	Nd	Dentro dos padrões para classe 1
Nitrato (mg/L)	Nd	Nd	Dentro dos padrões para classe 1

Fósforo (mg/L)	Nd	Nd	Dentro dos padrões para classe 1
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,21	5,67	Dentro dos padrões para classe 3
Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	2,8	49	Não possui referência na resolução
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	40	3.230	Não possui referência na resolução
Escherichia coli (NMP/100 mL)	0	360	Dentro dos padrões para classe 2

Tabela 39. Classificação para o ponto RNEC de acordo com a Resolução CONAMA 357/05.

Parâmetros (unidade)	Mínimo	Máximo	Classificação
Temperatura (°C)	25,69	28,38	Não possui referência na resolução
Cor (Uc)	23	55	Dentro dos padrões para classe 1
Turbidez (NTU)	0,7	2,32	Dentro dos padrões para classe 1
Sólidos Totais (mg/L)	42	192	Dentro dos padrões para classe 1
Salinidade (ppt)	0	0	Não possui referência na resolução
pH	5,01	6,62	Dentro dos padrões para classe 1
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	5,13	9,47	Dentro dos padrões para classe 1
Condutividade (mS/cm)	0,055	0,092	Não possui referência na resolução
DQO (mg/L)	28,79	53	Não possui referência na resolução
DBO (mg/L)	3	70	Dentro dos padrões para classe 4
Alcalinidade Total (mg/L)	6	15	Não possui referência na resolução
Cloreto (mg/L)	1,68	19,17	Dentro dos padrões para classe 1
Nitrito (mg/L)	Nd	Nd	Dentro dos padrões para classe 1
Nitrato (mg/L)	Nd	Nd	Dentro dos padrões para classe 1
Fósforo (mg/L)	Nd	Nd	Dentro dos padrões para classe 1
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1,05	4,83	Dentro dos padrões para classe 3
Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	6,02	19,6	Não possui referência na resolução
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	20	2.220	Não possui referência na resolução
Escherichia coli (NMP/100 mL)	10	170	Dentro dos padrões para classe 1

Tabela 40. Classificação para o ponto RNF de acordo com a Resolução CONAMA 357/05.

Parâmetros (unidade)	Mínimo	Máximo	Classificação
Temperatura (°C)	25,77	28,62	Não possui referência na resolução
Cor (Uc)	35	94	Dentro dos padrões para classe 1
Turbidez (NTU)	1,56	4,34	Dentro dos padrões para classe 1
Sólidos Totais (mg/L)	108	2.680	Dentro dos padrões para classe 1
Salinidade (ppt)	0,1	2,3	Não possui referência na resolução
pH	5,65	6,36	Dentro dos padrões para classe 1
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	2,33	18,19	Dentro dos padrões para classe 3
Condutividade (mS/cm)	0,2	4,26	Não possui referência na resolução
DQO (mg/L)	24,76	53	Não possui referência na resolução
DBO (mg/L)	3	37	Dentro dos padrões para classe 4
Alcalinidade Total (mg/L)	7,5	28,5	Não possui referência na resolução
Cloreto (mg/L)	14,38	139,9	Dentro dos padrões para classe 1
Nitrito (mg/L)	Nd	Nd	Dentro dos padrões para classe 1
Nitrato (mg/L)	Nd	Nd	Dentro dos padrões para classe 1
Fósforo (mg/L)	Nd	Nd	Dentro dos padrões para classe 1
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,63	10,08	Dentro dos padrões para classe 3
Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	5,6	81,2	Não possui referência na resolução
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	370	28.560	Não possui referência na resolução
Escherichia coli (NMP/100 mL)	90	20.400	Dentro dos padrões para classe 3

De acordo com as tabelas, observa-se que, em todos os trechos, alguns parâmetros não atenderam aos limites de Classe Especial, Classe 1, Classe 2 ou Classe 3, porém estão dentro dos limites de classificação estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05. Entretanto, a baixa classificação em alguns parâmetros não generaliza a classificação para todos os parâmetros, mas facilita o estabelecimento das metas para o atendimento do enquadramento pretendido, com a identificação dos parâmetros que limitam cada trecho a uma classe melhor. Sendo assim, os dados apresentam que quase todos os parâmetros do Rio Niquim estão dentro dos limites determinados para a classificação para rios de Classe 1.

No trecho 1, os parâmetros OD, DBO_{5,20} e nitrogênio amoniacal não atendem aos limites estabelecidos para o seu atual enquadramento, que seria a Classe 2, da Resolução CONAMA 357/05, pois os parâmetros estão fora dos limites estabelecidos pela classe. Os parâmetros precisam ser analisados, buscando medidas para a diminuição das concentrações, pois a proposta para esse trecho é ser enquadrado na Classe 1, buscando aumentar o OD e diminuir os outros parâmetros através da preservação das formações florestais a fim de diminuir a carga orgânica nesse trecho, devido ao intenso uso dele para abastecimento humano, irrigação e recreação de contato primário.

No trecho 2, os parâmetros DBO_{5,20} e nitrogênio amoniacal não atenderam aos limites estabelecidos para o seu atual enquadramento, que seria a Classe 2, da Resolução CONAMA 357/05, pois os parâmetros estão fora dos limites estabelecidos pela classe, limitando sua classificação à Classe 4 (para a DBO_{5,20}) e Classe 3 (para o nitrogênio amoniacal). Os parâmetros precisam ser analisados, buscando medidas que diminuam suas concentrações, pois a proposta para esse trecho é ser enquadrado na Classe 1, visando reduzir os parâmetros através da preservação das áreas vegetadas, principalmente da mata ciliar, para diminuir a carga orgânica nesse trecho, devido ao intenso uso dele para abastecimento humano, irrigação e lazer.

Assim como nos trechos anteriores, no trecho 3, os parâmetros DBO_{5,20} e nitrogênio amoniacal apresentaram inconformidade, assim como os parâmetros OD e E.coli não atenderam aos limites estabelecidos para o seu atual enquadramento, que seria a Classe 2, da Resolução CONAMA 357/05, classificando o Rio em Classe 3 e Classe 4. Nesse sentido, as águas não podem ser destinadas ao abastecimento humano. Os parâmetros precisam ser analisados, buscando medidas que reduzam suas concentrações, pois a proposta para esse trecho é ser

enquadrado na Classe 2, buscando diminuir os parâmetros através da destinação correta de efluentes domésticos e seu respectivo tratamento, além do planejamento no uso e ocupação do solo, mantendo a preservação de áreas verdes, necessárias para diminuir a carga orgânica nesse trecho, devido ao intenso uso dele para abastecimento humano e lazer.

6 CONCLUSÕES

Este estudo buscou analisar de que forma se configura a paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Niquim/AL, entendendo suas variáveis quanto às formas de relevo, declividade, vegetação, solo, uso e ocupação do solo, a fim de identificar as alterações ambientais que impactam na qualidade das águas.

A pesquisa desenvolvida na bacia do Rio Niquim contribuiu para o diagnóstico ambiental, pois possibilitou verificar que o uso e ocupação do solo na bacia causa interferência na qualidade do corpo hídrico. A análise temporal do uso e ocupação do solo na bacia permitiu identificar que há predominância de áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar.

Além disso, a ocupação urbana foi outro fator que condicionou a perda da vegetação original, no qual o crescimento de algumas cidades ao longo da bacia foi acompanhado pela expansão da atividade açucareira – também determinante na retirada da vegetação original. Nesse estudo, as áreas das classes de agricultura e solo expostas foram consideradas como áreas destinadas às atividades agrícolas, sendo que variaram da abrangência de 64,81 a 69,12% da área total da bacia. As áreas com vegetação arbórea variaram de 28,10 a 31,22% da bacia durante o período estudado, sendo as que mais protegem o manancial e contribuem para o melhoramento da qualidade da água do Rio Niquim.

Considerando os resultados obtidos nas análises da água, notou-se que houve variáveis que apresentaram resultados acima do valor limite estabelecido pela resolução CONAMA em boa parte das campanhas amostrais, para os parâmetros OD, DBO_{5,20}, nitrogênio amoniacal e E. coli. Esses pontos estão situados nas áreas que sofrem influência de uso e ocupação da terra, por ser uma região urbanizada e por receber influência agrícola, entre montante-jusante. O ponto que se mostrou mais degradado por impactos antrópicos foi o RNF, que se localiza na foz do Rio Niquim, onde deságua no mar. As pressões ocorrem de forma mais intensa e pontual, como lançamento de efluentes domésticos; enquanto nas áreas rurais da bacia, as pressões impactam de forma difusa, permitindo aos meios a autodepuração.

As análises espaço-sazonal e temporal da dinâmica da qualidade do recurso hídrico, a comparação entre os períodos seco e chuvoso, não apontaram variações temporais significativas

para a maioria dos parâmetros de qualidade da água, com exceção apenas da DQO, que apresentou valor de $p < 0,05$. A análise espacial apontou que há diferenças entre as estações monitoradas apenas no período seco, para os valores de turbidez, condutividade, alcalinidade total e E.coli, em função das contribuições ao longo do curso hídrico. A análise temporal do ponto RNEC apresentou diminuição significativa nas concentrações de cloreto e E.coli.

Com relação à análise de interferência dos aspectos quantitativos na qualidade da água por meio da observação da variação da vazão e dos parâmetros de monitoramento qualitativo da água na bacia, nota-se que os parâmetros adotados neste estudo confirmam a sua importância para a avaliação da influência da vazão na qualidade da água em termos de sua variabilidade temporal em período chuvoso e seco – revelando-se importante para a caracterização da variação temporal verificada nos resultados para o período chuvoso e período seco. Foi possível identificar ainda as variações no comportamento dos parâmetros com as mudanças na vazão em alguns meses, como, por exemplo, as variações de OD no ponto RNEC, que apresentou comportamento inverso ao da vazão. E a concentração de $\text{DBO}_{5,20}$, que indicou comportamento semelhante no ponto RNF, em todo período de monitoramento.

Para o reenquadramento das águas superficiais do Rio Niquim, os resultados permitiram concluir que, no trecho 1, onde se localiza o ponto de coleta da lagoa Niquim, a qualidade da água está dentro dos limites estabelecidos para seu enquadramento atual em Classe 2, da Resolução CONAMA 375/05, em virtude de seu uso preponderante. A proposta de reenquadramento para esse trecho é que ele seja classificado como Classe 1, de acordo com a Resolução.

Para o trecho 2, onde se localiza o ponto de coleta da estação da CASAL, os parâmetros $\text{DBO}_{5,20}$ e nitrogênio amoniacal estão em desacordo com seu enquadramento atual em Classe 2, da Resolução CONAMA 357/05, colocando esse trecho em Classe 4. No entanto, os demais parâmetros atendem ao estabelecido até para Classe 1. A proposta para esse trecho, devido ao seu uso preponderante, é que ele seja enquadrado na Classe, 1 da Resolução.

Para o trecho 3, onde se localiza a área urbana da cidade da Barra de São Miguel, os parâmetros $\text{DBO}_{5,20}$, OD, nitrogênio amoniacal e E.coli estão em desacordo com seu enquadramento atual na Classe 2, da Resolução CONAMA nº 357/05. Os demais parâmetros atendem ao estabelecido para a proposta de reenquadramento na Classe 1, da Resolução.

Percebe-se, claramente, que em grande parte do curso do Rio há predominância de contaminação por coliformes, seja por criação de animais no entorno, como por lançamento de efluente fora dos padrões, sendo esse um fator primordial a ser combatido ao longo da bacia hidrográfica. Outro parâmetro que se apresentou com valor elevado foi a $DBO_{5,20}$, detectado fora dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05, nos trechos 2 e 3 – o que chama a atenção para uma maior investigação das causas da presença desse elemento ao longo do Rio.

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que a caracterização da bacia permitiu compreender a configuração dos efeitos antrópicos e naturais, e como esses influenciam nas mudanças que ocorrem na bacia, devido às atividades antrópicas, que geram alterações e impactos ambientais. As alterações e os impactos ambientais identificados permitiram confirmar a dinâmica de causa e efeito sobre a qualidade da água dos recursos hídricos, por razão do uso e ocupação do solo. Assim, foram identificadas alterações e impactos ambientais que interferem na qualidade e na disponibilidade da água na bacia.

Portanto, as atividades antrópicas contribuem significativamente para mudanças na qualidade da água. As alterações são observadas, no caso da Bacia Hidrográfica do Rio Niquim, nas áreas urbanas com ausência de cobertura vegetal e lançamentos de efluentes domésticos e resíduos sólidos diretamente nos corpos d'água. Nesse sentido, recomenda-se que sejam realizadas ações efetivas para controle das alterações e melhora na qualidade da água da bacia hidrográfica, visto que ela possui ponto de captação para abastecimento da população.

REFERÊNCIAS

- ACUÑA-ALONSO, C., FERNANDES, A. C. P., ALVAREZ, X., VALERO, E., PACHECO, F. A. L., VARANDAS, S. D. G. P., ... & FERNANDES, L. F. S. **Water security and watershed management assessed through the modelling of hydrology and ecological integrity: A study in the GaliciaCosta (NW Spain).** Science of the Total Environment, ed. 759, 2021. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143905>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Água** (2021). Disponível em: <<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/1d27ae7adb7f4baeb224d5893cc21730>>. Acesso em: 20 jan. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil** - Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **O turismo e o lazer e sua interface com o setor de recursos hídricos.** Brasília: ANA, 2005 (Caderno de Recursos Hídricos).
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Enquadramento dos corpos d'água em classes** - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. -- Brasília: ANA, 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Fundamentos da Gestão Territorial para Recursos Hídricos e Caracterização de Bacias Hidrográficas.** Gestão Territorial para Recursos Hídricos com Software Livre de Código Aberto. v. Unid 1, p. 1–27, 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Variáveis e Parâmetros de Qualidade de Água em Rios e Reservatórios.** Monitoramento da qualidade da água em rios e reservatórios, v. Unid 3, p. 1–30, 2013.
- ALAGOAS (1978). **Decreto nº 3.766 de 30 de outubro de 1978.** Enquadra os Cursos D'água do Estado de Alagoas na Classificação Estabelecida e dá providências correlatas. 1978.
- ALAGOAS (1997). **Lei Estadual nº 5.965.** Instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos e criou o Sistema Estadual de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos. De 10 de novembro de 1997.
- ALAGOAS (2003). **Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias dos Rios São Miguel, Jequiá, Niquim, das Lagoas e Poxim.** Maceió: SEMARHN, 2003.
- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F.; MONTEIRO, F. A. J.; OLIVEIRA FILHO, J. S. **Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. Anais... Belém: SBG, 1988. v. 2, p. 753-760.
- APHA. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater.** 19th ed. Amer. Public Health Association/ American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, D.C., USA, 1134 p, 1995.

- ARAÚJO, T. M.; SANTOS, R. C. A. L.; SEOANE, J. C. S.; MANSO, V. A. **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro, Alagoas**. In: MUEHE, D. Erosão e progradação no litoral brasileiro. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- BARBOSA, C.C.F.; NOVO, E.M.L.M.; MARTINS, V.S. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos**: princípios e aplicações. 1ª edição. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 161p. 2019.
- BATBAYAR, G.; PFEIFFER, M.; KAPPAS, M.; KARTHE, D. **Development and application of GIS-based assessment of land-use impacts on water quality: A case study of the Kharaa River Basin**. Ambio, 2019 [online]. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1123-y>. Acesso: 02 jul. 2022.
- BAYER, D. M. **Efeitos das mudanças de uso da terra no regime hidrológico de bacias de grande escala**. 2014. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- BELONDI, H. V. **Enquadramento dos corpos d'água em classes de uso como instrumento de gestão ambiental e de recursos hídricos**: estudo aplicado na bacia do rio Corumbataí – SP. 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geociência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2003.
- BERNARDI, C. S. B.; PANZIERA, A. G.; BURIOL, G. A.; SWAROWSKY, A.; **Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental**. Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2012.
- BEZERRA, R. P. G.; FREIRE, C.C.; PEREIRA, J. V. A. **Estudo de Autodepuração de Efluentes Domésticos**: estudo de caso no Rio Niquim, Barra de São Miguel/Al. Anais... XIII ENAU - Encontro Nacional de Águas Urbanas e III SRRU - Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos, Porto Alegre – RS. 2020.
- BHATTACHARYA, R.K., CHATTERJEE, N.D., DAS, K. **An integrated GIS approach to analyze the impact of land use change and land cover alteration on ground water potential level**: A study in Kangsabati Basin, India. Groundwater for sustainable development, v. 11, p. 100399, 2020. DOI: 10.1016/j.gsd.2020.100399.
- BIAN, Z.; LIU, L.; DING, S. **Correlation between spatial-temporal variation in landscape patterns and surface water quality**: a case study in the Yi River Watershed, China. Applied Science, v. 9, n. 6, 1-14, 2019. Disponível: <https://doi.org/10.3390/app9061053>. Acesso: 31 jan. 2023.
- BITTENCOURT, C.; PAULA, M. A. S. de. **Tratamento de água e efluentes**: fundamentos de saneamento e gestão de recursos hídricos. São Paulo. Érica, 2014. 185 p.
- BORGES, R. F.; BORGES, F. A.; COSTA, F. P. M.; NISHIYAMA, L. **Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal da porção de alto curso da bacia do rio Uberabinha –**

- MG.** Anais... In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias de Geoinformação, 2, 2008, Recife. Anais. Recife: UFPE, 2008.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução 274 de 29 de novembro de 2000.** Estabelece condições de balneabilidade das águas brasileiras. Brasília, 2000.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução 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 lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.
- BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=370>>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- BRITO, J. L.; LEITE, M. R., FERREIRA, E. J.; LEITE, M. E. **Evolução geográfica do uso/cobertura da terra na bacia do Rio Vieira no norte de Minas Gerais.** Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 26, P. 169-194, SÃO PAULO, 2013. DOI:<https://doi.org/10.7154/RDG.2013.0026.0009>
- CAMARA, M.; JAMIL, N. R.; ABDULLAH, A. F. B. **Impact of land uses on water quality in Malaysia: a review.** Ecological Processes, v. 8, n. 10, p. 2-10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0164-x>. Acesso em: 22 set. 2022.
- CAMELO, S. M., COURA, M. D. A., RODRIGUES, A. C. L., OLIVEIRA, R. D., COSTA FILHO, F. D. C. D., & VIDAL, I. C. D. A. (2020). Modelagem da qualidade da água em sistemas de macrodrenagem de bacias urbanas. Engenharia Sanitária e Ambiental, 25, 873-885.
- CAPOANE, V. **Qualidade da água e sua relação com o uso da terra em duas pequenas bacias hidrográficas.** 2011. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- ESTATÍSTICAS, C. D. E. **Economia dos municípios de Alagoas: acompanhe a economia do seu estado.** Caravela Dados e Estatísticas, 2022.
- CEARÁ (2017). **Relatório parcial de metodologia de enquadramento de reservatórios.** Fortaleza-Ce: SEMACE, 2017.
- CHANG, H. **Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea.** Water Research, v. 42, n. 13, p. 3285-3304, 2008. Disponível em: [10.1016/j.watres.2008.04.006](https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.04.006). Acesso em: 15 set. 2022.
- CHEN, X., LEE, R. M., DWIVEDI, D., SON, K., FANG, Y., ZHANG, X., ... & SCHEIBE, T. D. **Integrating field observations and process-based modeling to predict watershed water quality under environmental perturbations.** Journal of Hydrology, v. 602, 2021. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125762> Acesso: 15 jun. 2022.

- CLIMATE-DATA. ORG. **Dados climáticos para cidades mundiais**. 2022.
- COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013. v. 1, 336p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). (2019). Apêndice E - **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/03/Apendice-E-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-Variaveis-de-Qualidade-2016.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- COSTA PEREIRA, L.; SILVA DE ALMEIDA, A.; MONTEIRO FERREIRA, B.; DE MIRANDA LAMEIRA, W. J.; PEREIRA DE ASSUNÇÃO, S. **Mapeamento de uso e cobertura da terra e análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Uraim**. Caminhos de Geografia, v. 21, n. 75, p. 225-239, maio 2020.
- CRUZ, R. C. **Prescrição de vazão ecológica: aspectos conceituais e técnicos para bacias com carência de dados**. 2005. 135f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de Barra de São Miguel, estado de Alagoas/ Organizado por João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.
- COUCEIRO, S. R. MARQUES; HAMADA, N. **Os instrumentos da política nacional de recursos hídricos na região norte do Brasil**. Oecologia Australis, v. 15, n. 4, p. 762-774, dez. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2011.1504.02>
- DA COSTA, M. P.; DE SOUSA, F. A. S.; RIBEIRO, M. M. R. **Aspectos conceituais sobre o regime hidrológico para a definição do hidrograma ambiental**. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 6, n. 1, p. 131-147, 2011.
- DANVI, A.; GIERTZ, S.; ZWART, S. J.; DIEKKRÜGER, B. **Comparing water quantity and quality in three inland valley watersheds with different levels of agricultural development in central Benin**. Agricultural Water Management, p. 257-270, 2017. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.07.017>.
- DA SILVA CRUZ, J; BLANCO, C. J. C; DE OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. **Modeling of land use and land cover change dynamics for future projection of the Amazon number curve**. Science of The Total Environment, v.811, p. 152348, mar. 2022.
- DE ARAUJO, R. C; PONTE, M. X. **Efeitos do desmatamento em larga-escala na hidrologia da bacia do Uraim, Amazônia**. Revista Brasileira de Geografia Física, v.9, n. 7, p. 2390-2404, set. 2016.
- DUARTE, J. M; BLANCO, C J. C; SANTANA, L R. **Estimativa de vazão máxima para projetos de barragem na bacia hidrográfica do rio Uraim em Paragominas/Pa**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 10, n. 1, p. 262-281, maio 2021.

- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1999). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa – Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 412 p.
- FARIA, D. A.; TRANNIN, I. C. B.; SIMÕES, S. C. **Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. Anais... [S. l.: s. n.], 2011.
- FERREIRA, D.M.; FERNANDES, C.V.S.; KAVISKI, E. **Curvas de permanência de qualidade da água como subsídio para o enquadramento de corpos d'água a partir de modelagem matemática em regime não permanente**. RBRH, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 479-492, 2016. DOI:<https://doi.org/10.1590/2318-0331.011615143>.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo, Oficina do Texto. 160p, 2008.
- FLORAM, Engenharia e Meio Ambiente Ltda. **Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Volume I. Diagnóstico da Gestão Intermunicipal de Resíduos Sólidos – Região Metropolitana Alagoana. 381 p. Eunápolis, Bahia, 2017.
- FLORAM, Engenharia e Meio Ambiente Ltda. **Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Volume I. Diagnóstico da Gestão Intermunicipal de Resíduos Sólidos – Região Sul. 487 p. Eunápolis, Bahia, 2017.
- GONÇALVES, F. T.; NUCCI, J. C. **Sistemas de drenagem sustentável (suds): propostas para a bacia do rio Juvevê, Curitiba-PR**. Raega - O Espaço Geográfico em Análise, Curitiba, v. 42, p. 192-209, 2017.
- GOSSWEILER, B.; WESSTRÖM, I.; MESSING, I.; ROMERO, A.M.; JOEL, A. **Spatial and Temporal Variations in Water Quality and Land Use in a Semi-Arid Catchment in Bolivia**. Water, 2019, 11, 2227. DOI:<https://doi.org/10.3390/w11112227>.
- GOUDIE, A. S. **Human Impact on the environment: past, present and future**. 8ed. St. Cross College and the school of geography and the environment, Univ. of Oxford. p.458. 2018.
- GOULART, M; CALLISTO, M. 2003. **Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental**. Revista da FAPAM, ano 2, no 1. Disponível em: <http://www.santoangelo.uri.br/~briseidy/P%F3s%20Licenciamento%20Ambiental/bioindicadores%2019.10.2010.pdf>. Acesso em: 22 jun 2022.
- IGHALO, J. O.; ADENIYI, A. G. **A comprehensive review of water quality monitoring and assessment in Nigeria**. Chemosphere, p. 127569, 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2010). **Cidades**. Disponível:<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=27&search=alagoas> . Acesso em: 18 jan. 2023.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022a.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da Pecuária Municipal 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022b.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da Pecuária Municipal 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- INFOSANBAS. **Informações sobre Saneamento Básico do Município de Barra de São Miguel**. Disponível em: <https://infosanbas.org.br/municipio/vargem-sp/> Acesso em: 20 jan. 2023.
- JI, L.; LI, Y.; ZHANG, G.; BI, Y. **Anthropogenic Disturbances Have Contributed to Degradation of River Water Quality in Arid Areas**. *Water*, 2021, 13, 3305. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13223305>.
- KELLY, E. R.; CRONK, R.; KUMPEL, E.; HOWARD, G.; & BARTRAM, J. **How we assess water safety: A critical review of sanitary inspection and water quality analysis**. *Science of The Total Environment*, v. 718, p. 137237, 2020.
- LIMA, B. P. **Enquadramento de corpos d'água no Nordeste brasileiro como instrumento de gestão e sustentabilidade ambiental: o caso da bacia hidrográfica Acarape do Meio -CE**. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) –Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. 272 p.
- LIU, J., SHEN, Z., CHEN, L. **Assessing how spatial variations of land use pattern affect water quality across a typical urbanized watershed in Beijing, China**. *Landsc. Urban Plan.* 665 176, 51–63. doi: 10.1016/j.landurbplan. 2018.04.006. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.12.003>
- MACHADO, E. S.; KNAPIK, H. G.; BITENCOURT, ALMEIDA, C. C. **Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, n. 02, 2019. DOI:<https://doi.org/10.1590/S1413-41522019181252>.
- MADOUX-HUMERY, A. S.; DORNER, S.; SAUVÉ, S.; ABOULFADL, K.; GALARNEAU, M.; SERVAIS, P. et al. **Temporal variability of combined sewer overflow contaminants: Evaluation of wastewater micropollutants as tracers of fecal contamination**. *Water Research*, n. 47, p. 4370-4382, 2013.
- MAPBIOMAS (2022). **Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomass)**. O PROJETO. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 22 dez. 2022.
- MARZIN, A.; VERDONSCHOT, P. F. M.; PONT, D. **The relative influence of catchment, riparian corridor, and reach-scale anthropogenic pressures on fish and macroinvertebrate assemblages in French rivers**. *Hydrobiologia*. [s. l.], v. 704, n. 1, p. 375–388, 2013. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10750-012-1254-2>. Acesso em: 20 jun. 2022.

- MELLO, K.; TANIWAKI, R. H.; DE PAULA, F. R.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; MACEDO, D. R.; HUGHES, R. M. **Multiscale land use impacts on water quality: assessment, planning, and future perspectives in Brazil.** Journal of environmental Management. v. 270, p. 110879, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879v>.
- MELLO, K.; VALENTE, R.A.; RANDHIR, T.O.; SANTOS, A.C.A.; VETTORAZZI, C.A. **Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: watershed versus riparian zone.** Catena, v. 167, p. 130-138, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879>.
- MENEZES, A. F.de; CAVALCANTE, A. T.; AUTO, P. C. C. **A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Estado de Alagoas.** Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, (Caderno da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica: Série Estados e Regiões da RBMA, 29). São Paulo – SP, 96 p. 2012.
- MENEZES, A. F.; CAVALCANTE, A. T.; AUTO, P. C. C. **A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Estado de Alagoas.** Maceió: Gráfica e Editora Poligra.f, 56 p, 2004. (Caderno da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica: série).
- MENEZES, B. M. **Recursos hídricos e participação: o caso do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Alagoas, face à lei nº 5.965/97.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Maceió, 2006.
- MORAIS, N. W. S.; SANTOS, A. B. **Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reuso de águas residuárias de diversos estados do Brasil.** Revista do Departamento de Águas e Esgotos – DAE, [S.l.], v. 67, p. 40-55, n. 215, 2019.
- MOREIRA, H. A. **Diagnóstico da qualidade ambiental da bacia do rio Jaboatão: sugestão de enquadramento preliminar.** 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- MOURA, S.R.F., GRIGIO, A.M. & DIODATO, M. A. **Mapeamento e Análise da Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Município de Mossoró.** Anais... Seminário Nacional de Governança Urbana e Desenvolvimento Metropolitano, Natal, Grande do Norte, 2010.
- MWAIJENGO, G. N.; MSIGWA, A.; NJAU, K. N.; BRENDONCK, L.; & VANSCHOENWINKEL, B. **Where does land use matter most?** Contrasting land use effects on river quality at different spatial scales. Science of the Total Environment, [s. l.], v. 715, p. 134825, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134825>>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- NOQUELLI, L. H. M. **Proposta de Regulamentação do Enquadramento dos Corpos de Água do Estado de Mato Grosso:** Subsídios à Gestão dos Recursos. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da

Terra, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Cuiabá, 2016.144 f.: il.; 30 cm.

- OLIVEIRA, L. M.; MAILLARD, P.; ANDRADE PINTO, E. J. **Application of a land cover pollution index to model non-point pollution sources in a Brazilian watershed.** Catena, [s. l.], v. 150, p. 124–132, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.015>>. Acesso em: 15 mai. 2022.
- PIMENTEL, M. I. C. **Proposta de RE-enquadramento das águas superficiais do Rio Niquim/AL.** Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Coordenação do Curso de Engenharia Civil, 2007.
- PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. **Aplicação de geotecnologias na modelagem do potencial poluidor das sub-bacias de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP relacionado à qualidade da água.** Anais... In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia: INPE, 2005.
- REBOUÇAS, A. C. **Água doce no mundo e no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** 3 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.
- REIS, L. F. R; BRANDÃO, J. L.B. **Impactos ambientais sobre rios e reservatórios.** In: Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão. [S.l: s.n.], 2013.
- RIBEIRO, R. Z. **Desafios no processo de obtenção da segurança hídrica frente a aplicação dos instrumentos de gestão da água.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Próreitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Goiânia, 2021.
- SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F.C. **Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 826–834, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000800006>.
- SANTOS, N. A. P. **Uma abordagem metodológica para determinar a influência do uso e da cobertura do solo como fonte de poluição difusa na alteração da qualidade da água na Bacia do Rio das Velhas.** Dissertação de Mestrado (Geografia) – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- SEMARH - Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Alagoas. **Dados de outorga do Rio Niquim.** 2022.
- SILVA, A. E. P.; DE ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T. **Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus.** Anais XIII. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 3577-3584, 2007.
- SILVA, M. **Diagnóstico dos recursos hídricos na microbacia do córrego Três Barras, município de Marinópolis, SP.** Dissertação. Programa de Pós-graduação em Engenharia. Universidade Estadual Paulista – UNESP. 2010.

- SIMONETTI, V. C., FRASCARELI, D., GONTIJO, E. S., MELO, D. S., FRIESE, K., SILVA, D. C., & ROSA, A. H. **Water quality indices as a tool for evaluating water quality and effects of land use in a tropical catchment.** International Journal of River Basin Management, v. 19, n. 2, p. 157-168, 2021. Disponível: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v23i1.2037>. Acesso: 31 ja. 2022.
- SLIVA, L.; DUDLEY WILLIAMS, D. **Buffer Zone versus Whole Catchment Approaches to Studying Land Use Impact on River Water Quality.** Water Research, [S.I.], v. 35, n. 14, p. 3462–3472, 2001. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135401000628>>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2022).** Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- SOARES, P.A; PINHEIRO, A.; SOARES, K. H.; ZUCCO, E. **Estimativa de Disponibilidade Hídrica em pequenas bacias hidrográficas com escassez de dados fluviométricos.** Revista de Estudos Ambiental. v12, n.1,p.29-38, jan./jun.2010.
- SONG, Y.; SONG, X.; SHAO, G.; HU, T. **Effects of Land Use on Stream Water Quality in the Rapidly Urbanized Areas: A Multiscale Analysis.** Water, 2020, 12, 1123. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12041123>.
- SU, F.; WU, J.; HE, S. **Set pair analysis-Markov chain model for groundwater quality assessment and prediction: a case study of Xi'an City, China.** Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2019 [online] 25. Disponível: <https://doi.org/10.1080/10807039.2019.1568860>. Acesso: 20 set. 2022
- TANOS, P.; KOVÁCS, J.; ANDA, A.; HATVANI, I. G. **Optimization of the monitoring network on the river Tisza (Central Europe, Hungary) using combined cluster and discriminant analysis, taking seasonality into account.** Environmental Monitoring and Assessment, v. 187, n. 9, p.1-14, 2015. DOI: 10.1016/S0043-1354(00)00592-3.
- TODESCHINI, R. **Qualidade da água em nascentes da bacia do Vacacaí-Mirim com diferentes usos e cobertura do solo.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2016, 159p.
- UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, 2019. **O Relatório Mundial de Desenvolvimento Hídrico das Nações Unidas 2019:** Não deixando ninguém para trás UNESCO, Paris. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2019/Google Scholar>. Acesso em: 31 ago. 2022.
- VANZELA, L.S., HERNANDEZ, F.B.T., FRANCO, R.A.M., 2010. **Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online] 14. DOI: 10.1590/S1415-43662010000100008.

- VILAÇA, M.F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R. **Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: O estudo de caso do ribeirão conquista no município de Itaguara/MG.** Anais... In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 13, Viçosa. Anais. Viçosa/MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 4a edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 472 p., 2014.
- XU, G.; REN, X.; YANG, Z.; LONG, H.; XIAO, J. **Influence of Landscape Structures on Water Quality at Multiple Temporal and Spatial Scales: A Case Study of Wujiang River Watershed in Guizhou.** Water, 2019, 11, 159. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11010159>.
- ZHAO, F.; XU, Z.; ZHANG, L. **Changes instreamflow regime following vegetation changes from paired catchments.** Hydrological processes, v. 26, n. 10, p. 1561-1573, maio 2012.
- ZHANG, J. LI, S. JIANG, C. **Effects of land use on water quality in a River Basin (Daning) of the Three Gorges Reservoir Area, China: Watershed versus riparian zone.** Ecological Indicators, v. 113, p. 106226, 2020.
- ZHANG, W; YAN, Y; ZHENG, J; LI, L; DONG, X; CAI, H. **Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China.** Global and Planetary Change 69:35-47, 2009.