



UFPE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JÔNATAS SANTOS DE ARAÚJO

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA NO RAMAL DO AGRESTE SITUADO NO
EIXO LESTE DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO**

Recife/PE

2024

JÔNATAS SANTOS DE ARAÚJO

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA NO RAMAL DO AGRESTE SITUADO NO
EIXO LESTE DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral.

Coorientadora: Dra. Érika Alves Tavares Marques.

Recife/PE

2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Araújo, Jônatas Santos de.

Análise da qualidade da água no Ramal do Agreste situado no Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco / Jônatas Santos de Araújo. - Recife, 2024.

119f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2024.

Orientação: Maria do Carmo Martins Sobral.

Coorientação: Érika Alves Tavares Marques.

1. Recursos Hídricos; 2. Transposição das Águas; 3. Uso e Ocupação do Solo. I. Sobral, Maria do Carmo Martins. II. Marques, Érika Alves Tavares. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

CDD 333.91

JÔNATAS SANTOS DE ARAÚJO

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA NO RAMAL DO AGRESTE SITUADO NO
EIXO LESTE DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE em Engenharia Civil. Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovado em: 24/07/2024

Orientadora: Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral.

Coorientadora: Dra. Érika Alves Tavares Marques.

BANCA EXAMINADORA

Participação por videoconferência

Prof^a. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite (examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação por videoconferência

Prof^a. Dr^a. Maristela Casé Costa Cunha (examinadora externa)
Universidade do Estado da Bahia

Participação por videoconferência

Prof^a. Dr^a. Gêrsica Moraes Nogueira da Silva (examinadora externa)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

À Deus, que tem abençoado meu caminho e me permitiu conquistar mais essa etapa, me deu forças para seguir em frente e continuar persistindo em todos os momentos.

À minha família, meus parentes e amigos, por serem minha fonte de motivação e aos demais que de forma direta ou indireta contribuíram tanto para meu desenvolvimento pessoal e profissional, como na elaboração deste trabalho.

À professora orientadora Dr^a Maria do Carmo Sobral, a qual tenho enorme gratidão e admiração, por ter acompanhado minha trajetória no mestrado, pela sua sabedoria e paciência, sempre me guiando pelo melhor caminho no decorrer deste projeto.

À Dr^a Érika Tavares Marques, por ser minha coorientadora, sempre atenciosa e disposta nos momentos que precisei, principalmente no início da elaboração deste trabalho, fornecendo informações relevantes para o desenvolvimento do mesmo.

Aos companheiros da pós-graduação, os quais tive a oportunidade de conhecer e conviver durante este período.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), aos professores, pelos conhecimentos adquiridos relevantes na construção da dissertação e técnicos da secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), pelas orientações de assuntos estudantis.

Ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, pela disponibilização do uso dos dados a respeito da qualidade de água.

Às pessoas e instituições que colaboraram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos, muito obrigado!

RESUMO

A Região do Agreste, característica do Nordeste brasileiro, é considerada uma faixa de transição entre a Zona da Mata e o Sertão, com precipitação média anual de 600 mm a 800 mm e historicamente esta região tem convivido com problemas relacionados à seca. Neste sentido, o Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – PISF, considerado um dos maiores empreendimentos de infraestrutura hídrica do Brasil, tem sido um marco para o desenvolvimento da Região Nordeste, com o objetivo de oferecer as águas do “Velho Chico” para as regiões com menos disponibilidade de água para atender a população. O Ramal do Agreste é uma obra situada no Estado de Pernambuco, que interliga o Eixo Leste do PISF até a Adutora do Agreste. Possui 70 km de comprimento e capacidade de disponibilidade de água de 8 m³/s, podendo atender mais de 2,2 milhões de pessoas em 68 municípios localizados no Agreste Pernambucano. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da água no Ramal do Agreste, apresentando uma análise crítica do resultado dos indicadores definidos pelo monitoramento de qualidade de água, durante o período de coleta de 2018 a 2022 e analisar do uso do solo das bacias onde situa o empreendimento. Foram analisados 5 pontos de estudos: P1 (Reservatório Cachoeira I), P2 (Rio Ipojuca, a montante do Reservatório Ipojuca), P3 (Reservatório Ipojuca), P4 (Reservatório Pão-de-Açúcar) e P5 (Rio Ipojuca, a jusante do Reservatório Pão-de-Açúcar). Observou-se que alguns parâmetros de qualidade estiveram fora dos limites estabelecidos pela Resolução do Conama nº 357/2005 para corpos d’água de Classe II. Além disso, os pontos P2 e P5 tiveram os piores resultados do Índice de Qualidade das Águas, enquanto o ponto P1 apresentou os melhores valores. Notou-se que a classificação do IQA está relacionada com sazonalidade, sendo melhores nos períodos de inverno, e piores nas épocas mais secas. Foi possível correlacionar as atividades antrópicas, com os impactos na qualidade da água dos corpos hídricos estudados nas bacias hidrográficas onde situa o Ramal do Agreste: Bacia do Rio Ipojuca (UP 05) e Bacia do Rio Moxotó (UP 10). Diante do exposto, faz-se necessário um maior controle e fiscalização ambiental por parte dos gestores públicos das atividades irregulares encontradas, tais como o lançamento de esgoto e resíduos da cana-de-açúcar, para que possam buscar a correção destas e demais atividades poluidoras, a fim de mitigar os efeitos da interferência humana nos corpos hídricos, focado também na melhoria dos indicadores de saneamento básico e proteção dos recursos hídricos.

Palavras-chave: recursos hídricos; transposição das águas; uso e ocupação do solo.

ABSTRACT

The Agreste Region, characteristic of the Brazilian Northeast, is considered a transition zone between the Zona da Mata and the Sertão, with an average annual rainfall ranging from 600 mm to 800 mm. Historically, this region has faced problems related to drought. In this context, the São Francisco River Integration Project (PISF), considered one of the largest water infrastructure projects in Brazil, has been a milestone for the development of the Northeast Region, aiming to provide the waters of the “Old Chico” to regions with less water availability to serve the population. The Agreste Branch is a project located in the State of Pernambuco, which connects the Eastern Axis of the PISF to the Agreste Pipeline. It is 70 km long and has a water availability capacity of 8 m³/s, capable of serving more than 2.2 million people in 68 municipalities located in the Agreste of Pernambuco. This study aims to evaluate the water quality in the Agreste Branch, presenting a critical analysis of the results of the indicators defined by the water quality monitoring campaign during the collection period from 2018 to 2022 and analyzing land use in the basins where the project is located. Five study points were analyzed: P1 (Cachoeira I Reservoir), P2 (Ipojuca River, upstream of the Ipojuca Reservoir), P3 (Ipojuca Reservoir), P4 (Pão-de-Açúcar Reservoir), and P5 (Ipojuca River, downstream of the Pão-de-Açúcar Reservoir). It was observed that some quality parameters were outside the limits established by Conama Resolution No. 357/2005 for Class II water bodies. Additionally, points P2 and P5 had the worst Water Quality Index results, while point P1 had the best values. It was noted that the WQI classification is related to periods of drought and rain, being better in the winter periods and worse in the drier seasons. It was possible to correlate anthropogenic activities with the impacts on water quality of the water bodies studied in the hydrographic basins where the Agreste Branch is located: Ipojuca River Basin (UP 05) and Moxotó River Basin (UP 10). In light of the above, greater environmental control and supervision by public managers of the irregular activities found, such as the discharge of sewage and sugarcane waste, are necessary to seek the correction of these and other polluting activities, in order to mitigate the effects of human interference in water bodies, also focusing on improving basic sanitation indicators and protecting water resources.

Keywords: water resources; water transposition; land use and occupation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mesorregiões do Estado de Pernambuco	20
Figura 2 - Planalto da Borborema.....	21
Figura 3 - Influência do Planalto da Borborema no clima e vegetação do Sertão	21
Figura 4 - Regiões de desenvolvimento do Estado de Pernambuco.....	22
Figura 5 - Variáveis analisadas para a transferência de águas entre bacias	23
Figura 6 - Condições hidrológicas da China	27
Figura 7 - Projeto de Transferência de Água Sul-Norte na China.....	28
Figura 8 - Extensão do Projeto de Transferência de Água Sul-Norte	28
Figura 9 - Dimensão de um dos canais do Projeto de Transferência de Água Sul-Norte	29
Figura 10 - Proposta do Projeto de Interligação dos Rios Indianos	30
Figura 11 - Mar Morto.....	31
Figura 12 - Diminuição do nível de água do Mar Morto ao longo dos anos.....	31
Figura 13 - Concepção do Canal da Paz ligando o Mar Vermelho e o Mar Morto.....	32
Figura 14 - Rio São Francisco	33
Figura 15 - Nascente do Rio São Francisco localizada na Serra da Canastra/MG.....	34
Figura 16 - Foz do Rio São Francisco divisa com os estados de Alagoas e Sergipe	34
Figura 17 - Bacia do Rio São Francisco	35
Figura 18 - Navios a vapor percorrendo o Rio São Francisco em Alagoas em 1870.....	36
Figura 19 - Concepção do Canal que ligaria o Rio São Francisco aos Rios do Ceará	37
Figura 20 – Inauguração popular do trecho do PISF em Monteiro na Paraíba em 2017	38
Figura 21 - Mapa do Eixo Norte e Eixo Leste do PISF	39
Figura 22 - Estação de bombeamento do Eixo Norte em Cabrobó/PE	39
Figura 23 - Extensão do Eixo Norte do Projeto de Transposição do Rio São Francisco	40
Figura 24 - Captação das águas no Eixo Leste em Floresta/PE	40
Figura 25 - Mapa da transposição com seus trechos atuais	41
Figura 26 - Ramal do Agreste em Pernambuco.....	42

Figura 27 - Extensão do Ramal do Agreste	42
Figura 28 - Localização dos municípios de Sertânia e Arcoverde/PE	43
Figura 29 - Município de Sertânia/PE	43
Figura 30 - Município de Arcoverde/PE	44
Figura 31 - Localização do Ramal do Agreste no Estado de Pernambuco.....	44
Figura 32 - Cidades onde percorrem o Eixo Leste e o Ramal do Agreste em Pernambuco	45
Figura 33 - Perfil do Ramal do Agreste.....	46
Figura 34 - Estruturas que compõem e o Ramal do Agreste	46
Figura 35 - Programas Básicos Ambientais do Ramal do Agreste.....	47
Figura 36 - Exemplos de parâmetros de qualidade da água	49
Figura 37 - Unidades de Planejamentos onde se situa o Ramal do Agreste.....	52
Figura 38 - Solicitação do uso da água do PISF em Pernambuco.....	53
Figura 39 - Classificação dos enquadramentos dos corpos d'água conforme os usos	54
Figura 40 - Localização do ponto P1 porção inicial do Ramal do Agreste	57
Figura 41 - Reservatório Cachoeira I localizado em Sertânia/PE	57
Figura 42 - Localização dos pontos P2 e P3 porção final do Ramal do Agreste.....	58
Figura 43 - Reservatório Ipojuca localizado em Ipojuca/PE	58
Figura 44 - Localização dos pontos P4 e P5 situados após o Ramal do Agreste	59
Figura 45 - Reservatório Pão de Açúcar localizado em Pesqueira/PE	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Principais usos da água no Brasil	25
Gráfico 2 - Análise de coliformes totais durante as campanhas de monitoramento.....	65
Gráfico 3 - Análise de cianobactérias durante as campanhas de monitoramento	67
Gráfico 4 - Análise de cloretos totais durante as campanhas de monitoramento	68
Gráfico 5 - Análise de DBO durante as campanhas de monitoramento	69
Gráfico 6 - Análise de ferro dissolvido durante as campanhas de monitoramento	70
Gráfico 7 - Análise de fósforo durante as campanhas de monitoramento.....	72
Gráfico 8 - Análise de manganês total durante as campanhas de monitoramento	73
Gráfico 9 - Análise de mercúrio durante as campanhas de monitoramento	74
Gráfico 10 - Análise de nitrogênio total durante as campanhas de monitoramento.....	76
Gráfico 11 - Análise de oxigênio dissolvido durante as campanhas de monitoramento	77
Gráfico 12 - Análise de pH durante as Campanhas de Monitoramento	78
Gráfico 13 - Análise de salinidade durante as campanhas de monitoramento	79
Gráfico 14 - Análise de sólidos totais durante as campanhas de monitoramento	81
Gráfico 15 - Análise de temperatura durante as campanhas de monitoramento	82
Gráfico 16 - Análise de turbidez durante as campanhas de monitoramento	83
Gráfico 17 - IQA do Ponto P1 ao longo das 12 campanhas de monitoramento.....	86
Gráfico 18 - IQA do Ponto P2 ao longo das 12 campanhas de monitoramento.....	87
Gráfico 19 - IQA do Ponto P3 ao longo das 12 campanhas de monitoramento.....	88
Gráfico 20 - IQA do Ponto P4 ao Longo das 12 campanhas de monitoramento	89
Gráfico 21 - IQA do Ponto P5 ao longo das 12 campanhas de monitoramento.....	90
Gráfico 22 - Volume de água do Reservatório Cachoeira I (Ponto P1)	93
Gráfico 23 - Relação entre o IQA e o Volume do Reservatório Cachoeira I (Ponto P1).....	94
Gráfico 24 - Comparação das vazões estimadas e outorgadas para o abastecimento	97
Gráfico 25 - Comparação das vazões estimadas e outorgadas para consumo animal	99

Gráfico 26 - Comparação das vazões estimadas e outorgadas para irrigação	100
Gráfico 27 - Comparação das vazões estimadas e outorgadas para uso industrial.....	102
Gráfico 28 - Distribuição dos usos da água demandada por setor em cada UP	102
Gráfico 29 - Índice urbano de abastecimento de água por Unidade de Planejamento	103
Gráfico 30 - Índice rural de abastecimento de água por Unidade de Planejamento.....	104
Gráfico 31 - Índice urbano de esgotamento sanitário por Unidade de Planejamento	105
Gráfico 32 - Índice rural de esgotamento sanitário por Unidade de Planejamento.....	106
Gráfico 33 - Produção agrícola em porcentagem do peso na UP05 Rio Ipojuca em 2016	107
Gráfico 34 - Produção agrícola em porcentagem do peso na UP10 Rio Moxotó em 2016....	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Municípios que compõem a Região do Agreste de Pernambuco.....	22
Quadro 2 - Categorias dos Usos da Água.....	25
Quadro 3 - Operadoras responsáveis pela gestão das águas no PISF em Pernambuco.....	53
Quadro 4 - Pontos de Amostragens da Área de Estudo.....	56
Quadro 5 - Período de Coleta das Amostras de Água	60
Quadro 6 - Parâmetros Físico-Químicos e Biológicos para análise de água.....	61
Quadro 7 - Valores dos pesos atribuídos para cada parâmetro.....	64
Quadro 8 - Classificação do IQA de acordo com a NSF e adaptado pela CETESB	64
Quadro 9 - Número de inconformidades encontradas para cada parâmetro.....	84
Quadro 10 - Índice de Qualidade da Água (IQA) Ponto P1	86
Quadro 11 - Índice de Qualidade da Água (IQA) Ponto P2	87
Quadro 12 - Índice de Qualidade da Água (IQA) Ponto P3.....	88
Quadro 13 - Índice de Qualidade da Água (IQA) Ponto P4.....	89
Quadro 14 - Índice de Qualidade da Água (IQA) Ponto P5.....	90
Quadro 15 - Volume do Reservatório Cachoeira I durante o período de 2018 a 2022	93
Quadro 16 – Disponibilidade hídrica superficial das Unidades de Planejamentos	95
Quadro 17 - Vazões estimadas para o abastecimento urbano por UP	96
Quadro 18 - Vazões outorgadas para o abastecimento urbano por UP	97
Quadro 19 - Vazões estimadas para a criação animal por UP.....	98
Quadro 20 - Vazões outorgadas para a criação animal por UP	98
Quadro 21 - Vazões estimadas para irrigação por UP	99
Quadro 22 - Vazões outorgadas para o abastecimento urbano por UP	100
Quadro 23 - Vazões estimadas para uso industrial por UP	101
Quadro 24 - Vazões outorgadas para o uso industrial por UP.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação dos coliformes totais no Ramal do Agreste durante o período de estudo	66
Tabela 2 - Variação das cianobactérias no Ramal do Agreste durante o período	67
Tabela 3 - Variação dos cloretos totais no Ramal do Agreste durante o período de estudo. ...	68
Tabela 4 - Variação da DBO no Ramal do Agreste durante o período de estudo.....	69
Tabela 5 - Variação de ferro dissolvido no Ramal do Agreste durante o período de estudo. ..	71
Tabela 6 - Variação de fósforo total no Ramal do Agreste durante o período de estudo.....	72
Tabela 7 - Variação de manganês total no Ramal do Agreste durante o período de estudo	73
Tabela 8 - Variação de mercúrio total no Ramal do Agreste durante o período de estudo.....	74
Tabela 9 - Variação do nitrogênio total no Ramal do Agreste durante o período de estudo....	76
Tabela 10 - Variação de OD no Ramal do Agreste durante o período de estudo.....	77
Tabela 11 - Variação do pH no Ramal do Agreste durante o período de estudo.	79
Tabela 12 - Variação da salinidade no Ramal do Agreste durante o período de estudo.	80
Tabela 13 - Variação dos sólidos totais no Ramal do Agreste durante o período de estudo....	81
Tabela 14 - Variação de temperatura no Ramal do Agreste durante o período de estudo.	82
Tabela 15 - Variação de turbidez no Ramal do Agreste durante o período de estudo.	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONDEPE/FIDEM	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco
CPRH/PE	Agência Estadual de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNOCS	Departamento Nacional de Obras contra as Secas
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IQA	Índice de Qualidade das Águas
MIDR	Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional
NSF	National Sanitation Foundation
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PBA	Programas Básicos Ambientais
PBA16	Programa de Monitoramento da Qualidade da Água e Limnologia
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PGA	Plano de Gestão Anual
POA	Plano Operativo Anual
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SNWTP	Projeto de Transferência de Água Sul-Norte
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UP	Unidades de Planejamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo geral	18
1.2.2 Objetivos específicos	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO AGRESTE PERNAMBUCANO	20
2.2 TRANSPOSIÇÃO DAS ÁGUAS	23
2.3 CASOS NOTÁVEIS DE TRANSPOSIÇÃO DAS ÁGUAS	26
2.4 PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO	33
2.4.1 Aspectos históricos, econômicos e sociais do Rio São Francisco	33
2.4.2 Estruturas Principais do PISF: Eixo Norte e Eixo Leste	38
2.4.3 Ramal do Agreste	41
2.4.3.1 Caracterização do Empreendimento	41
2.4.3.2 Programas Básicos Ambientais	47
2.5. PARÂMETROS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS	48
2.6 INSTRUMENTOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS	51
3 METODOLOGIA	56
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	56
3.2 PERÍODO DE COLETA DOS DADOS	59
3.3 OBTENÇÃO DE DADOS DA QUALIDADE DA ÁGUA E USO DO SOLO	60
3.4 PARÂMETROS ANALISADOS	61
3.5 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS BIOLÓGICOS	65

4.2 ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS	68
4.3 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DOS PONTOS ANALISADOS	85
4.4 INFLUÊNCIA DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO NA QUALIDADE DA ÁGUA.....	92
4.5 DIAGNÓSTICO DAS BACIAS DOS RIOS IPOJUCA E MOXOTÓ.....	95
4.5.1 Usos Consuntivos da Água.....	96
4.5.2 Indicadores de Saneamento Básico	103
4.5.3 Uso e Ocupação do Solo	106
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	110
5.1 CONCLUSÕES	110
5.2 RECOMENDAÇÕES.....	112
REFERÊNCIAS.....	114

1 INTRODUÇÃO

Os primeiros relatos a respeito do projeto de transposição das águas do São Francisco datam do ano de 1847, época do Segundo Reinado brasileiro, quando o engenheiro Marcos de Macedo, natural do Ceará, apresentou uma proposta ao imperador Dom Pedro II, com o objetivo de atenuar as adversidades ocasionadas pela seca da Região Nordeste (IPEA, 2011).

A partir deste fato, esta proposta foi debatida em vários outros momentos da história brasileira, porém sem sucesso. No entanto, sua execução só foi colocada em prática durante os dois primeiros mandatos do presidente Luís Inácio Lula da Silva. A partir do ano de 2003, retomaram-se os estudos para a viabilidade da transposição, naquela época, sob a responsabilidade do ministro da Integração Nacional, Ciro Gomes, de realizar o empreendimento, iniciada de fato em 2007 (IPEA, 2011).

Neste sentido, vale ressaltar que a região correspondente ao sertão do Nordeste brasileiro é a mais vulnerável aos problemas relacionados à escassez de água, pois são caracterizados pelos altos índices de evapotranspiração e por uma frequência irregular das chuvas ao longo do ano, ocasionando períodos longos de seca, o que diminui a disponibilidade hídrica. Somado a isto, o crescimento populacional, o aumento das atividades agrícolas, com o uso excessivo de fertilizantes e o mal manejo do solo próximo dos reservatórios, vem afetando a qualidade da água (SOBRAL et al, 2018).

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional - PISF é considerado o maior empreendimento de infraestrutura hídrica do Brasil, tendo como base legislativa, a Lei nº 9.433/97, correspondente à Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). A obra principal é formada por dois eixos de transporte das águas, sendo o Eixo Norte, que possui 260 km de comprimento e o Eixo Leste, com 217 km. Estes dois componentes são responsáveis por captar parte das águas do Rio São Francisco, que se localizam no interior do Estado de Pernambuco, sendo transportadas pelas adutoras e ramais que irão abastecer os rios e açudes regionais (CMAP, 2021).

Neste contexto, o Ramal do Agreste - Trecho VII é uma obra situada no Estado de Pernambuco, que interliga o Eixo Leste do PISF até a Adutora do Agreste, também localizada no estado. Este ramal possui aproximadamente 70 km de comprimento, com uma capacidade de demanda de água de 8 m³/s, o que irá favorecer uma estimativa de mais de 2,2 milhões de pessoas, abrangendo a maioria dos municípios situados no Agreste Pernambucano, como Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe, Belo Jardim e Arcoverde (CMAP, 2021).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da água no Ramal do Agreste - Trecho VII, correspondente ao Eixo Leste do PISF, realizando uma análise crítica dos indicadores definidos pela recente campanha de monitoramento de qualidade de água e Limnologia do Ramal do Agreste, durante o período de coleta de 2018 a 2022, além de obter um diagnóstico do uso do solo das bacias onde se situa o empreendimento e propor recomendações e sugestões para um bom uso do solo e uma melhor qualidade das águas em torno deste ramal para a população.

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com Suassuna (2005), a Região Nordeste, historicamente, tem convivido com a seca, com destaque para o clima semiárido, com chuvas escassas (entre 500 a 800mm por ano) e mal distribuídas ao longo do ano. A posição geográfica também é um fator preponderante, pois está localizada próxima à Linha do Equador, onde há uma maior incidência de radiação solar e índices elevados de evapotranspiração.

Aliado a este fator, Silva (2018) afirma que os fatores antrópicos, como o fomento do setor industrial, combinado com crescimento urbano desordenado, tem ocasionado uma maior geração e descarte de resíduos, os quais vêm poluindo os rios, lagos, represas e lençóis freáticos, diminuindo a qualidade das águas, além de transformar o meio em que vive, afetando o equilíbrio ambiental.

A conscientização da população sobre a atual situação de escassez que vem ocorrendo mundialmente, tem feito com que a água fosse tratada como um bem cada vez mais valioso, público e finito. Além disso, mudanças de hábitos e atividades que visem o uso mais racional e sustentável dos recursos hídricos são fundamentais para que se tenha maior disponibilidade hídrica para seus diversos usos. Neste contexto, a baixa na oferta de água gera impactos negativos no cotidiano da sociedade e na economia do país, exigindo maior investimento na busca de soluções para diminuir os problemas de escassez (ANA, 2015).

Diante desta problemática, conforme afirmam Rossiter et. al. (2021), a principal razão para a transposição das águas entre bacias situadas nas regiões de climas semiáridos é devido à garantia de segurança hídrica, a fim de aumentar a disponibilidade de recursos hídricos para atender as necessidades da população e realização das atividades essenciais para a região. Esta solução é fundamentada no princípio moral da garantia de acesso à água, seja ao abastecimento humano e a dessedentação de animais, sendo um direito incluído nas constituições de diversos países.

Portanto, o Ramal do Agreste, inserido no Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco, irá beneficiar as populações rural e urbana, abrangendo cerca de 70 municípios que estão situados na região do Agreste do Estado de Pernambuco. Além disso, serão construídas adutoras, que serão abastecidas pelo ramal, com uma projeção de atender 3,2 milhões de pessoas até 2025. Com uma garantia hídrica segura vinda deste projeto, os benefícios deste empreendimento aumentarão a disponibilidade de uma água de melhor qualidade na região, atenuando os problemas escassez, além de diminuir os gastos com o tratamento de água pela Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA (BRASIL, 2012).

O presente trabalho também tem o intuito de poder de contribuir com os estudos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa de Gestão Ambiental nos trechos correspondentes ao Projeto de Integração do Rio São Francisco, já realizados, ou em andamento pelos docentes e discentes da Universidade Federal de Pernambuco, trazendo mais informações relevantes a respeito da qualidade da água, uso e ocupação do solo e práticas sustentáveis de gestão ambiental para a região.

Ressalta-se que esta dissertação se encontra alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) na Agenda 2030, para promover o desenvolvimento sustentável. Neste contexto, a gestão das águas para o desenvolvimento da região, por meio do abastecimento e acesso ao saneamento básico faz parte do ODS 6 - Água Limpa e Saneamento. Além disso, o trabalho está relacionado ao ODS 1 - Erradicação da Fome; ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis e ODS 13 - Combate às Alterações Climáticas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a qualidade da água do Ramal do Agreste situado no Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) no estado de Pernambuco.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os parâmetros de qualidade da água dos pontos em estudo, conforme a Resolução do CONAMA nº 357/2005 para rios e reservatórios de Classe II;

- Determinar o Índice de Qualidade das Águas (IQAs) dos pontos analisados;
- Caracterizar o uso e ocupação do solo das Bacias dos Rios Moxotó e Ipojuca e correlacionar com os parâmetros críticos de qualidade e os IQAs dos pontos em estudo;
- Propor recomendações no uso do solo e práticas de gestão de recursos hídricos na região do Ramal do Agreste a fim de promover uma melhor qualidade das águas para a população.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

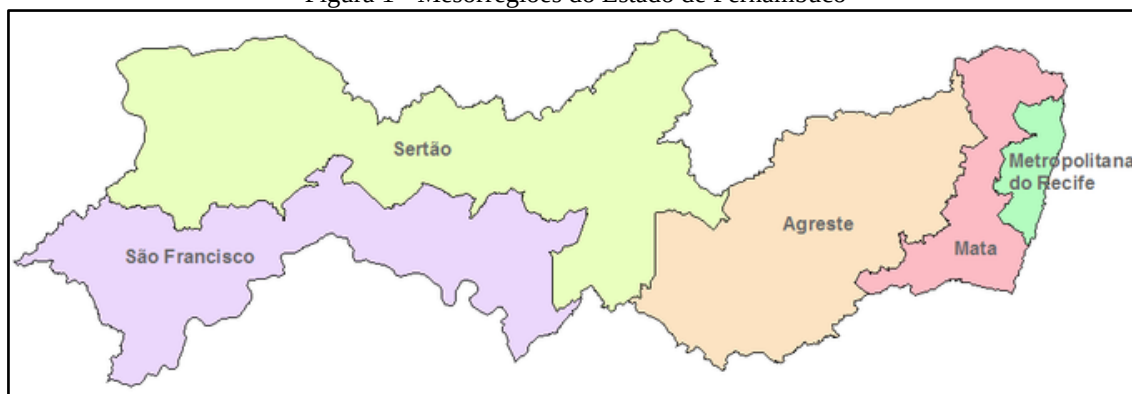
O presente tópico apresentará um embasamento bibliográfico a respeito dos tópicos que compõem esta pesquisa. Primeiramente será abordado sobre a caracterização da região correspondente ao agreste pernambucano, em seguida, a respeito os processos de transferências entre bacias hidrográficas, bem como os casos internacionais de transposição, para em seguida, apresentar sobre o Projeto de Integração do Rio São Francisco, abordando sobre a importância do “Velho Chico”, os Eixos Norte e Leste e finalmente apresentar o Ramal do Agreste, objeto central deste estudo, bem como os instrumentos legislativos para a sua gestão das águas e controle de qualidade.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO AGRESTE PERNAMBUCANO

A Região do Agreste, característica do Nordeste brasileiro, representa a zona de transição entre a Zona da Mata e o Sertão e se estende desde o Sul da Bahia até partes dos estados de Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Em termos de precipitação pluviométrica média anual, essa região geralmente registra valores predominantes na faixa de 600 mm a 800 mm (AMARAL et al, 2021).

O Agreste compõe uma das mesorregiões do estado de Pernambuco (Figura 1) e junto com o Sertão, formam 70% do seu território, com predominância do clima semiárido (AMARAL et al, 2021).

Figura 1 - Mesorregiões do Estado de Pernambuco



Fonte: Ministério da Educação (2020)

Ainda com relação ao clima e relevo, o Agreste possui uma peculiaridade, pois se encontra em regiões de planaltos, com destaque para o Planalto da Borborema (Figura 2), onde as temperaturas médias do ar são mais agradáveis, em torno de 21 °C a 23 °C. Temperaturas do

ar mais amenas também são observadas no Sertão, em algumas áreas excepcionais conhecidas como "brejos de altitudes," que estão localizadas em altitudes acima de 800 metros (AMARAL et al, 2021).

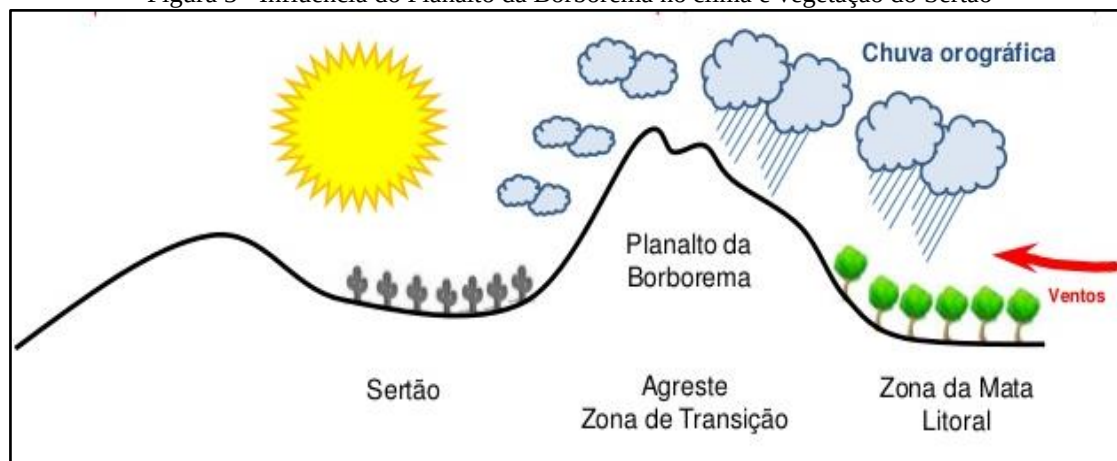
Figura 2 - Planalto da Borborema



Fonte: Izaura Araújo (2019)

Quando se trata das suas particularidades geográficas e biológicas, o Planalto da Borborema age como um obstáculo para a penetração da umidade em direção aos municípios do interior do Nordeste, criando variações climáticas distintas (Figura 3). Essas variações climáticas se manifestam na vegetação, que é predominantemente de savana, mas em certas áreas com altas altitudes e níveis de umidade, é possível encontrar vegetação florestada (BARROS et al, 2018).

Figura 3 - Influência do Planalto da Borborema no clima e vegetação do Sertão

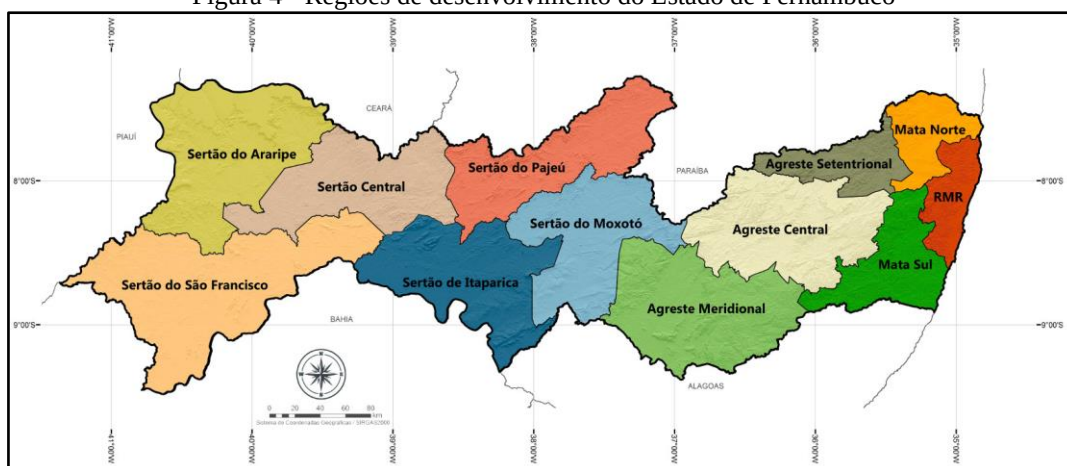


Fonte: Antônio Félix (2023)

Conforme pode se observar na Figura 3, os ventos quentes e úmidos vindos dos litorais ao se deslocar em direção ao Planalto da Borborema, são bloqueados, impedindo que parte das massas de ar úmidas cheguem até o interior do Sertão, resultando em um vento quente e seco.

Já com relação às Regiões de Desenvolvimento (Figura 4), a Mesorregião do Agreste de Pernambuco é subdividida em 3 regiões: Agreste Meridional, Agreste Central e Agreste Setentrional, abrangendo ao todo 71 municípios da Mesorregião.

Figura 4 - Regiões de desenvolvimento do Estado de Pernambuco



Fonte SEDEC/PE (2023)

O Quadro 1 a seguir apresenta os municípios que compõem cada região de Desenvolvimento da Mesorregião do Agreste e suas respectivas populações totais.

Quadro 1 - Municípios que compõem a Região do Agreste de Pernambuco

Mesorregião	Regiões de Desenvolvimento	Municípios	População IBGE (2010)
Agreste	Agreste Central	Agrestina, Alagoinha, Altinho, Barra de Guabiraba, Belo Jardim, Bezerras, Bonito, Brejo da Madre de Deus, Cachoeirinha, Camocim de São Félix, Caruaru, Cupira, Gravatá, Ibirajuba, Jataúba, Lagoa dos Gatos, Panelas, Pesqueira, Poção, Riacho das Almas, Sairé, Sanharó, São Bento do Una, São Caetano, São Joaquim do Monte, Tacaimbó	1.048.968
	Agreste Meridional	Águas Belas, Angelim, Bom Conselho, Brejão, Buíque, Caetés, Calçado, Canhotinho, Capoeiras, Correntes, Garanhuns, Iati, Itaíba, Jucati, Jupi, Jurema, Lagoa do Ouro, Lajedo, Palmeirina, Paranatama, Pedra, Saloá, São João, Terezinha, Tupanatinga, Venturosa	641.727
	Agreste Setentrional	Bom Jardim, Casinhas, Cumaru, Feira Nova, Frei Miguelinho, João Alfredo, Limoeiro, Machados, Orobó, Passira, Salgadinho, Sta. Cruz do Capibaribe, Sta. Maria do Cambucá, São Vicente Férrer, Surubim, Taquaritinga do Norte, Toritama, Vertente do Lério, Vertentes	463.771

Fonte: Adaptado de Censo IBGE (2010) - Observatório das Metrôpoles/PE

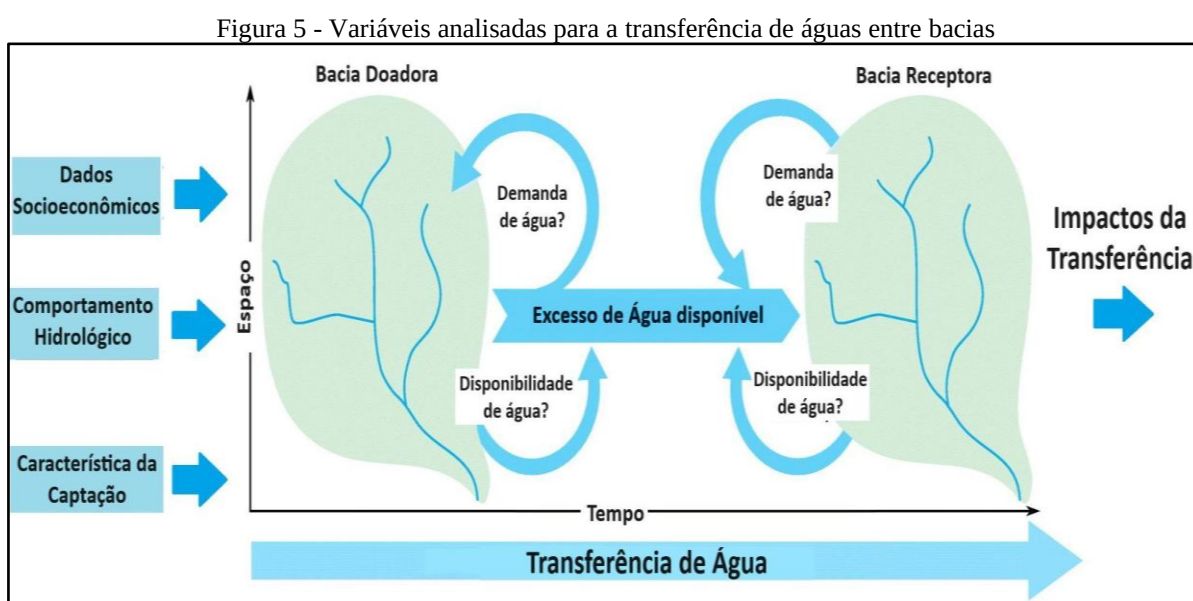
A caracterização da Região do Agreste é de fundamental importância para entender a justificativa da transposição das águas promovida pelo Governo Federal, por meio do Projeto de Integração do Rio São Francisco, através da construção e operação do Ramal do Agreste.

Neste sentido, o tópico seguinte será melhor detalhado sobre o processo de transposição das águas, sua dinâmica, benefícios e limitações.

2.2 TRANSPOSIÇÃO DAS ÁGUAS

Uma transferência de água entre bacias consiste na elaboração de projetos com o objetivo de deslocar parte dos recursos hídricos de uma região com alta disponibilidade de água para outra, onde a água é limitada. Neste sentido, é necessário buscar um equilíbrio na distribuição de água entre as bacias, de acordo com as necessidades de abastecimento nas áreas mais carentes (ZHUANG, 2016).

Sinha et al. (2020) reforçam que os critérios básicos para a transposição de águas (Figura 5) partem de 2 requisitos comuns principais: a bacia doadora além de ter disponibilidade hídrica suficiente, deve-se levar em conta a demanda real atual e futura da população; e a bacia receptora deve considerar a demanda real de água, após considerar todas as possibilidades dentro da bacia.



Fonte: Adaptado de SINHA et al (2020)

Conforme a figura acima, é importante que sejam analisados alguns indicadores para a elaboração do projeto de transposição, como os dados socioeconômicos das duas bacias, o

comportamento hidrológico (precipitação, clima, evaporação) e a característica da captação, ou seja, a forma que as águas serão transportadas (canais, galerias, aquedutos).

Após os estudos de demanda e disponibilidade de água e a execução do projeto, poderão ser observados os impactos a curto, médio e longo prazo, desejavelmente positivos (atendimento das demandas hídricas da bacia doadora) e possíveis impactos negativos, os quais devem ser monitorados e mitigados.

Wang et al (2023) afirmam que há uma necessidade urgente de equilibrar a oferta e a demanda em resposta à escassez de água, em especial, em regiões áridas e semiáridas.

Um outro ponto importante a ser considerado se refere à destinação do uso da água e por qual objetivo a bacia hidrográfica doadora irá transpor as águas para a bacia receptora.

Neste sentido, é necessário entender quais são os tipos de usos da água, seja para sua principal função de atender as necessidades humanas, como também para o desenvolvimento de atividades econômicas e ambientais.

Desta forma, existem 3 tipos de utilização da água (KHRAN et al., 2007):

- Usos Consuntivos (C):

São as atividades que retiram a água de sua fonte natural. Isso significa que a água é consumida e não retorna à fonte, diminuindo sua disponibilidade tanto em termos de quantidade como de tempo. Por exemplo, quando a água é utilizada para irrigar plantações e não retorna ao rio ou aquífero.

- Usos Não-consuntivos (NC):

São as atividades que não retiram a água de sua fonte natural. Embora possa haver algumas mudanças na disponibilidade temporal da água (quando é devolvida), a quantidade líquida de água na fonte não é significativamente afetada. Um exemplo disso seria a água usada em uma usina hidrelétrica, que é devolvida ao rio após a geração de eletricidade.

- Usos Locais (L):

Esse tipo de uso envolve a utilização da água diretamente em sua fonte, sem causar alterações significativas em sua disponibilidade temporal ou espacial. Um exemplo seria a coleta de água de um riacho para consumo imediato, onde a água é retirada e utilizada no mesmo local, sem ser desviada para longe.

Essas categorias ajudam a entender como diferentes tipos de uso da água (Quadro 2) afetam sua disponibilidade e qualidade em uma determinada área.

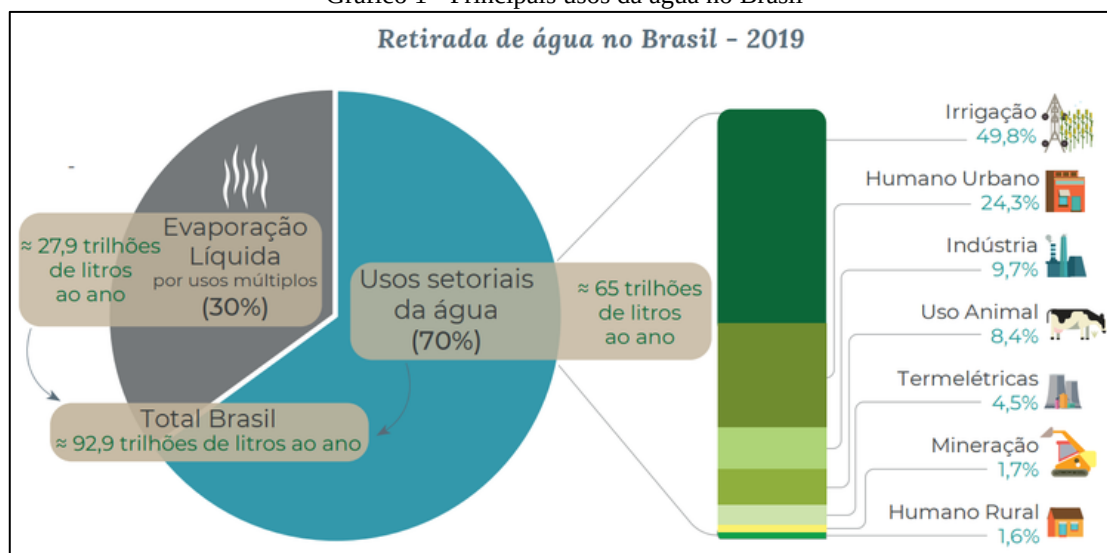
Quadro 2 - Categorias dos Usos da Água

1 - População	2 - Atividades Agropecuárias	3 - Industriais	4 - Preservação
Abastecimento (C) Uso doméstico (C) Uso urbano (C) Navegação (NC) Recreação (NC)	Agricultura (C) Pecuária (C) Irrigação (C) Piscicultura (NC)	Arrefecimento (C) Termoeletricidade (C) Mineração (NC) Hidreletricidade (NC)	Conservação de lagos, rios, mangues e APPs (NC, L)

Fonte: Adaptado de Organização das Nações Unidas (1976)

No Brasil, em termos de quantidade de demanda de água, seu uso se destina principalmente para a irrigação (SOITO, 2019), em seguida ao abastecimento humano, correspondendo juntas por aproximadamente 75% (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Principais usos da água no Brasil



Fonte: ANA (2019)

A principal razão por trás da transferência de água é sempre atender às demandas causadas pela sua falta em determinadas regiões. É importante destacar que a própria transferência de água não é considerada um uso em si. O ato de transportar água de uma bacia hidrográfica para outra pode permitir uma variedade de usos, tais como abastecimento de água para consumo humano e animal, irrigação agrícola, suporte à navegação, geração de energia elétrica, entre outros (KHRAN et al, 2007).

Diante do exposto, os conhecimentos de transferências das águas de bacias hidrográficas são fundamentais para a elaboração de um projeto de transposição. Saber identificar as potencialidades hídricas disponíveis da bacia doadora, bem como conhecer as principais demandas e usos da água das bacias receptoras, permite identificar qual a quantidade de vazão que será transportada a fim de atender as necessidades da região desta bacia, promovendo o seu desenvolvimento. No próximo tópico serão apresentados alguns casos de transposição mais notáveis.

2.3 CASOS NOTÁVEIS DE TRANSPOSIÇÃO DAS ÁGUAS

Com o crescimento populacional das últimas décadas, para ser mais específico após a Revolução Industrial no século XVIII, tem sido de forma acelerada em todo o mundo. O desenvolvimento tecnológico e da ciência moderna, por exemplo, foram fatores fundamentais para a melhora da qualidade de vida e prosperidade humana.

Devido a este rápido crescimento, a demanda por necessidades humanas e suprimentos também tem aumentado de forma significativa, sejam eles: matérias-primas, alimentos e a água.

Como os recursos naturais da Terra não são ilimitados, a água - em especial, se tornou um bem cada vez mais escasso e valioso no mundo todo.

A fim de amenizar tal limitação, alguns países têm buscado alternativas com o intuito de manter suas fontes de abastecimento de água. Neste sentido, a transferência de água entre bacias tem sido bastante utilizada para solucionar os problemas de déficit hídrico em muitas partes do mundo. Assim, os projetos da transposição geram impactos nas áreas ambientais, econômicas e sociais, tanto nas bacias hidrográficas doadoras como nas bacias hidrográficas receptoras (LIU et al, 2023).

Diante do exposto, serão apresentados os alguns projetos mais notáveis de transposição das águas, em execução e em planejamento. Dentre eles: China, Índia e Jordânia-Israel.

Nas últimas três décadas, a China (Figura 6) experimentou um dos crescimentos econômicos mais rápidos em comparação com outras nações e atualmente ocupa a segunda posição mundial. No entanto, o progresso econômico do 2º país mais populoso do mundo está enfrentando um desafio cada vez maior devido à escassez de recursos hídricos no país (LIU et al, 2013).

Figura 6 - Condições hidrológicas da China



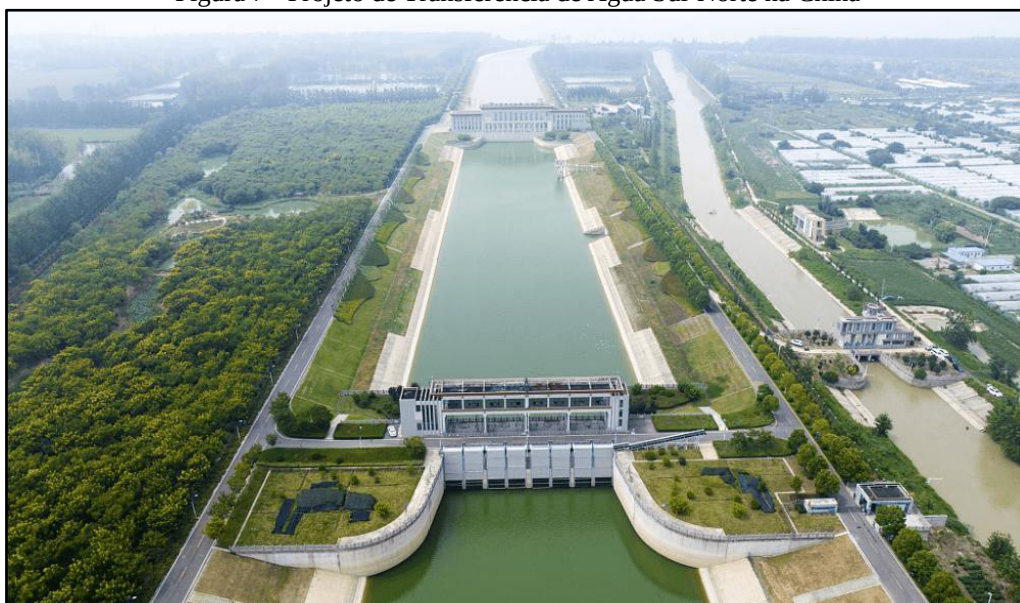
Fonte: Jornal Mundo (2013)

Com apenas 6% dos recursos hídricos globais e 9% das terras aráveis do mundo, a China é responsável por alimentar uma impressionante parcela de 21% da população mundial. Essa notável realização só foi possível devido a um extenso conjunto de empreendimentos de preservação de água, incluindo a construção de barragens, reservatórios, sistemas de irrigação avançados e projetos de transferência de água (LIU et al, 2013).

Diante disto, a China é dona do maior projeto de transposição de águas do mundo, denominado de “Projeto de Transferência de Água Sul-Norte”, ou em inglês *South-to-North Water Transfer Project* - SNWTP, com sua extensão total de 3187 Km (LIU et al, 2013).

Este projeto (Figura 7) tem como objetivo transferir parte das águas do Rio Yangtzé (considerado o maior rio da Ásia), que está localizado no Sul da China, abundante em água, para sua região norte (ZHAO et al, 2017).

Figura 7 - Projeto de Transferência de Água Sul-Norte na China



Fonte: China Daily (2022)

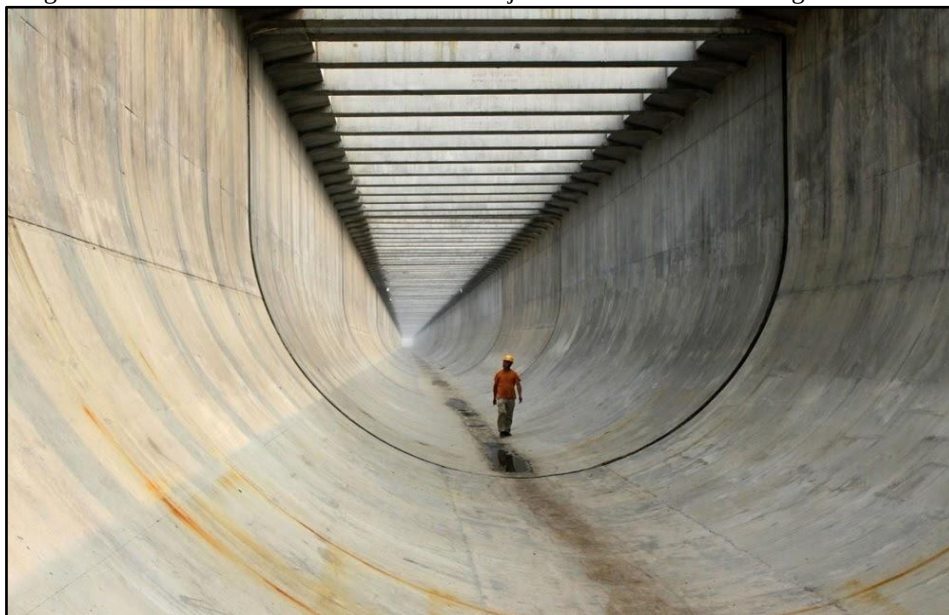
De acordo com ZHAO et al (2017), o empreendimento foi dividido em três etapas, seguindo o Plano Diretor do projeto, sendo o estágio I: 2002 - 2010, estágio II: 2011 - 2030 e estágio III: 2031 - 2050. O volume final de água transferido previsto pelo projeto disponibilizará cerca de 44,8 bilhões de m³ por ano até 2050, que é equivalente ao volume total de água do Rio Amarelo, beneficiando aproximadamente 200 milhões de habitantes (Figuras 8 e 9).

Figura 8 - Extensão do Projeto de Transferência de Água Sul-Norte



Fonte: www.internetgeography.net (2023)

Figura 9 - Dimensão de um dos canais do Projeto de Transferência de Água Sul-Norte



Fonte: Construction Time (2023)

A Índia abriga mais de 18% da população global, porém possui apenas 4% dos recursos hídricos renováveis do planeta e uma área terrestre que representa apenas 2,4% do total. Com uma população e necessidades crescentes de uma potência emergente em rápido desenvolvimento, além dos eventos extremos de chuvas intensas e secas prolongadas, ocasionados pelas mudanças climáticas, a disponibilidade de água potável tem gerado uma maior pressão. Este fato pode intensificar os conflitos relacionados à água entre diferentes grupos de usuários (INDIA, 2012).

A Constituição indiana de 1945 tornou a água um assunto estatal, o que gerou rivalidades entre os estados pela utilização dos recursos hídricos, levando à criação da Lei de Disputas Interestaduais de Água, em 1956. Outra problemática é que existem regiões que sofrem com inundações frequentes, enquanto outras enfrentam períodos prolongados de seca (GUPTA e VAN DER ZAAG, 2008).

A Índia é considerada um subcontinente de grande escala. Portanto, os desafios do país mais populoso do mundo, também são de altas proporções, o que leva a tomar grandes ideias. Um dos projetos em estudo consiste em ligar todos os rios da Índia (GUPTA e VAN DER ZAAG, 2008).

O Projeto de Interligação dos Rios Indianos, do inglês (*Indian Rivers Interlinking*) em estudo, poderá ser considerado um dos maiores projetos de Engenharia Civil do mundo. O projeto (Figura 10) tem o objetivo de transferir as águas das bacias hidrográficas excedentárias

do Leste para as regiões Oeste e Central da Índia, com escassez de água, a fim de amenizar as condições de seca nessas regiões (SHARMA, 2022)

Figura 10 - Proposta do Projeto de Interligação dos Rios Indianos



Fonte: www.byjus.com (2023)

No projeto estão previstos 30 canais e cerca de 3000 reservatórios, que irão conectar 37 rios do Himalaia e da Península. O planejamento deste empreendimento está sendo realizado pela Agência Nacional de Desenvolvimento Hídrico do país. Esta proposta compreende dois eixos, a Componente Himalaia, com 14 canais, e a Componente Peninsular, com 16 canais (SHARMA, 2022).

O Mar Morto, situado entre Jordânia e Israel, tem sido um lugar fundamental na Idade Antiga, fazendo parte de muitas culturas e religiões durante séculos. Cabe ressaltar que a região ao redor do lago é considerada o berço da cultura e da civilização humana. Além disso, o lugar abriga inúmeros sítios arqueológicos e históricos (CLOSSON et al, 2010).

Outro fato relevante consiste no fato do Mar Morto (Figura 11) ser o ponto mais baixo da Terra, com registros de 423 m abaixo do nível do mar, em 2010. A sua água é considerada dez vezes mais salgada que as águas dos oceanos, tornando uma das concentrações hídricas mais salinas do planeta. Sua composição química e a interação entre água doce e água salgada

contribuem para a criação de um ecossistema único e de importância internacional (CLOSSON et al, 2010).

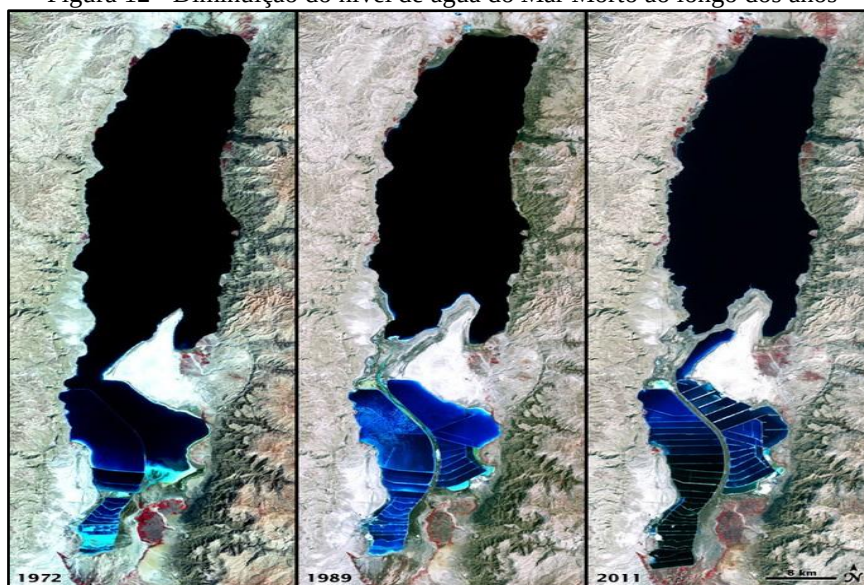
Figura 11 - Mar Morto



Fonte: www.shutterstock.com (2023)

A problemática consiste na crescente diminuição do nível d'água do Mar Morto a cada ano. Entre a década de 1960 e 2010, houve uma diminuição no nível da água de 394 metros abaixo do nível do mar para 423 metros abaixo do nível do mar. Como resultado desse processo, a superfície do Mar Morto foi reduzida em aproximadamente um terço, diminuindo de cerca de 950 para 637 Km² (Figura 12). Atualmente, o nível diminui em cerca de mais de 1 metro por ano (CLOSSON et al, 2010).

Figura 12 - Diminuição do nível de água do Mar Morto ao longo dos anos



Fonte: NASA (2011)

Os principais contribuintes para o declínio do nível da água nos últimos anos se devem ao desvio de água para seu principal afluente "Rio Jordão" e as atividades químicas industriais nas regiões leste e oeste do Mar Morto (KHLAIFAT et al, 2020).

Desde a assinatura do Tratado de Paz entre Israel e Jordânia em 1994, tem sido considerada a ideia de construir o Canal da Paz, que ligaria o Mar Vermelho ao Mar Morto. A finalidade desse canal seria combater o problema da redução do nível da água no Mar Morto e restaurá-lo para um nível desejado. Além disso, o canal seria projetado de forma a regular a entrada de água para compensar a evaporação, garantindo a estabilidade do lago (OREN et al, 2004).

O Canal do Mar Vermelho-Mar Morto (Figura 13) em estudo forneceria uma solução ambiental consistente para salvar o Mar Morto e seu ecossistema, eliminando o impacto do declínio do nível d'água por meio do fornecimento contínuo das águas do Mar Vermelho. Este projeto traria benefícios sociais, pois promoveria água potável e eletricidade para os países vizinhos ao Mar Morto, além de elevar o nível da água do Mar Morto, diminuindo também a salinidade da camada superior de água (KHLAIFAT et al, 2020).

Figura 13 - Concepção do Canal da Paz ligando o Mar Vermelho e o Mar Morto



Fonte: aljazeera.com (2008)

O conhecimento sobre os projetos em estudo e em execução apresentados acima ressalta a importância dos projetos de transposição das águas, a fim de atenderem às suas necessidades.

Cada região do mundo tem suas particularidades que devem ser levadas em conta,

considerando suas oportunidades e desafios para a seleção do melhor caminho de obtenção de suprimento de água para promover o desenvolvimento de suas nações.

Diante dos vários casos mencionados, no tópico a seguir será apresentado sobre o Projeto de Integração do Rio São Francisco, localizado no Nordeste brasileiro, ressaltando seu contexto histórico, sua estrutura, os estados que estão sendo beneficiados, além da sua importância para o desenvolvimento regional, social e econômico.

2.4 PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

2.4.1 Aspectos históricos, econômicos e sociais do Rio São Francisco

O Rio São Francisco (Figura 14), também conhecido como “Opará”, na língua tupi-guarani, ou popularmente conhecido como “Velho Chico”, é um dos cursos d’água mais significativos do Brasil e da América Latina. A origem do nome do rio remonta desde o período colonial, com uma expedição de reconhecimento da costa brasileira liderada por Américo Vespúcio, que avistou a foz do rio em 4 de outubro de 1501. Naquele tempo, era costume que as expedições nomeassem os lugares que exploravam em homenagem ao santo padroeiro do dia. Neste dia em especial, o santo celebrado era então São Francisco de Assis (IEPHA, 2015).

Figura 14 - Rio São Francisco



Fonte: Assembleia Legislativa/SE (2022)

Tendo sua nascente na região da Serra da Canastra (Figura 15), o Rio São Francisco desempenhou historicamente um papel de enorme relevância na unificação do território brasileiro, pois contribuiu pela união das regiões Sudeste e Centro-Oeste com o Nordeste do país, ao longo de sua extensa dimensão cerca de 2.800 km, que se inicia em Minas Gerais e culmina na sua foz no Oceano Atlântico (Figura 16), localizada fronteira entre Sergipe e Alagoas (CASTRO & PEREIRA, 2019).

Figura 15 - Nascente do Rio São Francisco localizada na Serra da Canastra/MG



Fonte: ICMBio (2021)

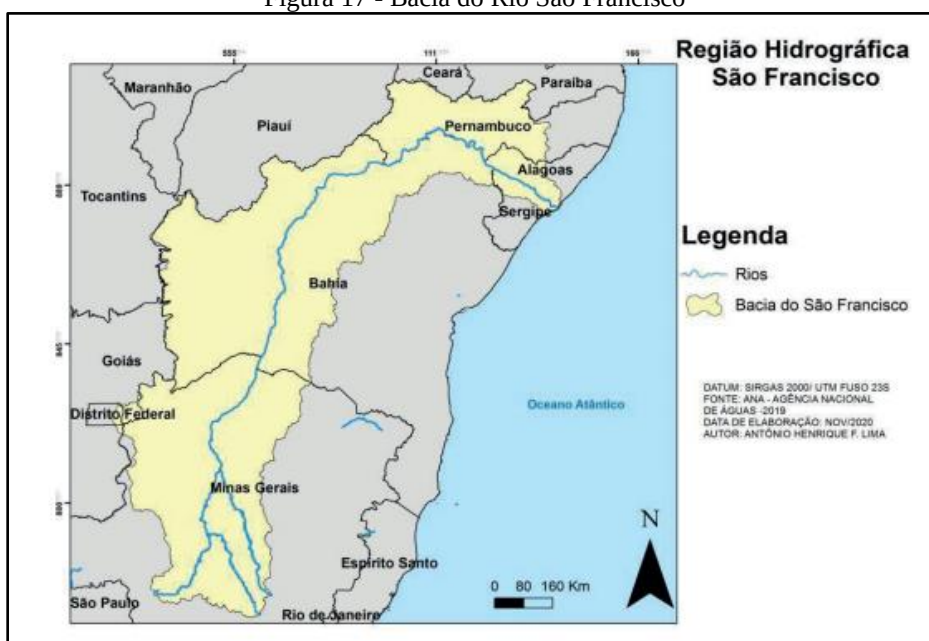
Figura 16 - Foz do Rio São Francisco divisa com os estados de Alagoas e Sergipe



Fonte: www.canoadetolda.org.br (2018) - Adaptado

Sua bacia hidrográfica (Figura 17) abrange aproximadamente 640 mil quilômetros quadrados, onde estão residentes cerca de 18,2 milhões de pessoas. Esta bacia abrange diversos estados, incluindo Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe. Notavelmente, o rio São Francisco, por si só, contribui com quase 70% da oferta de águas superficiais disponíveis na região Nordeste, destacando sua importância como fonte de recursos hídricos para essa área do país (CASTRO & PEREIRA, 2019).

Figura 17 - Bacia do Rio São Francisco



Fonte: Agência Nacional de Águas - ANA (2019)

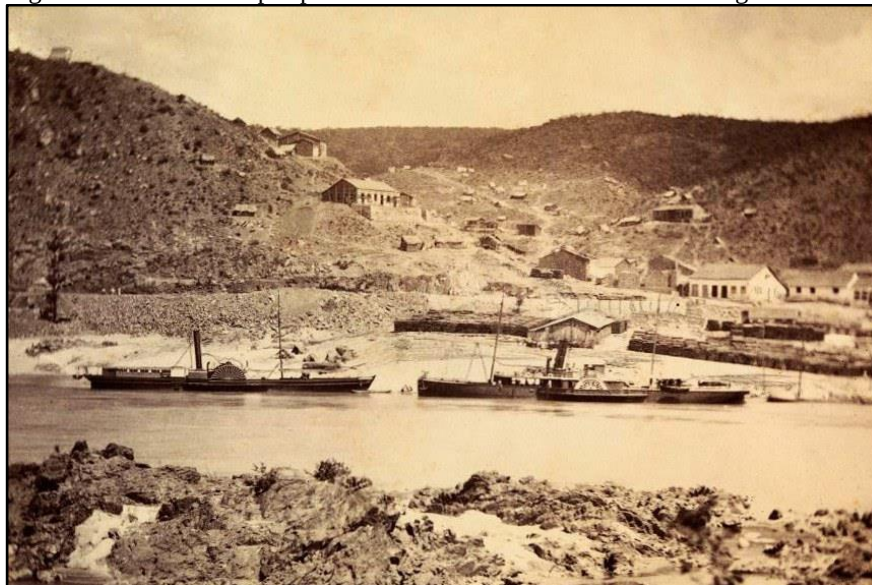
A região de influência do rio é denominada de região Sanfranciscana, sendo dividida em quatro trechos, sendo o Alto São Francisco (das nascentes na Serra da Canastra até a cidade de Pirapora), em Minas Gerais; o Médio São Francisco, da cidade de Pirapora (MG) até Remanso, na Bahia; o Submédio São Francisco, de Remanso até Paulo Afonso também localizado na Bahia; e por último o Baixo São Francisco, de Paulo Afonso até a foz, entre Sergipe e Alagoas (IEPHA, 2015).

O Rio São Francisco foi fundamental para o processo de interiorização do país durante o período colonial, sendo responsável pela criação de diversos municípios situados próximos às margens do rio.

Essa ocupação inicialmente ocorreu em terrenos próximos ao rio, principalmente em terrenos propícios para o estabelecimento de grandes áreas de criação de pecuária, uma das primeiras atividades econômicas do Brasil Colonial (CASTRO & PEREIRA, 2019).

De acordo com Minella (2021), durante os séculos XVII e XVIII, o rio (Figura 18) desempenhou um papel fundamental na formação da unidade territorial do Brasil, trazendo a expansão da pecuária para o interior e conectando as áreas de produção de cana-de-açúcar nos litorais, com os distritos mineradores no Sudeste. Essa interligação entre centros econômicos e políticos no país foi preservada e fortalecida durante o período imperial.

Figura 18 - Navios a vapor percorrendo o Rio São Francisco em Alagoas em 1870



Fonte: www12.senado.leg.br - Biblioteca Nacional (2017)

Dado seu contexto histórico, sem dúvidas o Rio São Francisco tem desempenhado um papel fundamental no crescimento do Brasil, favorecendo o desenvolvimento das regiões do Sudeste e Nordeste, pela sua abundância em água utilizada tanto para abastecimento humano como aplicação de atividades econômicas.

No contexto das crises hídricas nos dias de hoje, seu papel vem se tornando cada vez mais relevante para o abastecimento e consumo para a população, principalmente nas regiões mais carentes de água, como por exemplo a Região do Agreste Pernambucano, que necessita da transposição do Rio São Francisco para atender as necessidades desta região.

Desde o período colonial, a formação das primeiras cidades se deu no litoral do Nordeste brasileiro, e sua interiorização para a Região Sudeste foi devido principalmente nas margens do Rio São Francisco em busca de água para atender à população. Devido ao desenvolvimento das cidades da Região Nordeste, a captação dos recursos hídricos para outras áreas próximas logo se tornou uma necessidade.

Nesse contexto, a discussão inicial sobre a transposição das águas do Rio São Francisco (Figura 19) foi registrada no ano de 1847. Foi nesse ano que o engenheiro cearense Marcos de

Macedo, propôs o projeto ao imperador Dom Pedro II com o intuito de amenizar os problemas gerados pela seca prolongada no Nordeste (IPEA, 2011).

O projeto previa a construção de um canal que desviasse parte das águas do Rio São Francisco para abastecer alguns rios do Ceará, porém o projeto foi arquivado.

Figura 19 - Concepção do Canal que ligaria o Rio São Francisco aos Rios do Ceará



Fonte: Museu Nacional (2017)

Após o Segundo Reinado, a ideia da transposição do Rio São Francisco voltaria a ser debatida em outros momentos na História do Brasil. O governo Getúlio Vargas, por exemplo, criou o Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS), onde a transposição passou a ser estudada novamente. Porém, foi somente durante o primeiro mandato do presidente Luís Inácio Lula da Silva, entre 2003 e 2006, que o projeto da transposição saiu do papel, sob a responsabilidade do ministro da Integração Nacional, Ciro Gomes, de executar a obra (IPEA, 2011).

Sem dúvidas, o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), é considerado um grande marco para o desenvolvimento social e econômico da Região Nordeste, com o objetivo de atender as cidades mais afetadas pela seca, trazendo garantia hídrica de uma fonte abundante, para as regiões do Sertão e do Agreste.

Uma grande parte da população destas áreas que dependem da água para sua sobrevivência e manter suas atividades econômicas têm sido beneficiadas, permitindo o maior crescimento das cidades atendidas pelo empreendimento (Figura 20).

Figura 20 – Inauguração popular do trecho do PISF em Monteiro na Paraíba em 2017



Fonte: www.folha.uol.com.br (2017)

Diante da concepção histórica da transposição do Rio São Francisco, até a sua execução de fato, a partir dos próximos parágrafos serão apresentados com mais detalhes o Projeto de Integração do Rio São Francisco, considerado a maior obra de infraestrutura hídrica do Governo Federal.

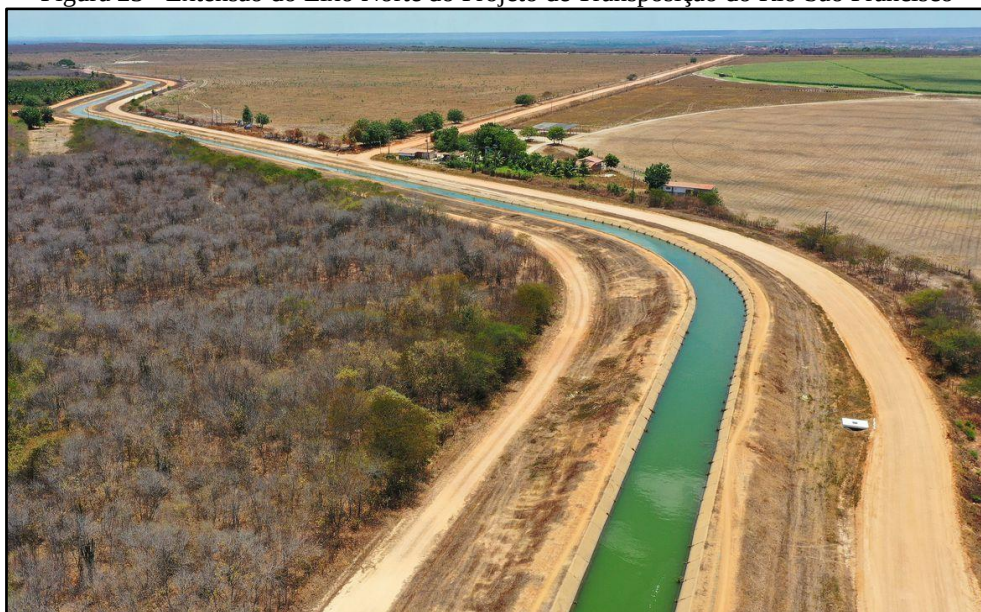
2.4.2 Estruturas Principais do PISF: Eixo Norte e Eixo Leste

O Projeto está situado na Região do Polígono das Secas, onde predomina o clima Semiárido Nordestino, abrangendo os Estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. O empreendimento permite o fornecimento de água para a realização de diversas atividades: abastecimento, irrigação, dessedentação de animais, criação de peixes, entre outros, em uma área que abriga aproximadamente 12 milhões de habitantes (BRASIL, 2004).

Neste sentido, o PISF tem o objetivo de abastecer rios temporários e açudes com uma parcela das águas do rio São Francisco, promovendo a segurança hídrica para a população (BRASIL, 2004).

As principais estruturas do PISF são constituídas por dois eixos (Figura 21): o Eixo Norte, que atende aos estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Já o Eixo Leste banha o interior dos estados de Pernambuco e da Paraíba, consideradas as regiões do Sertão e do Agreste.

Figura 23 - Extensão do Eixo Norte do Projeto de Transposição do Rio São Francisco



Fonte: www.agenciabrasil.ebc.com.br (2021)

Já o Eixo Leste (Figura 24) tem início por meio da captação na Barragem de Itaparica, localizada no município de Floresta, em Pernambuco. Este trecho se estende por 220 km até alcançar o rio Paraíba, na Paraíba. durante o percurso, parte de sua vazão é distribuída nas bacias do Rio Pajeú, Rio Moxotó e na região do Agreste de Pernambuco. Este eixo foi projetado para operar com uma capacidade máxima de 28 m³/s, mantendo uma vazão constante de 10 m³/s (HENKES, 2014).

Figura 24 - Captação das águas no Eixo Leste em Floresta/PE



Fonte: www.transposicaoosaofrancisco.com.br (2023)

Além dos dois eixos principais de transporte das águas do Rio São Francisco, existem também seus ramais que derivam dos seus eixos, ampliando e distribuindo as águas para mais regiões e beneficiando municípios vizinhos com acesso à água para o abastecimento (Figura 25).

Figura 25 - Mapa da transposição com seus trechos atuais



Fonte: Codevasf (2020)

O Eixo Norte é composto pelos trechos I e II. A partir destes trechos, derivam o Ramal do Salgado (Trecho III), Ramal do Apodi (Trecho IV), Ramal Entremontes e Ramal do Chapéu (Trecho VI). Já o Eixo Leste, denominado como Trecho V, possui o Ramal do Agreste (Trecho VII). Ramal este que será o objeto de estudo do presente trabalho e que será detalhado e aprofundado no tópico seguinte.

2.4.3 Ramal do Agreste

2.4.3.1 Caracterização do Empreendimento

O Ramal do Agreste (Figuras 26 e 27) faz parte de um dos trechos do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

Tem seu início no Eixo Leste e conduz as águas do São Francisco para a Adutora do Agreste Pernambucano, que é um sistema adutor que possui capacidade para vazão de 8.000 litros por segundo e será distribuído para os municípios do Estado de Pernambuco, garantindo

a disponibilidade de água para aproximadamente 2,2 milhões de habitantes em 68 municípios beneficiados na Região do Agreste (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2019).

Figura 26 - Ramal do Agreste em Pernambuco



Fonte: Tatiana Pereira (2024)

Figura 27 - Extensão do Ramal do Agreste



Fonte: Tatiana Pereira (2024)

O Ramal do Agreste está situado ao Norte de Pernambuco, fazendo fronteira com o Estado da Paraíba e sua infraestrutura abrange os territórios dos municípios de Sertânia e Arcoverde (Figura 28).

Figura 28 - Localização dos municípios de Sertânia e Arcoverde/PE



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2022), o município de Sertânia possui uma área territorial de 2.421,527 km², sendo o 6º maior município do Estado de Pernambuco, com uma população estimada em 32.811 habitantes e uma densidade demográfica de 13,55 hab/km².

O município de Sertânia (Figura 29) possui um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,613, sendo considerado médio. Com relação ao índice de cobertura de saneamento básico, apresenta 56,3% de domicílios com esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2022).

Figura 29 - Município de Sertânia/PE



Fonte: Compesa (2021)

Já o município de Arcoverde (Figura 30) possui uma extensão territorial de 343,923 km², sendo considerado o 22º maior município do Estado de Pernambuco. Possui uma população estimada de 77.742 habitantes e uma densidade demográfica de 226,04 hab/km² (IBGE, 2022).

O município possui um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,667, sendo classificado como médio. Já com relação ao índice de cobertura de saneamento básico, apresenta 86.4% de domicílios com esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2022).

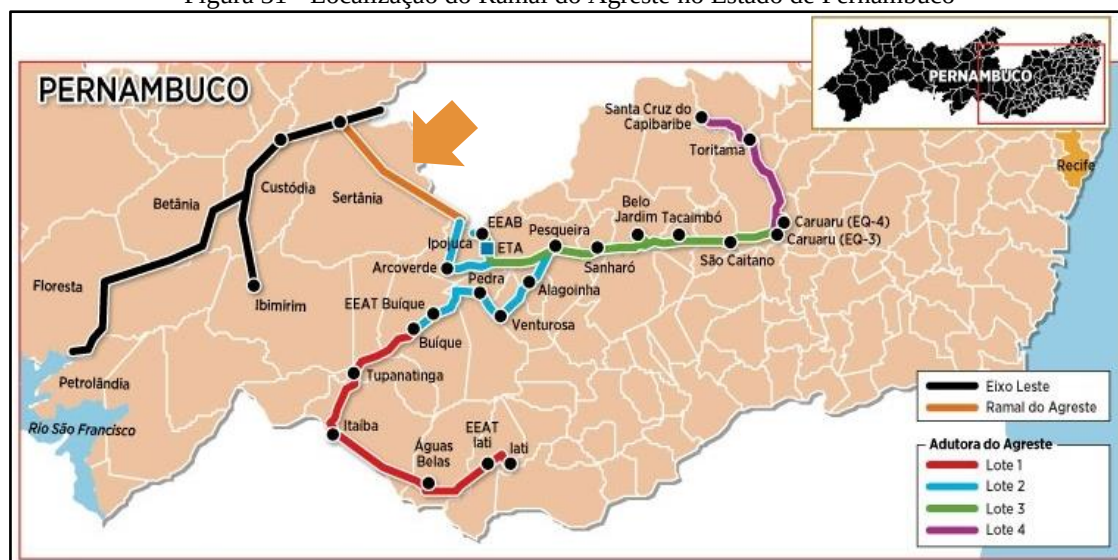
Figura 30 - Município de Arcoverde/PE



Fonte: www.diariodepernambuco.com.br (2019)

Quanto à sua estrutura e características hídricas, o Ramal do Agreste possui uma capacidade de vazão de água de 8,0 m³/s e um comprimento de 70,8 km de extensão (Figuras 31 e 32) e está situado nas sub-bacias hidrográficas dos rios Moxotó e Ipojuca. Além disso, o empreendimento tem início na Barragem Barro Branco e termina na Barragem Ipojuca (BRASIL, 2013).

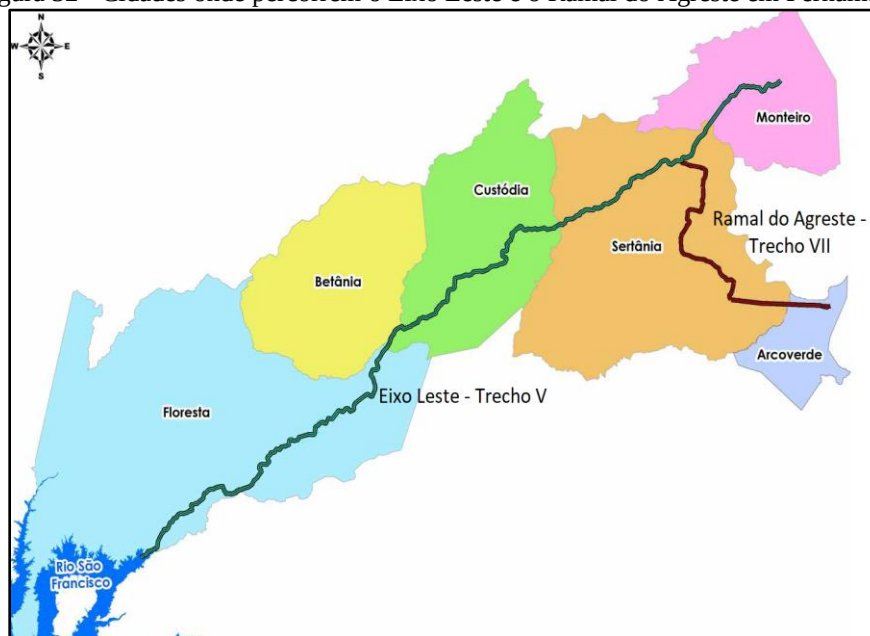
Figura 31 - Localização do Ramal do Agreste no Estado de Pernambuco



Fonte: Jornal do Commercio (2014) - Adaptado

O Ramal do Agreste tem a função de entregar as águas do Rio São Francisco até a Adutora do Agreste, que conforme mencionado anteriormente, é um sistema responsável por abastecer os municípios da Região do Agreste de Pernambuco.

Figura 32 - Cidades onde percorrem o Eixo Leste e o Ramal do Agreste em Pernambuco



Fonte: CPRH (2021)

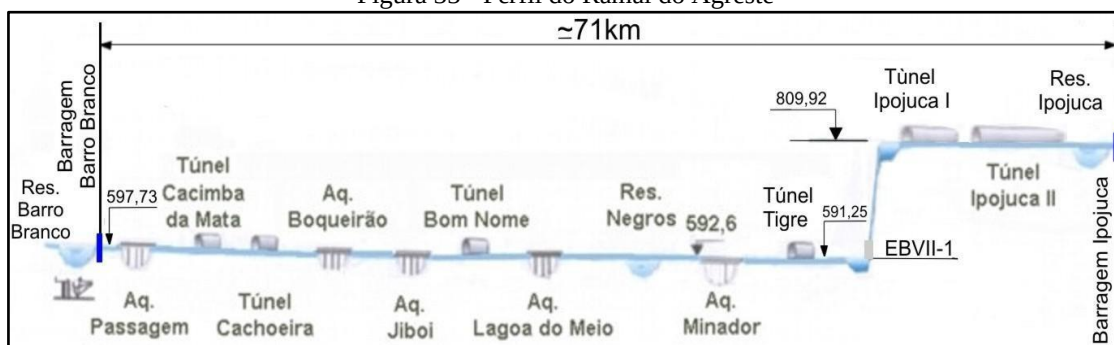
Na Figura 32, é possível observar com mais detalhes os trechos que percorrem o empreendimento da Transposição das Águas do Rio São Francisco, onde o Eixo Leste - Trecho V passam pelos seguintes municípios: Floresta, Betânia, Custódia, até chegar em Sertânia, por onde parte das águas são entregues ao Ramal do Agreste, até se destinar ao município de Arcoverde.

O transporte de água do Ramal do Agreste (Figura 33), começa na estrutura de controle do reservatório Barro Branco, por onde as águas percorrem por meio de gravidade.

As águas são percorridas por canais de seção trapezoidal, que são estruturas escavadas e abertas, aquedutos e túneis até chegar à Estação de Bombeamento (EBVII-1), para elevar uma coluna de água a uma vazão de $8,0 \text{ m}^3/\text{s}$, por aproximadamente 220 m de desnível, no intuito de superar a divisa das bacias hidrográficas dos rios Moxotó e Ipojuca.

Superando o desnível, segue-se novamente por gravidade até chegar ao reservatório Ipojuca (BRASIL, 2013).

Figura 33 - Perfil do Ramal do Agreste

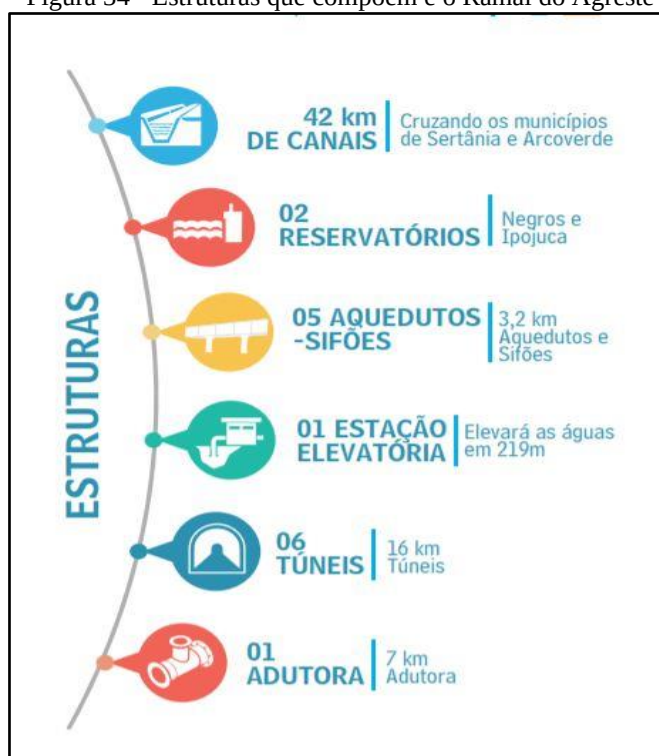


Fonte: Brasil (2013)

O Ramal do Agreste é formado pelas seguintes estruturas hidráulicas (Figura 34):

- 13 Trechos de canais de secção trapezoidal;
- 6 Túneis: Cacimba da Mata, Cachoeira, Bom Nome, Tigre, Ipojuca I e Ipojuca II;
- 2 Reservatórios: Negro e Ipojuca;
- 5 Aquedutos: Passagem, Boqueirão, Jiboia, Lagoa do Meio e Minador;
- 1 Estação Elevatória de bombeamento de água.

Figura 34 - Estruturas que compõem o Ramal do Agreste



Fonte: MIDR (2023)

De acordo com o Sumário Executivo das Obras, de setembro de 2023, o Ramal do Agreste encontra-se atualmente com 99,95% de execução física e 100% operacional. O empreendimento foi iniciado em março de 2018 e se encontra 100% em funcionamento operacional desde outubro de 2021 (BRASIL, 2023a).

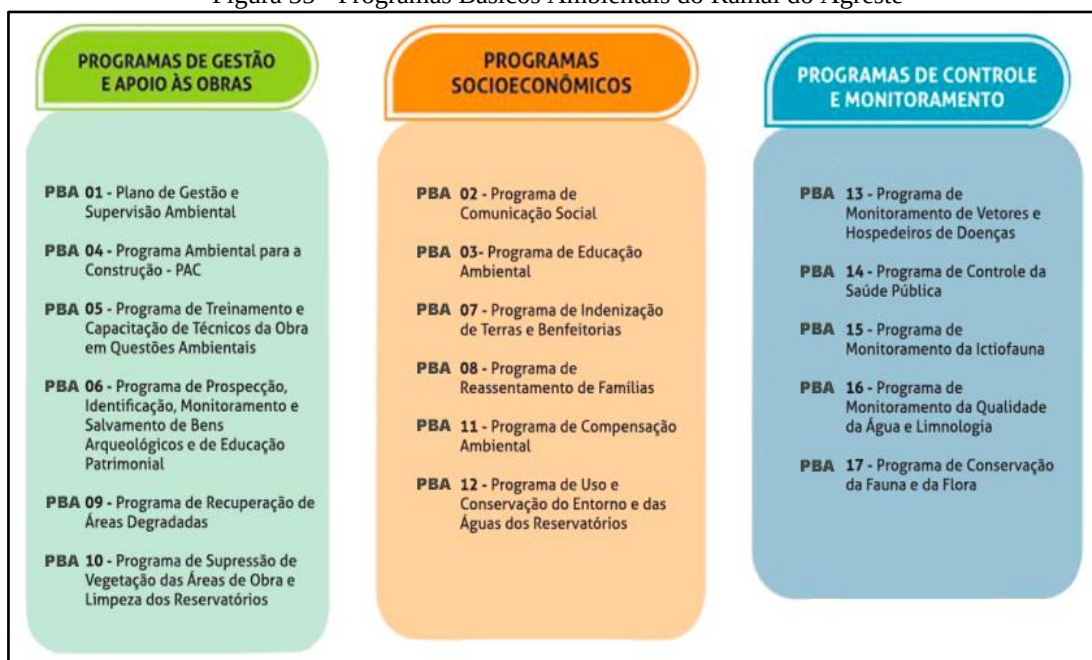
2.4.3.2 Programas Básicos Ambientais

O Ramal do Agreste contempla também 17 Programas Básicos Ambientais (PBAs) que são frequentemente monitorados pelo MIDR e pelo órgão licenciador do Estado de Pernambuco - Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH/PE), com o objetivo de promover melhorias nos aspectos ambientais das áreas em torno do empreendimento (BRASIL, 2023b).

Estes programas fazem parte de um conjunto de ações de controle ambiental definidas pelo Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e pelo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do Ramal do Agreste (BRASIL, 2012).

Os Programas Básicos Ambientais (PBA) são divididos em 3 áreas, sendo elas: Programa de Gestão e Apoio às Obras; Programas Socioeconômicos e os Programas de Controle e Monitoramento (Figura 35).

Figura 35 - Programas Básicos Ambientais do Ramal do Agreste



Fonte: Brasil (2023b)

O Programa de Monitoramento da Qualidade da Água e Limnologia (PBA 16), o qual faz parte do objeto de estudos deste trabalho, tem o intuito de avaliar os padrões de qualidade

das águas captadas na Região do Agreste Pernambucano, vindas do Ramal do Agreste, garantindo que sejam atendidas aos requisitos necessários para o abastecimento público urbano e a potabilidade (BRASIL, 2023b).

Este programa por sua vez é dividido em dois subprogramas: (BRASIL, 2012).

- Subprograma de Monitoramento Físico-Químico e Bacteriológico: Foco deste presente estudo, com informações relevantes sobre a qualidade das águas, por meio dos indicadores físicos, químicos e biológicos, bem como a verificação do Índice de Qualidade da Água (IQA), como forma de categorizar em níveis de qualidade, variando do ótimo ao péssimo.
- Subprograma de Monitoramento Limnológico: Voltado para o acompanhamento e identificação das mudanças na biodiversidade dos organismos da fauna aquática, não sendo ponto de análise deste presente trabalho.

O PBA 16 realizou análises em vários trechos do Ramal do Agreste, bem como de reservatórios, rios, entre outros cursos hídricos que estão ligados ao ramal, a fim de avaliar a qualidade de cada trecho no decorrer do tempo.

É possível, por exemplo, avaliar se as águas vindas do Rio São Francisco estão influenciando de forma positiva na melhoria da qualidade de alguns rios e reservatórios do entorno do Ramal do Agreste.

2.5. PARÂMETROS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

O uso e ocupação de forma inadequada e sem controle ambiental vem ocasionando a geração resíduos que normalmente são emitidos diretamente nos corpos hídricos, afetando consideravelmente as suas qualidades. Como a poluição ocorre de forma continuada e gradativa, faz-se necessário a aplicação de instrumentos de monitoramento e controle da qualidade de água, tais instrumentos se dão através da verificação de parâmetros físicos, químicos e biológicos (MENEZES, et al, 2010).

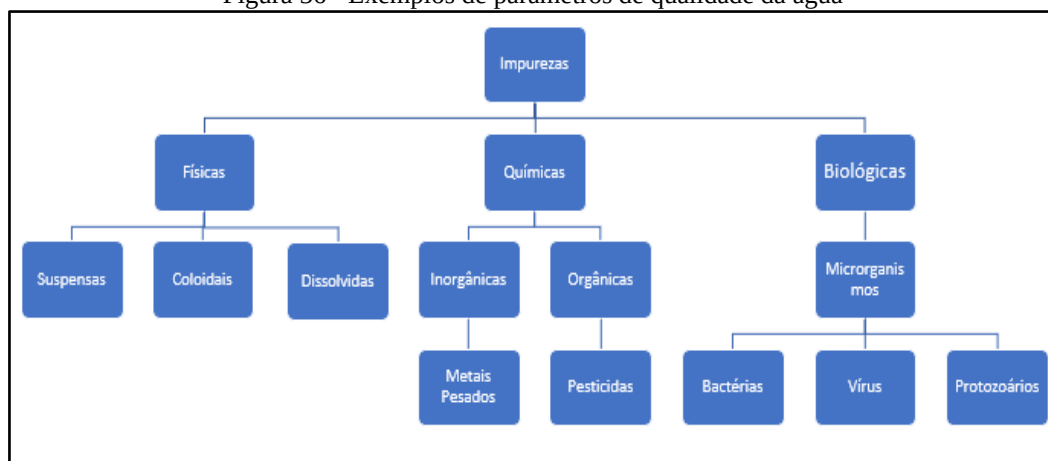
De acordo com Von Sperling (1996), a qualidade da água pode ser influenciada tanto por ações naturais como antrópicas. Além disso, a qualidade está diretamente relacionada com o uso e ocupação do solo de uma bacia hidrográfica. No que se refere às ações naturais, por mais que uma bacia hidrográfica esteja preservada, a qualidade das águas dos lençóis freáticos, por exemplo, pode ser afetada pela precipitação atmosférica das águas das chuvas que ao

entrarem em contato na superfície, podem estar expostas a possíveis impurezas que escoam e infiltram pelo solo. Mesmo a própria composição do solo pode influenciar em alguns parâmetros como em um maior teor de minerais e maior teor de sólidos dissolvidos e em suspensão.

Já pelas ações antrópicas, o uso inadequado do solo, desde a geração de efluentes domésticos ou industriais, como na utilização de fertilizantes agrícolas no solo próximos de corpos hídricos, por exemplo, contribui diretamente para a qualidade da água e a consequente piora de seus parâmetros de qualidade (VON SPERLING, 1996).

O teor abaixo ou elevado destes parâmetros traz uma informação qualitativa que pode ser traduzida como aceitável ou prejudicial para consumo humano (Figura 36).

Figura 36 - Exemplos de parâmetros de qualidade da água



Fonte: www.guiadaengenharia.com (2018)

A avaliação dos parâmetros biológicos da água desempenha um papel crucial no processo de monitoramento devido à variedade de microrganismos patogênicos que podem estar presentes na água, os quais em sua maioria são de origem fecal. O indicador mais comum é a presença de bactérias do grupo coliforme, que é usada como um indicador tradicional da qualidade da água. Porém, a não detecção de coliformes não garante a ausência de patógenos mais resistentes, como os vírus e protozoários (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

Neste sentido, em alguns casos se fazem necessários análises mais específicas para detecção de vírus e protozoários, quando for necessário destinar a água para o consumo humano ou para a irrigação.

No que diz respeito aos parâmetros físicos, os indicadores estão relacionados à quantidade de sólidos na água, seja em suspensão ou dissolvidos. Esses indicadores refletem a qualidade visual da água, sendo importante do ponto de vista sanitário, pois águas com padrões

visuais inadequados, mesmo sendo biologicamente aceitas, podem influenciar as pessoas a buscarem fontes alternativas menos seguras. Além disso, as águas com alto teor de sólidos podem comprometer a eficácia dos processos de desinfecção em estações de tratamento (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

Por fim, os parâmetros químicos garantem que alguns elementos não devem ultrapassar determinadas concentrações na água, estabelecidas com base em estudos toxicológicos. Mesmo o consumo dentro dos limites estabelecidos de substâncias tóxicas presentes na água, se for ingerida adicionalmente a mesma substância por outras fontes, de forma prolongada, (alimentos, ar, etc.), expõe o indivíduo ao risco de desenvolver doenças crônicas. Neste sentido, podem-se citar as substâncias químicas inorgânicas, como os metais pesados e as substâncias químicas orgânicas, como os solventes (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

Muitos são os parâmetros de qualidade da água. No entanto, para a população geral, os parâmetros acabam sendo difíceis de serem interpretados e traduzidos em uma informação qualitativa. Neste sentido, vem sendo aplicado o Índice de Qualidade de Água (IQA), como ferramenta para avaliar e monitorar a qualidade dos corpos hídricos.

Assim, o IQA apresenta como principais vantagens uma linguagem mais acessível, de forma que possa comunicar e transmitir as informações sobre a qualidade da água ao público em geral e a capacidade de fornecer um resultado que engloba a combinação de diversos parâmetros em um único valor. Entretanto, por oferecer uma visão integrada da qualidade da água, é fundamental que cada parâmetro seja analisado de forma individual e específica para uma maior precisão (CETESB, 2018).

Dessa forma, o IQA serve como uma ferramenta auxiliar na análise de dados, ajudando na avaliação dos resultados e refletindo a qualidade da água através de uma escala numérica. Além disso, é possível permitir a comparação das condições da água no decorrer do tempo e em diferentes regiões geográficas, facilitando uma comunicação clara entre diferentes setores da população, sejam elas técnicas ou públicas, uma vez que a informação sobre a qualidade da água possui uma linguagem simples (MOLOZZI et al., 2005).

Outro estudo importante permite observar se as atividades antrópicas próximas dos corpos hídricos podem influenciar na diminuição da qualidade da água, afetando algum parâmetro de qualidade. Neste caso, é necessário tomar medidas que possam visar a integração do manejo correto do uso do solo com a gestão das águas.

2.6 INSTRUMENTOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS

A Lei N° 9.433 de 8 de janeiro de 1997, conhecida como Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), tem sido um guia para o Projeto de Integração do Rio São Francisco, seguindo conforme os princípios, objetivos, instrumentos, dentre outros recursos apresentados por esta lei.

Através desta lei, conforme o Art. 1° referente aos fundamentos, a água tem sido regulamentada e gerida como um bem de domínio público, sendo um recurso limitado e de valor econômico. Além disso, em situações de escassez, as águas devem ter prioridade para o consumo humano e de animais.

Neste sentido, o PISF tem cumprido seu papel de democratizar o acesso às águas para as regiões mais secas do Nordeste, no Agreste e no Sertão, abastecendo os rios e reservatórios dos municípios, trazendo maior dignidade e disponibilidade de uma fonte segura de água para a população.

No que diz respeito aos objetivos da PNRH, segundo o Art 2°, a lei incentiva a garantir às futuras gerações a disponibilidade de água em um padrão adequado para consumo, além de sua utilização racional e a prevenção contra os eventos hidrológicos extremos.

Ultimamente, tem-se observado a ocorrência de chuvas mais escassas e secas prolongadas em algumas regiões do Brasil, em especial no Nordeste. Logo, o PISF tem sido uma solução essencial para atender a população, amenizando os efeitos destes eventos climáticos adversos.

Ressalta-se no Art. 4° da lei, que a União deve ter uma articulação conjunta com os Estados no papel de gerenciar os recursos hídricos. Como o PISF é um projeto Federal, a colaboração com os Estados que fazem parte do empreendimento é fundamental para sua implementação, no intuito de garantir a integralidade proposta no projeto, seja nas fases de planejamento, como durante a execução, controle e monitoramento da obra.

A PNRH dispõe de instrumentos, explicitados no Art.º 5, que permitem a execução da lei e que estão aplicados pelo PISF. Alguns destes instrumentos são:

- Planos de Recursos Hídricos;
- Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- Cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- Enquadramento dos corpos de água em classes.

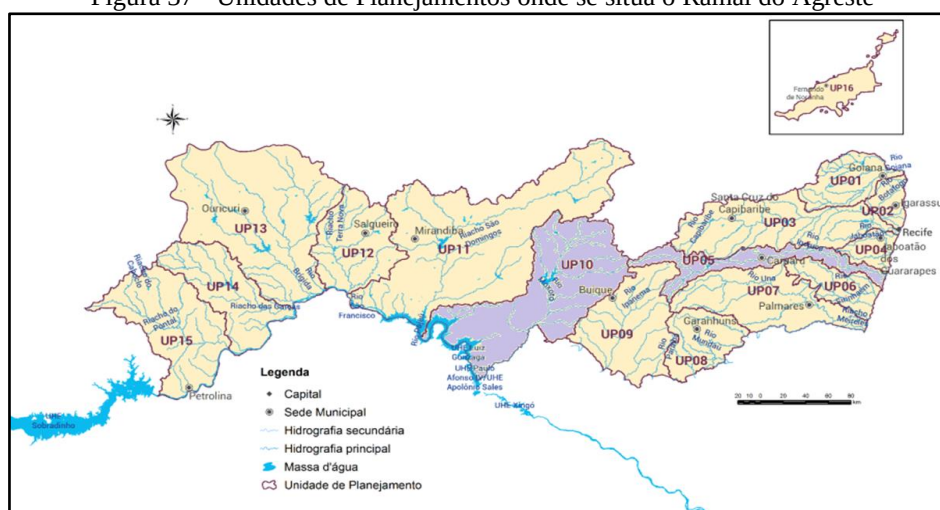
Neste sentido, os Planos de Recursos Hídricos são planos diretores realizados em cada bacia hidrográfica de cada estado, com informações quantitativas e qualitativas relevantes a respeito dos rios, reservatórios entre outros recursos hídricos, sobre as disponibilidades e demandas hídricas de cada região. Além disso, cada bacia possui informações socioeconômicas, bem como as atividades antrópicas e o uso do solo.

Através destes planos, é possível estabelecer por exemplo, se o Projeto de Integração do Rio São Francisco poderá contemplar a transferência das águas para uma determinada bacia hidrográfica, conforme as condições de necessidade e viabilidade.

Em Pernambuco foi elaborado o Plano Estadual de Recursos Hídricos, em 2022, onde foi dividido o estado em 16 regiões hidrográficas, determinadas de Unidades de Planejamento.

Neste sentido, o foco deste trabalho será nas Unidades de Planejamento: UP 5 - Bacia do Rio Ipojuca e UP10 - Bacia do Rio Moxotó, cujas bacias se situam no Ramal do Agreste e que serão caracterizadas posteriormente em próximo tópico (Figura 37).

Figura 37 - Unidades de Planejamentos onde se situa o Ramal do Agreste



Fonte: Adaptado de PERH/PE (2022)

Já a outorga da água é quando a autoridade competente concede a permissão ou o direito legal para a captação e uso da água, seja de fontes superficiais ou subterrâneas. Ela desempenha um papel importante na gestão dos recursos hídricos, pois garante que a água seja distribuída de forma justa e sustentável, levando em consideração as necessidades de diversos usuários e a preservação do meio ambiente.

Neste sentido, a Operadora Federal - Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF) é a instituição federal encarregada da gestão, operação, manutenção e fiscalização dos usos nos dois principais eixos do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), os Eixos Norte e Leste. Além disso, a CODEVASF também administra os reservatórios

construídos ao longo desses canais, conhecidos como "portais de entrega" (APAC, 2023).

Já a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) desempenha o papel de Operadora Estadual do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF). Sua responsabilidade inclui a administração das águas após serem liberadas para o estado após os portais de entrega (Quadro 3). Além disso, o estado de Pernambuco ficará encarregado da operação e manutenção do Ramal do Agreste, que tem benefícios exclusivos para a região (APAC, 2023).

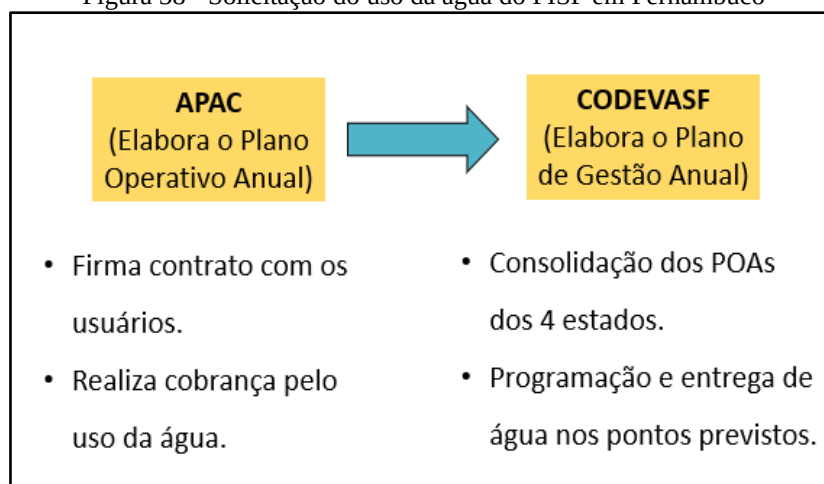
Quadro 3 - Operadoras responsáveis pela gestão das águas no PISF em Pernambuco

Esfera Federal	Esfera Estadual em PE
• CODEVASF - Gestão, operação, manutenção e fiscalização dos usos nos dois eixos principais (Norte e Leste). • Os reservatórios construídos ao longo destes canais (portais de entrega).	• Agência Pernambucana de Águas e Clima – Apac. Trechos após os portais de entrega • O Ramal do Agreste, que beneficiará apenas Pernambuco será operado e mantido pelo estado.

Fonte: Elaborado pelo Autor

Assim, a APAC é a instituição responsável por autorizar o uso da água, elaborar o Plano Operativo Anual (POA) e estabelecer contratos com os usuários, realizando a cobrança pelo uso de água (Figura 38). Em seguida, a CODEVASF, reúne os POAs dos quatro estados beneficiados em um Plano de Gestão Anual (PGA). Com base nesse PGA, é realizada a programação da distribuição de água nos locais previstos (APAC, 2023).

Figura 38 - Solicitação do uso da água do PISF em Pernambuco



Fonte: Elaborado pelo Autor

Neste sentido, aqueles que desejarem utilizar a água do Ramal do Agreste, devem fazer

a solicitação à APAC, por meio de preenchimento de formulário eletrônico. Assim, a disponibilidade de água será avaliada e depois de seguir todas as etapas necessárias, o usuário deverá firmar um contrato com a Operadora Estadual e efetuar o pagamento pelo volume anual solicitado (APAC, 2023).

Por fim, o enquadramento dos corpos hídricos, conforme o Art 9º da Lei 9.433/1997, consiste em atribuir uma classificação de qualidade das águas, compatível com os usos que forem destinadas, visando também diminuir os custos no tratamento à poluição dos rios, lagos e mananciais (Figura 39).

Figura 39 - Classificação dos enquadramentos dos corpos d'água conforme os usos

USOS DAS ÁGUAS DOÇES		CLASSES DE ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA				
		ESPECIAL	1	2	3	4
PRESERVAÇÃO DO EQUILÍBRIO NATURAL DAS COMUNIDADES AQUÁTICAS		Mandatório em UC de Proteção Integral				
PROTEÇÃO DAS COMUNIDADES AQUÁTICAS			Mandatório em Terras Indígenas			
RECREAÇÃO DE CONTATO PRIMÁRIO						
AQUICULTURA						
ABASTECIMENTO PARA CONSUMO HUMANO		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento conv. ou avançado	
RECREAÇÃO DE CONTATO SECUNDÁRIO						
PESCA						
IRRIGAÇÃO			Hortalças consumidas cruas ou frutas ingeridas com película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins e campos de esporte	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAIS						
NAVEGAÇÃO						
HARMONIA PAISAGÍSTICA						

Fonte: ANA (2009) e COSTA (2011)

Conforme a figura acima, cada uso da água possui níveis de padrões de qualidade, denominados de classes de enquadramentos, variando de especial até a classe 4, ou seja, de usos mais exigentes, para os usos menos exigentes.

Neste sentido, as águas de classes especiais, por exemplo, possuem qualidade de água excelente e são destinadas usualmente para o consumo humano após um tratamento com uma simples desinfecção. Já as águas de classe 4 normalmente são utilizadas para a navegação ou simples elemento de paisagismo, exigindo menores padrões de qualidade.

A determinação das classes de enquadramento das águas utiliza os parâmetros físico-químicos e biológicos como indicadores de qualidade, baseando-se nas tolerâncias estabelecidas por meio da Resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA de 17 de março de 2005.

Conforme o Art 31º da lei, ressalta-se que a União, os Estados e os Municípios devem atuar em conjunto para promover a integração da gestão dos recursos hídricos com as políticas locais de saneamento básico, de uso e ocupação do solo e de preservação do meio ambiente.

Diante do exposto, o embasamento teórico, apresentado nos tópicos anteriores deste trabalho até então, permite ao leitor o conhecimento suficiente para o prosseguimento desta dissertação. Nos tópicos seguintes serão apresentados a metodologia de estudo e os resultados apresentados com as discussões e recomendações propostas para a melhoria da gestão da água em torno do Ramal do Agreste.

3 METODOLOGIA

Neste tópico será apresentado a caracterização da área de estudo, com indicação dos 5 pontos de coleta, bem como o período de coleta dos dados. Além disso, serão indicadas as bases para a obtenção de dados da qualidade de água e uso do solo nas bacias que se localizam o Ramal do Agreste, bem como os parâmetros analisados e o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA), os quais serão os produtos para análise e discussão dos resultados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desta pesquisa será baseada na rede de pontos de amostragem de coleta de água do Programa de Monitoramento da Qualidade da Água e Limnologia (PBA16) do Ramal do Agreste. Esta rede é formada por 19 pontos que foram inicialmente estudados para serem monitorados em várias fases da obra (durante a construção do empreendimento; durante o enchimento dos reservatórios Negros e Ipojuca e após o início da operação).

Contudo, para compor os dados deste trabalho, foram selecionados 5 pontos de amostragem do PBA16 (Quadro 4). Estes pontos foram justificados como os que tiveram os monitoramentos mais regulares durante todo o período de coleta dos dados, trazendo informações quantitativas dos parâmetros físicos, químicos e biológicos dos corpos d'água que fazem parte tanto da estrutura do Ramal do Agreste como em torno do empreendimento.

Quadro 4 - Pontos de Amostragens da Área de Estudo

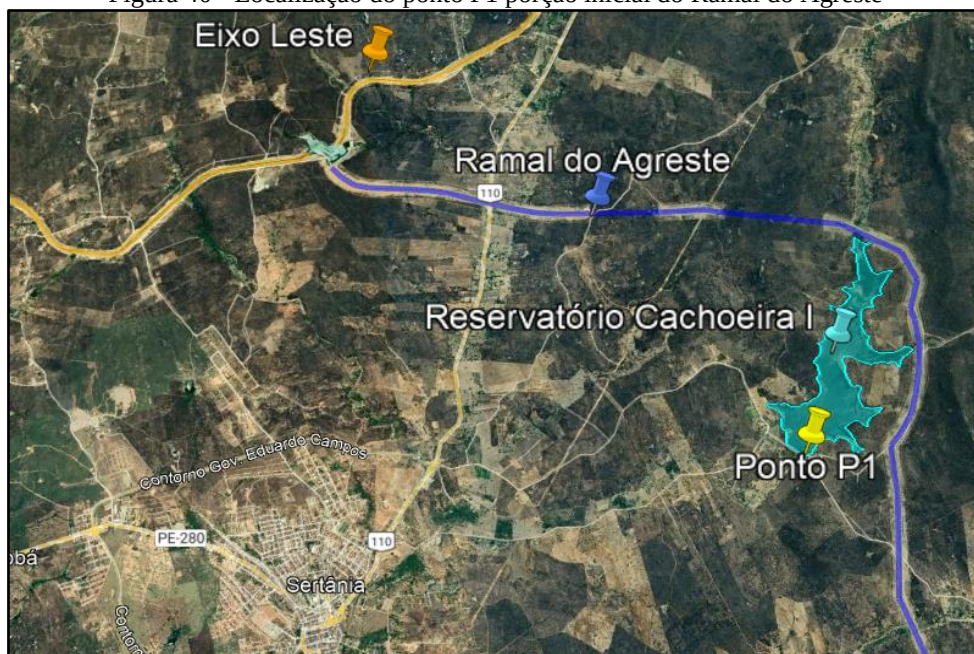
Código do Ponto (PBA 16)	Código do Ponto (Adotado)	Corpo d'Água	Coordenadas		Tipo de Ambiente
			Leste	Norte	
I04	P1	Reservatório Cachoeira I	696.000	9.107.958	Lêntico
P09	P2	Rio Ipojuca (montante do Reservatório Ipojuca)	724.097	9.080.394	Lótico
I02	P3	Reservatório Ipojuca (jusante)	726.282	9.080.625	Lêntico
P14	P4	Reservatório Pão-de-Açúcar	753.294	9.084.940	Lêntico
P15	P5	Rio Ipojuca (jusante do reservatório Pão-de-Açúcar)	754.017	9.084.933	Lótico

Fonte: Elaborado pelo Autor

Com estes pontos, foi possível realizar o monitoramento de toda a área onde está situado o Ramal do Agreste, com pontos localizados nos trechos iniciais, intermediários e finais da obra. Foi possível também obter dados de pontos até mesmo após o empreendimento, avaliando a qualidade da água no decorrer de cada trecho.

Neste sentido, o primeiro ponto (P1) se localiza próximo ao trecho inicial do Ramal do Agreste, no Reservatório Cachoeira I, localizado no Município de Sertânia, sendo considerado uma importante fonte de abastecimento de água para o município (Figuras 40 e 41). A cor destacada em azul claro corresponde à área do reservatório, enquanto em azul escuro corresponde ao Ramal do Agreste e em cor laranja, o trecho de Eixo Leste.

Figura 40 - Localização do ponto P1 porção inicial do Ramal do Agreste



Fonte: Elaborado pelo Autor – Adaptado de Google Earth (2023)

Figura 41 - Reservatório Cachoeira I localizado em Sertânia/PE



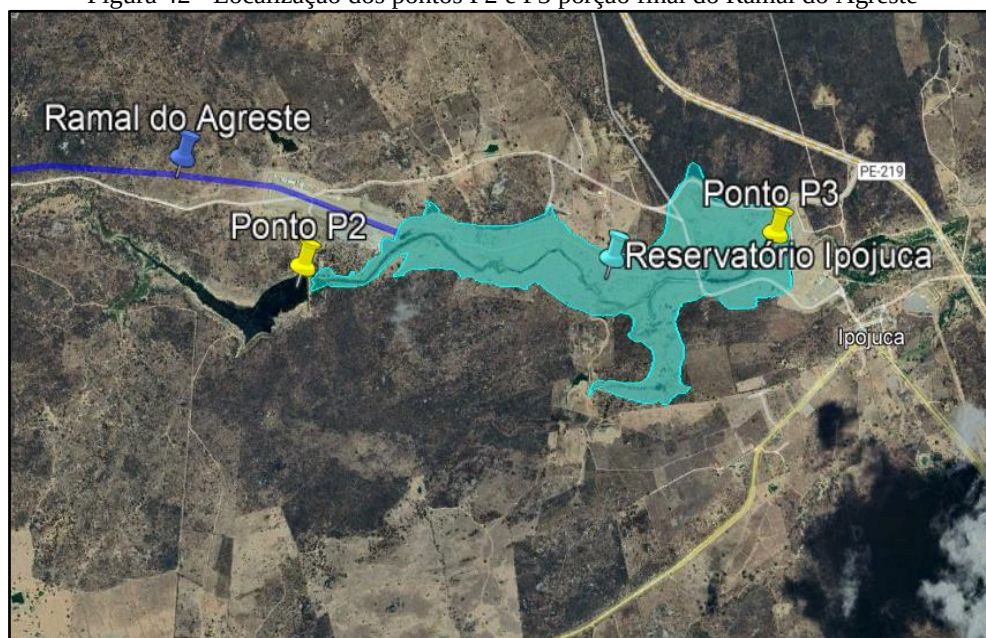
Fonte: João Paulo Silva (2023)

Já os pontos P2 e P3 (Figura 42) estão situados no trecho final do Ramal do Agreste,

em que o empreendimento termina com o Reservatório Ipojuca (Figura 43), localizado em Ipojuca, distrito pertencente a Arcoverde.

O ponto P2 está localizado no Rio Ipojuca, a montante do reservatório, enquanto o Ponto P3 está a jusante do reservatório.

Figura 42 - Localização dos pontos P2 e P3 porção final do Ramal do Agreste



Fonte: Elaborado pelo Autor – Adaptado de Google Earth (2023)

Figura 43 - Reservatório Ipojuca localizado em Ipojuca/PE



Fonte: Romildo Silva (2022)

Por fim, os pontos P4 e P5 se situam após o Ramal do Agreste, no município de Pesqueira. O ponto P4 está localizado no Reservatório Pão de Açúcar (Figuras 44 e 45),

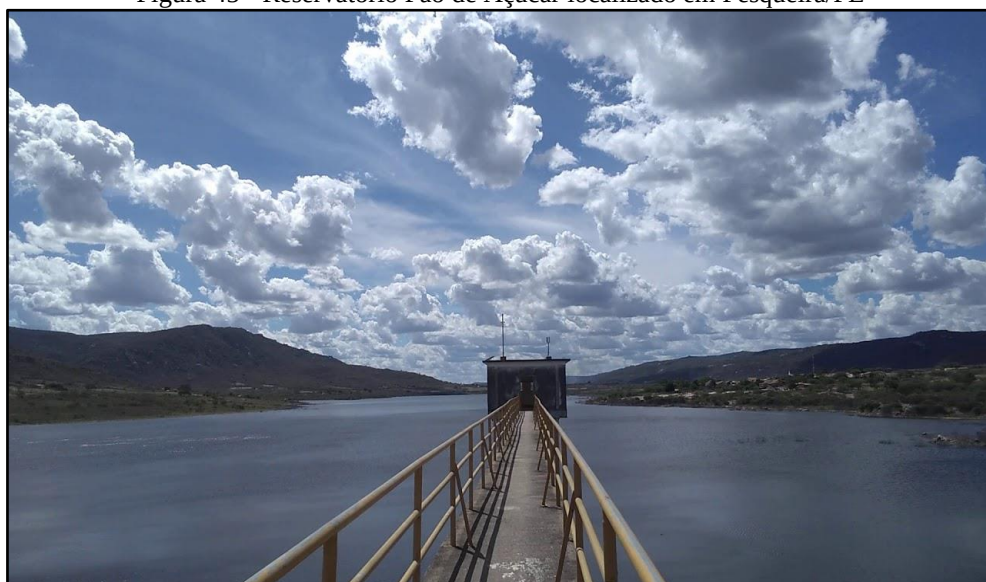
enquanto o ponto P5 está situado a jusante da barragem, continuação do trecho do Rio Ipojuca.

Figura 44 - Localização dos pontos P4 e P5 situados após o Ramal do Agreste



Fonte: Elaborado pelo Autor – Adaptado de Google Earth (2023)

Figura 45 - Reservatório Pão de Açúcar localizado em Pesqueira/PE



Fonte: Luiz Lima (2021)

3.2 PERÍODO DE COLETA DOS DADOS

O período de coleta dos pontos analisados pelo PBA 16 foi entre os anos de 2018 a 2022, alternando entre os períodos secos e chuvosos de cada ano, obtendo-se ao todo 12 campanhas de coletas de água (Quadro 5).

Quadro 5 - Período de Coleta das Amostras de Água

Campanha	Ano	Mês	Período	Pontos monitorados
1ª	2018	Setembro	Seco	P1, P2, P3
2ª	2018	Novembro	Seco	P1, P2, P3
3ª	2019	Março	Chuvoso	P1, P2, P3
4ª	2019	Maio	Chuvoso	P1, P2, P3
5ª	2019	Setembro	Seco	P1, P2, P3
6ª	2019	Novembro	Seco	P1, P2, P3
7ª	2020	Abril/Maio	Chuvoso	P1, P2, P3, P4, P5
8ª	2021	Junho	Chuvoso	P1, P2, P3, P4, P5
9ª	2021	Setembro	Seco	P1, P2, P3, P4, P5
10ª	2021	Novembro/Dezembro	Seco	P1, P2, P3, P4, P5
11ª	2022	Março	Chuvoso	P1, P2, P3, P4, P5
12ª	2022	Maio/Junho	Chuvoso	P1, P2, P3, P4, P5

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Cabe ressaltar que os pontos P4 e P5 foram incorporados no decorrer das campanhas de monitoramento Programa de Monitoramento da Qualidade da Água e Limnologia - PBA 16 do Ramal do Agreste somente a partir de 2020.

A informação do período seco e chuvoso é importante para a análise da qualidade para avaliar justamente a influência da precipitação nos parâmetros observados. Sabe-se que as chuvas tendem a aumentar o volume dos reservatórios entre outros corpos hídricos que por sua vez conseguem diluir a presença de impurezas dissolvidas na água, contribuindo temporariamente para a melhoria dos parâmetros de qualidade em geral.

3.3 OBTENÇÃO DE DADOS DA QUALIDADE DA ÁGUA E USO DO SOLO

Para compor a base de dados deste presente trabalho, foram utilizados os relatórios do Programa de Monitoramento da Qualidade da Água e Limnologia - PBA 16 do PISF, fornecidos gentilmente pelo MIDR. A realização das campanhas de monitoramento da qualidade de água do Ramal do Agreste é uma parceria do Governo Federal, por meio do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional e da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, sob a coordenação da Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral.

Neste sentido, será realizado o tratamento de dados dos parâmetros observados durante a campanha, a fim de analisar quais foram os pontos críticos da qualidade da água, avaliando suas condições de potabilidade para consumo humano.

Já para a análise do uso do solo e atividades antrópicas, além do programa de monitoramento, serão utilizados os dados das Unidades de Planejamento (UPs) referentes às Bacias do Rio Moxotó (UP10) e Ipojuca (UP05) obtidas por meio do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) do Estado de Pernambuco.

Este plano foi inicialmente elaborado em 1998 e atualizado em 2022, com informações relevantes sobre os usos consultivos, qualidade e disponibilidade da água de cada bacia, além de informações dos indicadores de abastecimento de água e esgotamento sanitário, com base no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

Com isso, pretende-se obter uma correlação com o resultado dos indicadores encontrados pelo monitoramento com as atividades antrópicas realizadas nas bacias situadas no Ramal do Agreste, a fim de propor recomendações de melhorias no uso do solo, para que possa melhorar os parâmetros de qualidade e potabilidade da água em torno do Ramal do Agreste.

3.4 PARÂMETROS ANALISADOS

Com relação aos parâmetros de qualidade, foram escolhidos os indicadores do Subprograma de Monitoramento Físico-Químico e Bacteriológico, o qual compõe o PBA 16.

Neste sentido, foram analisados 15 parâmetros, sendo 2 indicadores biológicos e 13 indicadores físico-químicos, os quais podem ser observados no Quadro 6.

Além disso, foram estabelecidos limites de tolerância de cada parâmetro, conforme a Resolução do CONAMA nº 357/2005 para rios e reservatórios de Classe II. Esta classificação indica os limites estabelecidos dos parâmetros das águas doces para o abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional.

Quadro 6 - Parâmetros Físico-Químicos e Biológicos para análise de água

Parâmetros	Indicadores	Unidade	Limites de Tolerância (Classe II)
Biológicos	Cianobactérias	cel/mL	50.000 cel/mL
	Coliformes termotolerantes	org/100mL	1000/100 mL
Físico-Químicos	Cloretos	mg/L	250 mg/L
	DBO	mg/L	5 mg/L
	Ferro	mg/L	0,3 mg/L
	Fósforo	mg/L	0,03 mg/L
	Manganês	mg/L	0,1 mg/L
	Mercurio	mg/L	0,0002 mg/L
	Nitrogênio Total	mg/L	2,18 mg/L
	Oxigênio Dissolvido	mg/L	5 mg/L
	pH	UpH	6,0 - 9,0
	Salinidade	‰	0,5 ‰
	Sólidos Totais	mg/L	500 mg/L
	Temperatura	°C	-
	Turbidez	UNT	100 UNT

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

3.5 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

O Índice de Qualidade de Água (IQA) é uma ferramenta matemática utilizada para combinar um conjunto de diferentes parâmetros em uma medida única que indica o nível de qualidade da água. Este índice foi desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF) e adaptado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (MENEZES et al, 2010).

Neste sentido, o índice é composto por 9 parâmetros de qualidade das águas, dentre os físicos, químicos e biológicos, estabelecendo um peso para cada um deles, conforme o seu grau de influência na qualidade da água (Quadro 7). Os parâmetros selecionados são os seguintes: coliformes fecais (termotolerantes), pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez, sólidos totais e oxigênio dissolvido (COSTA & FERREIRA, 2015).

Assim, de acordo com a CETESB (2018), tem-se a seguinte equação:

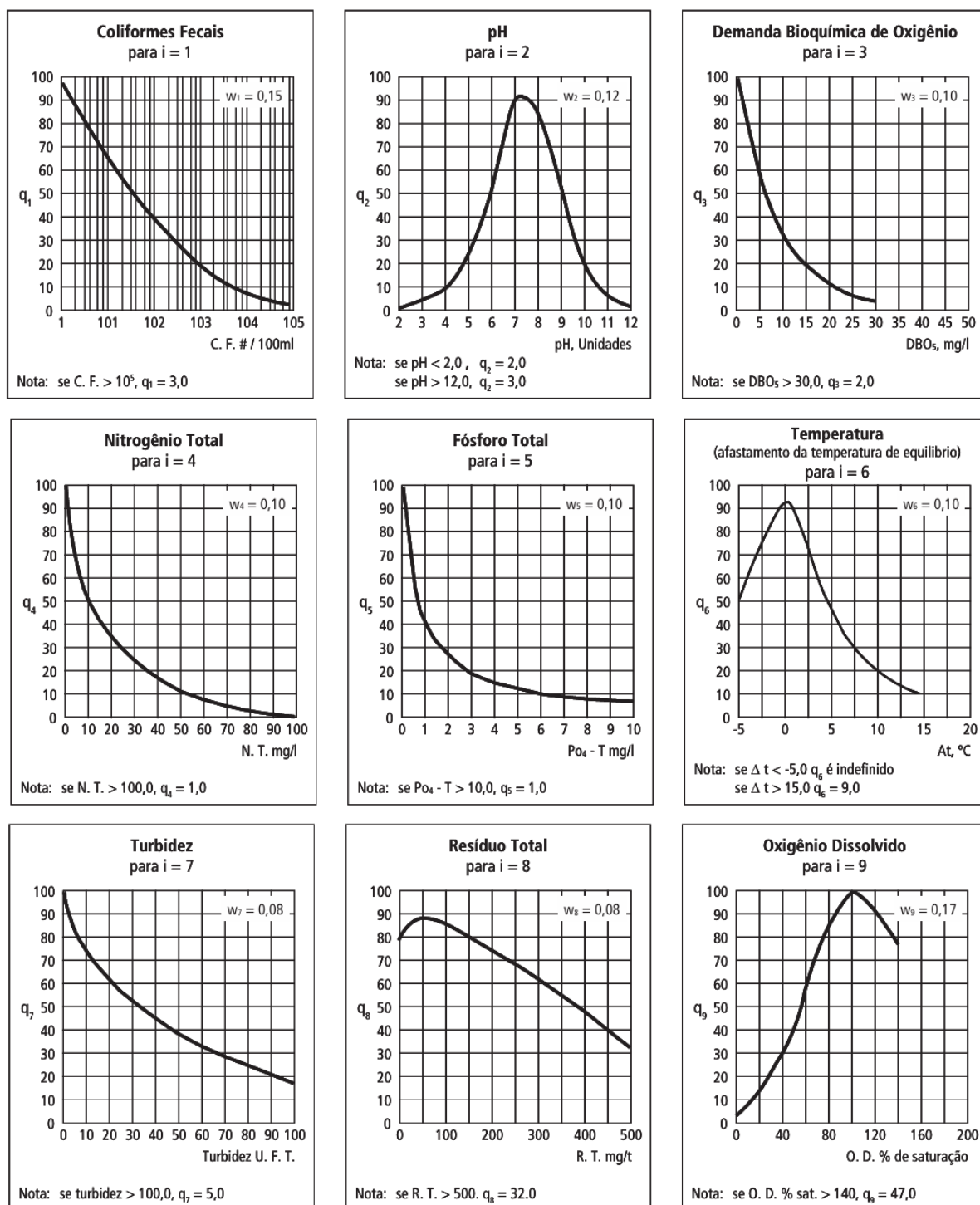
$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i}$$

Em que:

- IQA = Índice de Qualidade da Água, cujo valor pode ser de 0 a 100;
- Π = Produtório, ou seja, uma multiplicação de uma sequência de 9 valores;
- q_i = Qualidade de um parâmetro i , obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função da leitura do aparelho medidor de qualidade da água;
- w_i = peso atribuído a um determinado parâmetro de qualidade, variando de 0 a 1.

Através da leitura de cada parâmetro, por meio dos aparelhos de medição, será utilizada uma curva de classificação de qualidade (Figura 48), atribuindo um valor “ q_i ” de 0 a 100. Tais valores de cada parâmetro serão incorporados na fórmula do IQA

Figura 46 - Curvas de classificação para determinação da qualidade “q” de um parâmetro i



Fonte: ANA (2004); CETESB (2018)

Após a determinação do q_i de cada parâmetro, foram utilizados os respectivos pesos no cálculo para aplicar a equação e chegar ao valor do IQA (Quadro 7).

Quadro 7 - Valores dos pesos atribuídos para cada parâmetro

Parâmetro	Peso - w_i
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,17
Coliformes Termotolerantes (CT)	0,15
pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	0,1
Nitrogênio Total – NT	0,1
Fosfato Total	0,1
Temperatura	0,1
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,08

Fonte: CETESB (2017)

Por fim, após o valor encontrado do cálculo do IQA, será classificado o nível de qualidade da água (Quadro 8).

Quadro 8 - Classificação do IQA de acordo com a NSF e adaptado pela CETESB

Categoria	Ponderação
ÓTIMA	$79 < IQA \leq 100$
BOA	$51 < IQA \leq 79$
REGULAR	$36 < IQA \leq 51$
RUIM	$19 < IQA \leq 36$
PÉSSIMA	$IQA \leq 19$

Fonte: CETESB (2017)

Diante da metodologia apresentada, com a caracterização da área de estudo, as bases de consulta de dados e a exposição dos tipos de informações que serão utilizadas, trarão como produto deste trabalho, a evolução de cada parâmetros de qualidade de cada ponto em estudo ao longo das 12 campanhas, bem como o IQA destes pontos no decorrer do tempo, se houve melhoria ou piora em seus indicadores, durante os anos de 2018 a 2022.

Os resultados destes indicadores foram comparados com as atividades antrópicas nas bacias em estudo, buscando identificar se há possível correlação entre a influência destas atividades nos resultados encontrados pelas coletas de água.

Com isso, foram desenvolvidas recomendações de melhorias no uso e controle do solo, com relação às possíveis atividades causadoras de poluição, a fim de poder garantir uma melhor preservação da qualidade da água nos corpos d'água em torno do Ramal do Agreste para atender a população, de forma digna e segura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

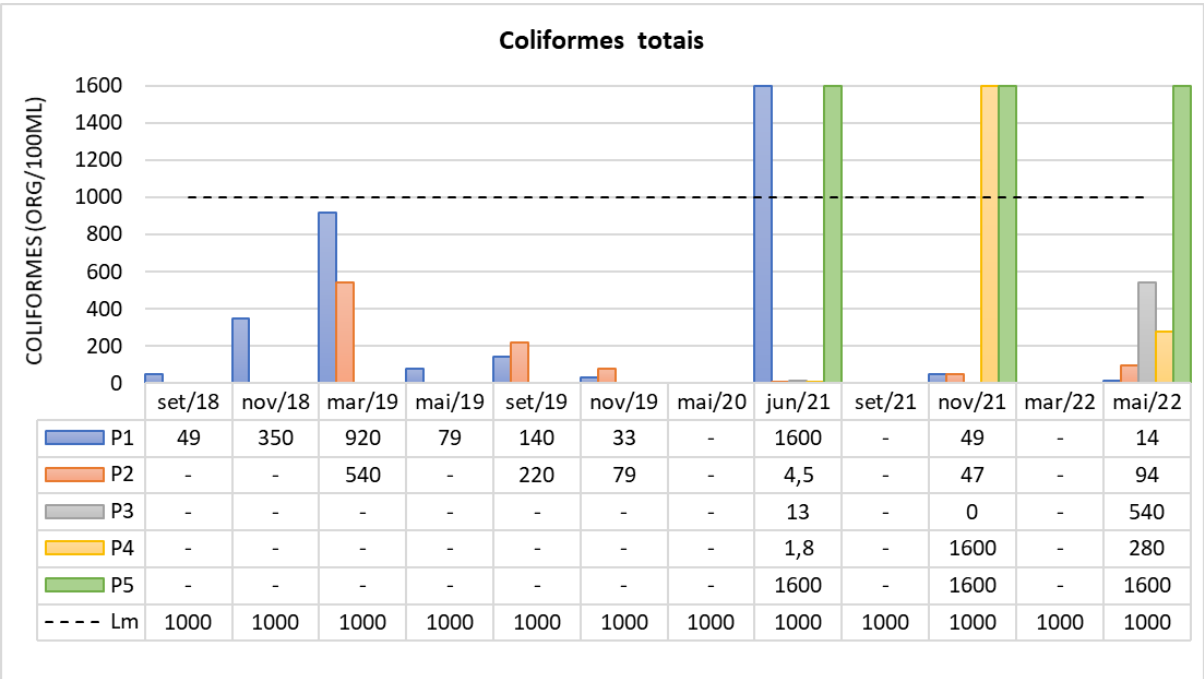
Neste tópico são apresentados os resultados referentes à análise dos parâmetros biológicos e físico-químicos e os Índices de Qualidade das Águas de cada ponto ao longo das 12 campanhas de monitoramento, baseados na metodologia exposta no item anterior, considerando também, a influência dos períodos secos e chuvosos na qualidade da água. Além disso, serão analisadas as bacias dos Rios Ipojuca e Moxotó, onde está situada o Ramal do Agreste e os pontos em estudo, indicando os principais usos e demandas da água, bem como avaliar a influência das atividades antrópicas que possam impactar na qualidade da água nestas regiões.

4.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS BIOLÓGICOS

● Coliformes Totais

De acordo com as informações analisadas, notou-se nos dois primeiros anos de monitoramento, que a concentração de coliformes totais estavam dentro do limite estabelecido. Contudo, a partir de 2021, o ponto P1 ultrapassou a margem em Jun/2021, o ponto P4, em Nov/2021 e o P5 nas campanhas de Jun/2021, Nov/2021 e Mai/2022 (Gráfico 2 e Tabela 1).

Gráfico 2 - Análise de coliformes totais durante as campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 1 - Variação dos coliformes totais no Ramal do Agreste durante o período de estudo

Coliformes Totais (org/100ml)				
Ponto	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	14	1600	359	516
P2	4,5	540	164	181
P3	0	540	184	252
P4	1,8	1600	627	697
P5	1600	1600	1600	0

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Nota-se no gráfico acima que não foi possível obter a leitura de alguns pontos pelo seguinte motivo: no momento da análise, o ponto em questão estava seco, portanto, sem presença de água para coleta. Tal observação foi refletida em todos os parâmetros analisados.

As bactérias do grupo coliforme são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal. São denominadas como termotolerantes, pois prosperam a uma temperatura de 44,5°C e têm a capacidade de fermentar açúcares. As utilizações dessas bactérias termotolerantes como indicadores de poluição sanitária estão localizadas no trato intestinal humano e de animais de sangue quente. Portanto, a presença de coliformes na água indica a possibilidade de presença de micro-organismos patogênicos. Esses seres são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, como febre tifoide, disenteria bacilar e cólera. (CETESB, 2003).

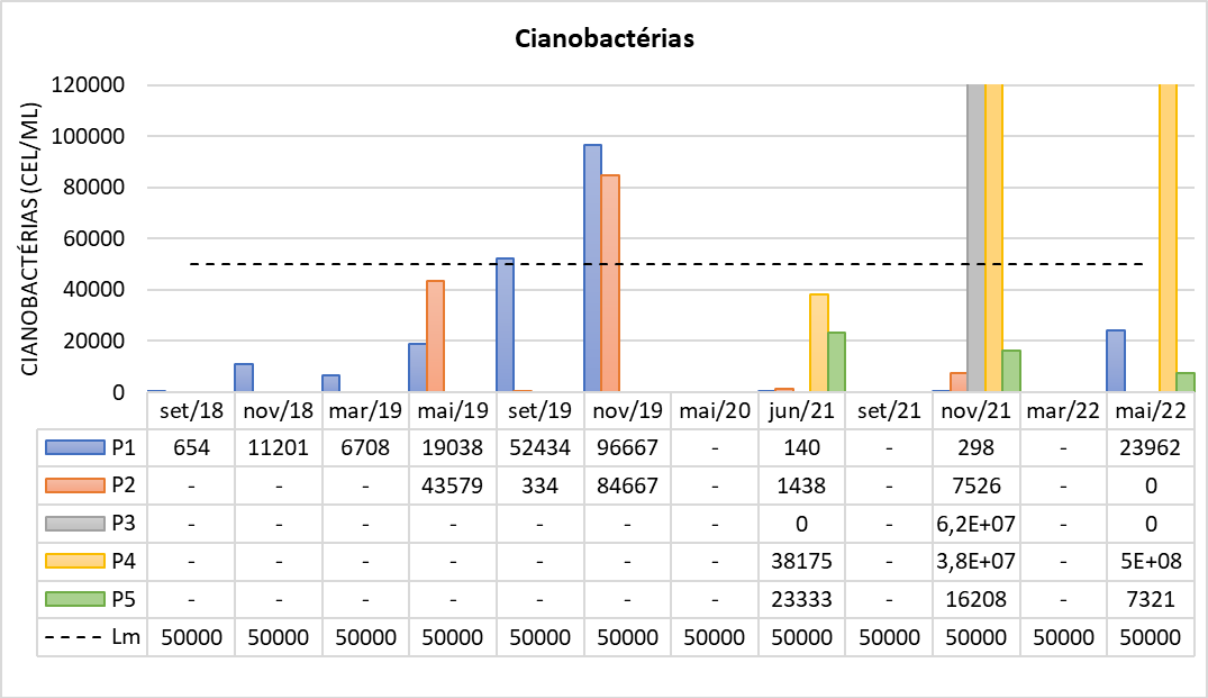
É importante destacar que este indicador está intimamente relacionado às regiões com falta de um saneamento básico, com uma destinação inadequada dos esgotos domésticos em direção aos cursos de água.

● **Cianobactérias**

As cianobactérias são um grupo de microrganismos encontrados em ambientes aquáticos que têm a capacidade de produzir toxinas, conhecidas como cianotoxinas, sendo nocivas ao homem e à própria fauna. Tais substâncias podem causar intoxicações graves por meio do contato ou ingestão da água contaminada (CEMIG, 2011).

Com relação a concentração de cianobactérias, conforme os dados analisados no Gráfico 2, os pontos P1 e P2 ultrapassaram o limite recomendável na campanha de Nov/2019, enquanto o ponto P3 superou a margem somente em Nov/2021. Já o ponto P4, além da campanha de Nov/2021, foi detectado um valor acima do recomendável em Mai/2022 (Gráfico 3 e Tabela 2).

Gráfico 3 - Análise de cianobactérias durante as campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 2 - Variação das cianobactérias no Ramal do Agreste durante o período

Cianobactérias (cel/ml)				
Ponto	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	140	96667	23456	30276
P2	0	84667	22924	31553
P3	0	62.307.692	20.769.230	29.372.127
P4	38175	503.461.583	180.357.291	228.982.512
P5	7321	23333	15621	6550

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

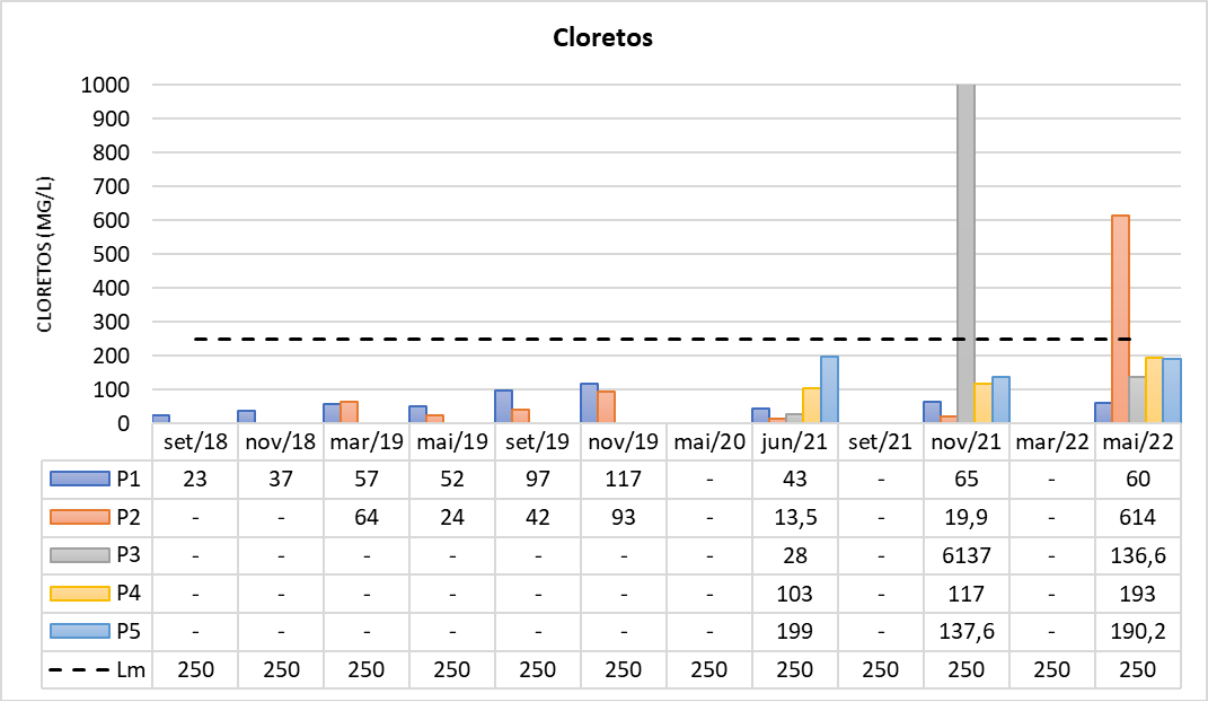
Estes micro-organismos são considerados fotossintetizantes, ou seja, produzem seus próprios alimentos e sua proliferação excessiva resulta na formação de uma camada de cor verde azulada na superfície da água, fenômeno conhecido como "floração". As ocorrências mais comuns da presença na água são devido ao lançamento de esgoto nos rios e ao uso de fertilizantes, que aumentam a quantidade de nutrientes, como fósforo e nitrogênio nos corpos d'água, promovendo o rápido crescimento das cianobactérias. Regiões de altas insolações também são um fator preponderante que contribui para o aumento desses microrganismos (CEMIG, 2011).

4.2 ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS

● Cloretos Totais

Na análise dos cloretos, nos anos de 2018 a 2020, as concentrações permaneceram dentro da faixa recomendada de 250 mg/L. Porém na campanha de Nov/2021, o ponto P3 ultrapassou o limite, enquanto o ponto P2, em Mai/2022 (Gráfico 4 e Tabela 3).

Gráfico 4 - Análise de cloretos totais durante as campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 3 - Variação dos cloretos totais no Ramal do Agreste durante o período de estudo.

Cloretos Totais (mg/l)				
Ponto	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	23	117	61	28
P2	13,5	614	124	202
P3	28	6137	2101	2855
P4	103	193	138	40
P5	137,6	199	176	27

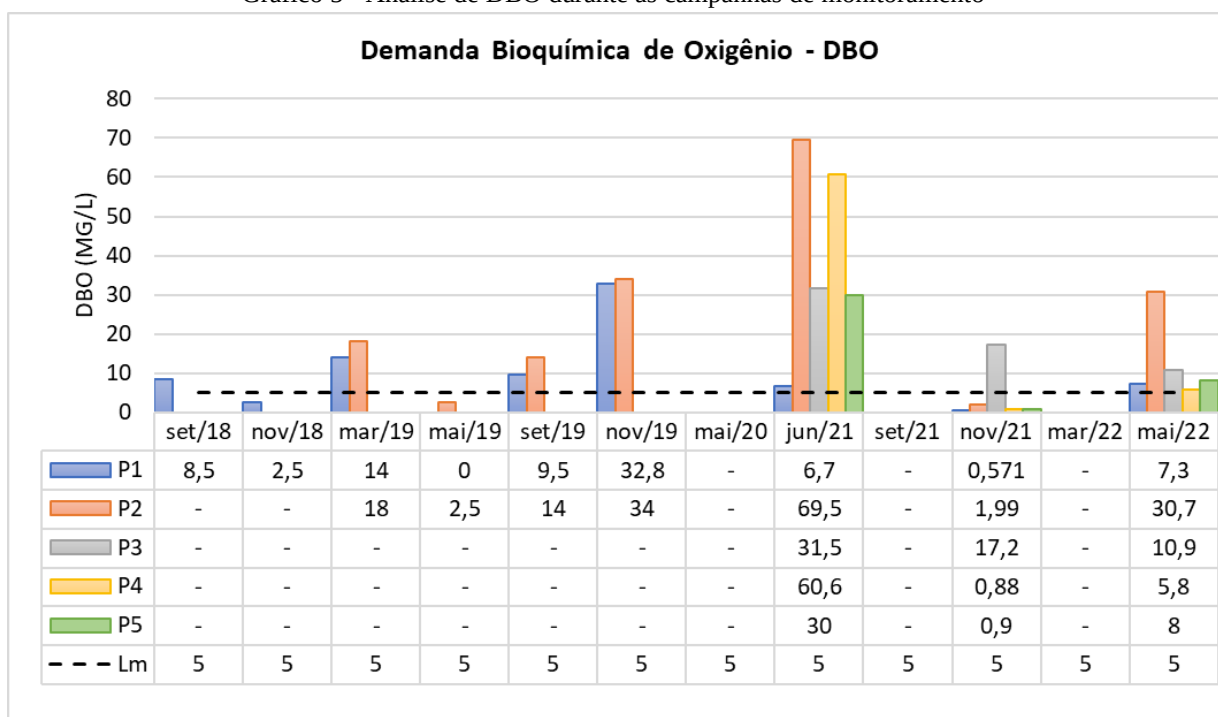
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Os cloretos são íons aniônicos (Cl-) que estão comumente presentes nas descargas de esgotos sanitários, por meio da urina. Cada pessoa expele aproximadamente 6 g de cloreto por dia. Além disso, os cloretos também estão presentes nas regiões costeiras, próximas ao mar. Neste sentido, estes compostos conferem o sabor “salgado” das águas. Seu principal efeito adverso é devido a corrosão em estruturas hidráulicas (CETESB, 2003).

• Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO

Com relação à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), de Set/2018 a Nov/2019, houve valores crescentes dos índices acima do permitido, chegando ao seu “pico” em Jun/2021, em que todos os pontos obtiveram valores acima do permitido. Nas análises seguintes, no geral houve um decréscimo dos valores até a última campanhas (Mai/2022), mas com todos os pontos situados acima da faixa (Gráfico 5 e Tabela 4).

Gráfico 5 - Análise de DBO durante as campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 4 - Variação da DBO no Ramal do Agreste durante o período de estudo.

DBO (mg/l)				
Ponto	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	0	32,8	9,1	9,4
P2	2	69,5	24,4	21,7
P3	10,9	31,5	19,9	8,6
P4	0,9	60,6	22,4	27,1
P5	0,9	30	13,0	12,4

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é um grande indicador utilizado para identificar a presença de matéria orgânica na água. Este parâmetro indica o consumo de oxigênio, por micro-organismos aeróbios, necessário para decompor a matéria orgânica

presente na água (EMBRAPA, 2011).

As altas taxas de DBO em um corpo d'água, são comumente provocadas por efluentes domésticos orgânicos, que são lançados aos rios e córregos, sem uma presença de saneamento básico adequada nas zonas urbanas.

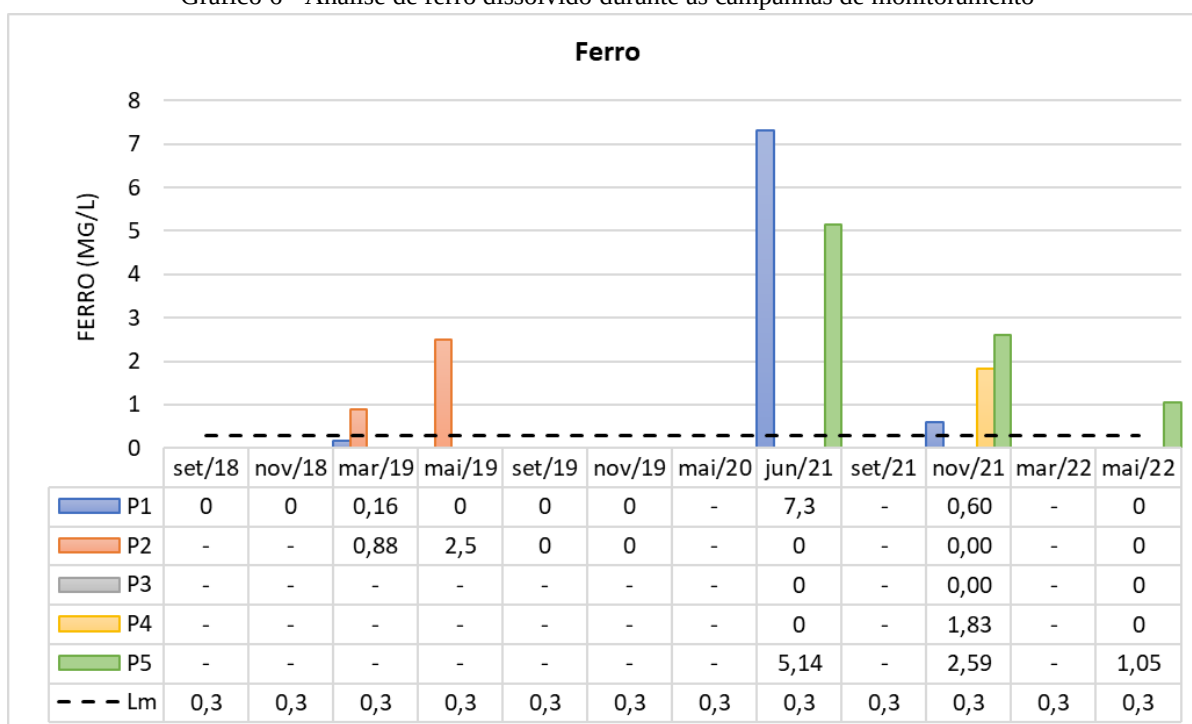
Neste sentido, os valores elevados de matéria orgânica presentes na água acabam fomentando a proliferação de micro-organismos que podem consumir praticamente todo o oxigênio na água, colocando em risco os animais aquáticos (CETESB, 2003).

Além disso, outros efeitos indesejados pelo aumento da DBO são o rápido crescimento da microflora local, que podem ocasionar sabores e odores desagradáveis na água e podem até mesmo causar a obstrução dos filtros de areia utilizados em estações de tratamento de água. (CETESB, 2003).

• Ferro Dissolvido

No que se refere à análise de Ferro, durante as campanhas de Mar/2019 a Mai/2019, houve um aumento dos teores acima do permitido para o ponto P2. Já em Jun/2021, o maior pico acima do recomendado foi por meio dos pontos P1 e P5, decrescendo os valores nas campanhas seguintes. Cabe ressaltar que, o ponto P3 foi o único que manteve seu índice dentro dos limites estabelecidos no decorrer das campanhas (Gráfico 6 e Tabela 5).

Gráfico 6 - Análise de ferro dissolvido durante as campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 5 - Variação de ferro dissolvido no Ramal do Agreste durante o período de estudo.

Ponto	Ferro (mg/l)			
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	0,0	7,3	0,9	2,3
P2	0,0	2,5	0,5	0,9
P3	0,0	0,0	0,0	0,0
P4	0,0	1,8	0,6	0,9
P5	1,0	5,1	2,9	1,7

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

O Ferro é um elemento abundante encontrado na crosta terrestre, sendo solúvel em água e bastante encontrado, por exemplo, em águas de poços. Já nas águas superficiais, o índice deste elemento pode aumentar nas épocas de chuvas, devido ao carreamento de solos aos leitos dos rios e lagos, sendo processos naturais de erosão das margens. Atividades humanas, como as de indústrias metalúrgicas, por meio da liberação de efluentes, também podem contribuir para seu aumento nos corpos d'água (CETESB, 2003).

Este elemento, em quantidades necessárias, consiste em fonte de nutrientes para os seres vivos, sejam animais ou vegetais. Nos humanos e animais, participa na formação das hemoglobinas, responsáveis por transportar o oxigênio pelos glóbulos vermelhos.

Apesar deste elemento não expor riscos à saúde, sua alta concentração nas águas de abastecimento podem ocasionar inconvenientes de ordem estética, pois, pela sua coloração avermelhada, podem ser comuns encontrar manchas em roupas e nas bacias sanitárias, por exemplo (FUNASA, 2014).

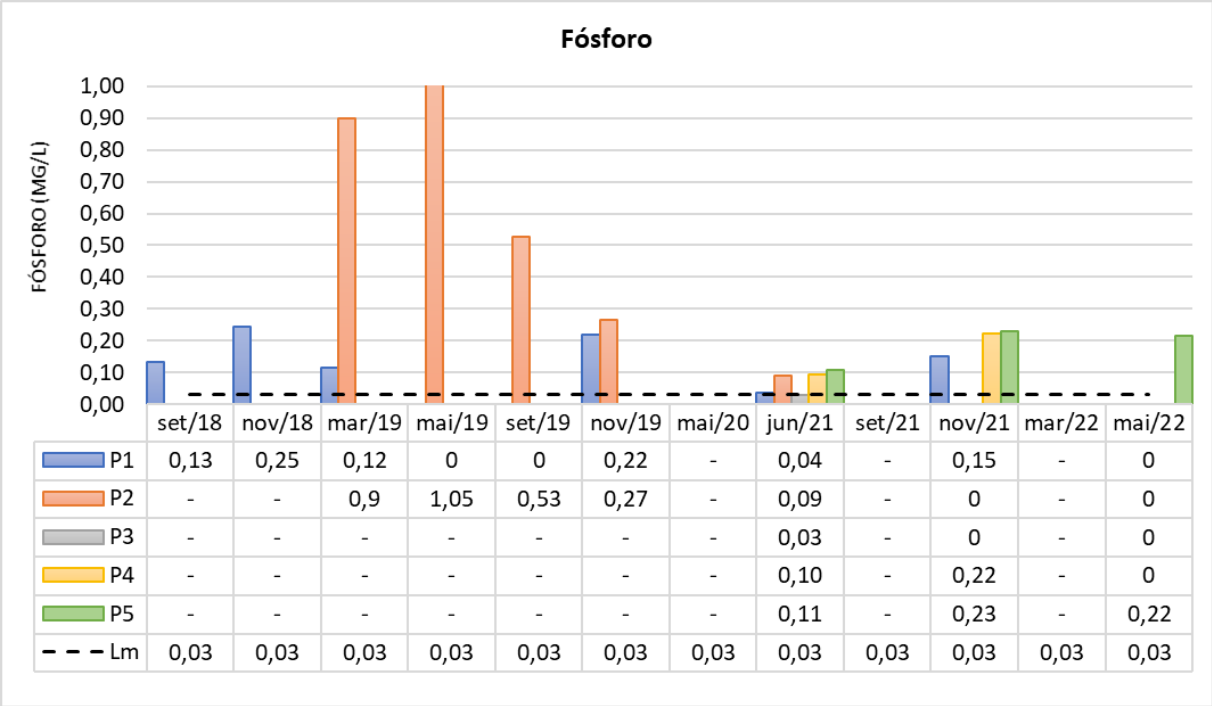
● **Fósforo Total**

O Fósforo é um dos macronutrientes essenciais mais importantes para o desenvolvimento das plantas. Sua utilização é em larga escala nos cultivos agrícolas, por meio da aplicação de adubos e fertilizantes.

Os índices de Fósforo durante as campanhas de monitoramento têm sido mais acentuados no ano de 2019, com destaque ao ponto P2, em que apresentou taxas crescentes acima do permitido, chegando ao platô em Mai/2019 e decrescendo nas campanhas seguintes.

Destaca-se que o ponto P3 foi o único que manteve seu valor dentro do limite recomendado durante o período de coleta (Gráfico 7 e Tabela 6).

Gráfico 7 - Análise de fósforo durante as campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 6 - Variação de fósforo total no Ramal do Agreste durante o período de estudo.

Fósforo (mg/l)				
Ponto	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	0,00	0,25	0,10	0,09
P2	0,00	1,05	0,40	0,40
P3	0,00	0,03	0,01	0,01
P4	0,00	0,22	0,11	0,09
P5	0,11	0,23	0,19	0,05

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

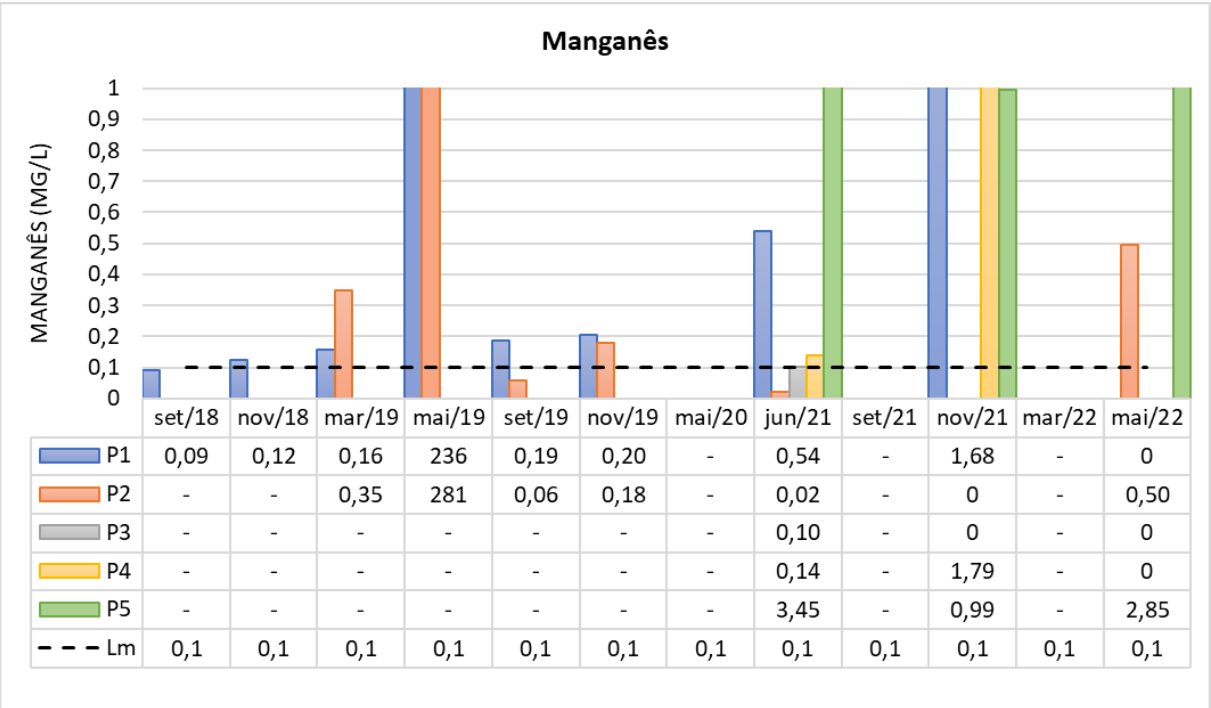
Estes elementos, quando encontrados na água, são fontes de nutrientes para o desenvolvimento das plantas aquáticas, como algas e macrófitas. Contudo, quando em excesso, há um crescimento descontrolado destas, causando um desequilíbrio na fauna e flora, e consequentemente afetando a qualidade no uso da água, fenômeno conhecido como eutrofização (FUNASA, 2014).

Neste sentido, o que se refere à fonte de Fósforo nas águas podem ser por meios naturais, como exemplo: intemperismo das rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica; ou antrópicas, por meio da emissão de esgotos, detergentes e fertilizantes nos corpos hídricos (FUNASA, 2014).

● **Manganês Total**

As concentrações de Manganês durante as campanhas, no geral apresentaram valores bastante elevados, com exceção apenas do ponto P3, que apresentou os índices dentro do permitido (Gráfico 8 e Tabela 7).

Gráfico 8 - Análise de manganês total durante as campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 7 - Variação de manganês total no Ramal do Agreste durante o período de estudo

Manganês (mg/l)				
Ponto	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	0,00	236,00	26,55	74,05
P2	0,00	281,00	40,30	98,27
P3	0,00	0,10	0,03	0,05
P4	0,00	1,79	0,64	0,81
P5	0,99	3,45	2,43	1,05

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

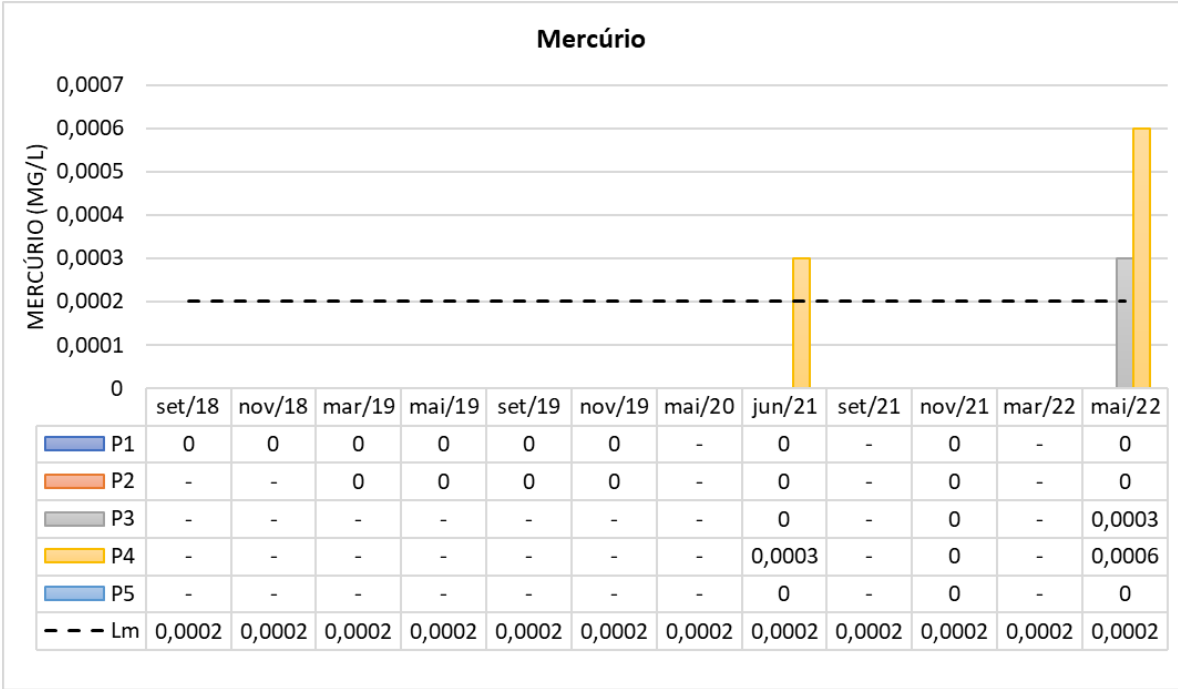
O Manganês é considerado um elemento metálico, de coloração cinza claro, normalmente utilizado na fabricação de alguns produtos, como por exemplo: ligas metálicas, pilhas, palitos de fósforo, vidros, fogos de artifício, couros, fertilizantes, dentre outros. Além disso, este elemento é considerado um nutriente essencial em pequenas doses para os seres vivos. Neste contexto, a fonte de exposição ao ser humano consiste no consumo de alimentos ou suplementos contendo manganês, apresentando baixa toxicidade após ingestão (CETESB,

2022). Assim como o Ferro, sua alta concentração nas águas de abastecimento podem ocasionar inconvenientes de ordem estética, caracterizando por uma coloração acinzentada, sendo recorrente encontrar manchas em roupas e nas bacias sanitárias (FUNASA, 2014).

● **Mercúrio Total**

Com relação aos teores de Mercúrio foram detectadas as presenças acima do valor recomendável do elemento no ponto P4, nas campanhas de Jun/2021 e Mai/2022. O ponto P3 também obteve um índice acima do permitido na última campanha. Já os demais pontos não foram detectados valores no decorrer das campanhas (Gráfico 9 e Tabela 8).

Gráfico 9 - Análise de mercúrio durante as campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 8 - Variação de mercúrio total no Ramal do Agreste durante o período de estudo.

Mercúrio (mg/l)				
Ponto	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	0,000	0,000	0,000	0,000
P2	0,000	0,000	0,000	0,000
P3	0,000	0,003	0,000	0,000
P4	0,000	0,006	0,000	0,001
P5	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

O mercúrio é considerado um elemento metálico e líquido a temperatura ambiente. Uma de suas principais características é a sua capacidade de acumulação na maioria dos organismos. Além disso, este elemento pode ser depositado no solo e em ambientes aquáticos, por meio do escoamento superficial e erosão nas margens (TINÔCO et al, 2010).

Neste sentido, o processo de bioacumulação geralmente começa quando um organismo absorve uma substância tóxica, como o mercúrio, através da ingestão de alimentos e água. À medida que o organismo consome mais alimentos contaminados com mercúrio ao longo do tempo, elas se acumulam em seus tecidos, podendo atingir níveis perigosos para a saúde, se intensificando ao longo da cadeia alimentar.

Neste sentido, a ingestão de mercúrio por meio da água ou animais contaminados no organismo humano pode resultar em sérios danos à saúde. A sua capacidade de se acumular de maneira progressiva e irreversível faz com esse elemento seja retido nos tecidos, causando lesões significativas, especialmente nos rins, fígado, sistema digestivo e sistema nervoso central. No Brasil, a preocupação com a contaminação ambiental é mais acentuada em regiões onde ocorre a mineração de ouro, uma atividade que se destaca como uma das principais fontes antropogênicas de emissão de mercúrio. (TINÔCO et al, 2010).

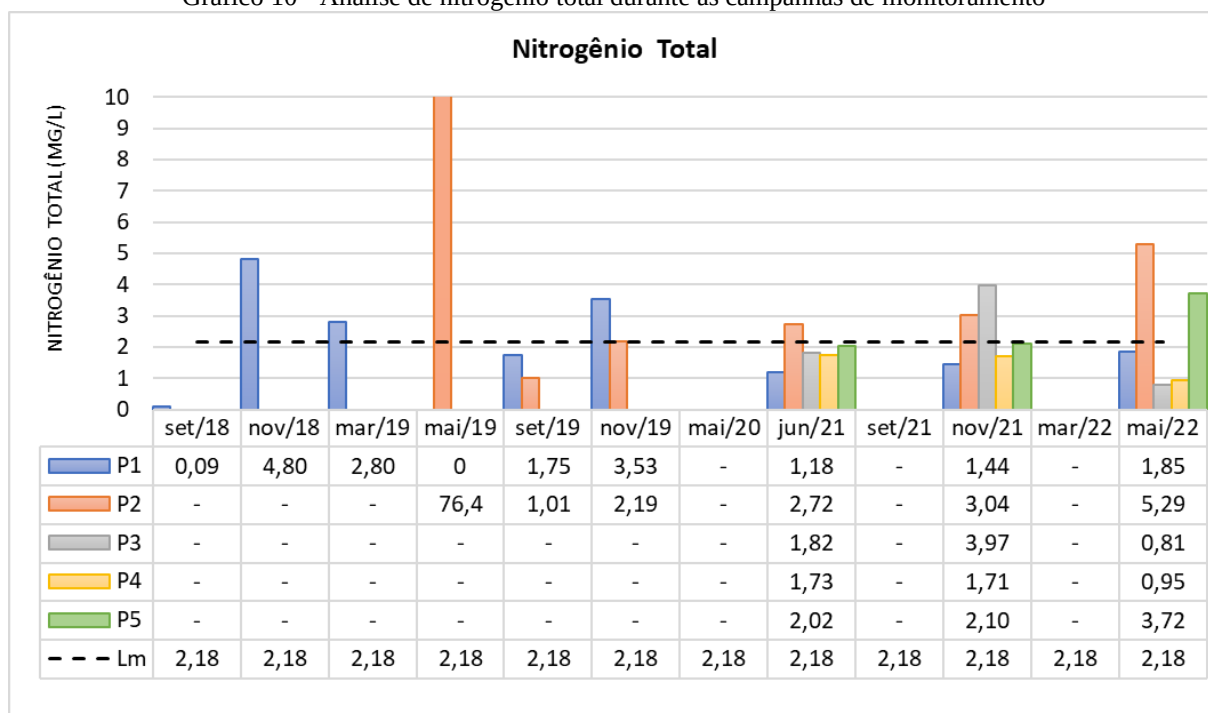
● **Nitrogênio Total**

O Nitrogênio e seus compostos são considerados, juntamente com o Fósforo e o Potássio, como um dos macronutrientes essenciais, em especial aos vegetais.

Quando são despejados nas águas naturais conjuntamente outros nutrientes, provocam a fertilização do meio, fomentando o crescimento das algas, denominado de eutrofização. O nitrogênio pode estar constituído nos cursos d'águas sob as formas orgânica, amoniacal, nitrito e nitrato. Quimicamente, as duas primeiras são consideradas as formas reduzidas do Nitrogênio, enquanto as duas últimas, como oxidadas. Neste contexto, é possível associar a idade da poluição com a composição e proporção das formas de nitrogênio (CETESB, 2003).

Na análise de Nitrogênio Total, o ponto P1 obteve valores acima da faixa permitida até o ano de 2019, mantendo-se dentro do limite nos anos seguintes. O ponto P2 teve o maior pico de teor de nitrogênio acima do permitido (Mai/19), comparado com os demais pontos. Os pontos P3, P4 e P5 obtiveram no geral, valores com leves oscilações acima do permitido (Gráfico 10 e Tabela 9).

Gráfico 10 - Análise de nitrogênio total durante as campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 9 - Variação do nitrogênio total no Ramal do Agreste durante o período de estudo.

Nitrogênio (mg/l)				
Ponto	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	0,00	4,80	1,94	1,47
P2	1,01	76,40	15,11	27,44
P3	0,81	3,97	2,20	1,32
P4	0,95	1,73	1,46	0,36
P5	2,02	3,72	2,61	0,78

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

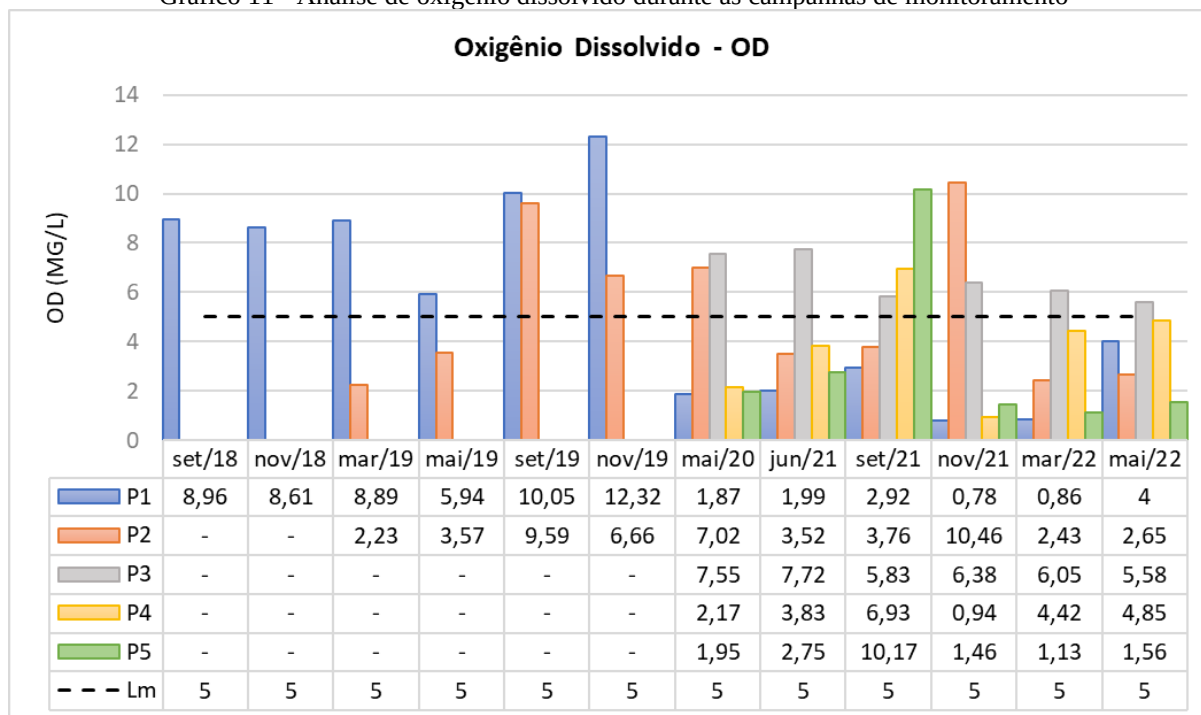
Basicamente a principal emissão de Nitrogênio é por meio dos esgotos sanitários nos rios e canais, sob as formas tanto de nitrogênio orgânico devido à presença de proteínas e quanto nitrogênio amoniacal, devido à hidrólise da ureia na água. Além disso, é possível encontrar teores do elemento em efluentes industriais de origens químicas, siderúrgicas, farmacêuticas, alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes (CETESB, 2003).

● Oxigênio Dissolvido

Com relação ao Oxigênio Dissolvido, os valores satisfatórios devem se encontrar acima do valor mínimo. Durante os anos de 2018 a 2019, o ponto P1 obteve valores dentro do recomendável, porém mantendo-se abaixo nos anos seguintes. O ponto P2 obteve índices relativamente permitidos nas campanhas de (Set/19) a (Mai/20) e na campanha de (Nov/21). Já o ponto P3 todas as concentrações ficaram dentro da tolerância, enquanto os pontos P4 e P5

obtiveram, no geral, valores insatisfatórios, abaixo do recomendável (Gráfico 11 e Tabela 10).

Gráfico 11 - Análise de oxigênio dissolvido durante as campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 10 - Variação de OD no Ramal do Agreste durante o período de estudo.

Oxigênio Dissolvido (mg/l)				
Ponto	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	0,78	12,32	5,60	3,86
P2	2,23	10,46	5,19	2,88
P3	5,58	7,72	6,52	0,83
P4	0,94	6,93	3,86	1,92
P5	1,13	10,17	3,17	3,17

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

O oxigênio é um elemento essencial para a manutenção da vida na Terra, pois participa ativamente dos processos metabólicos das células e produção de energia por meio da fotossíntese de algas e plantas, como pela respiração pelos animais.

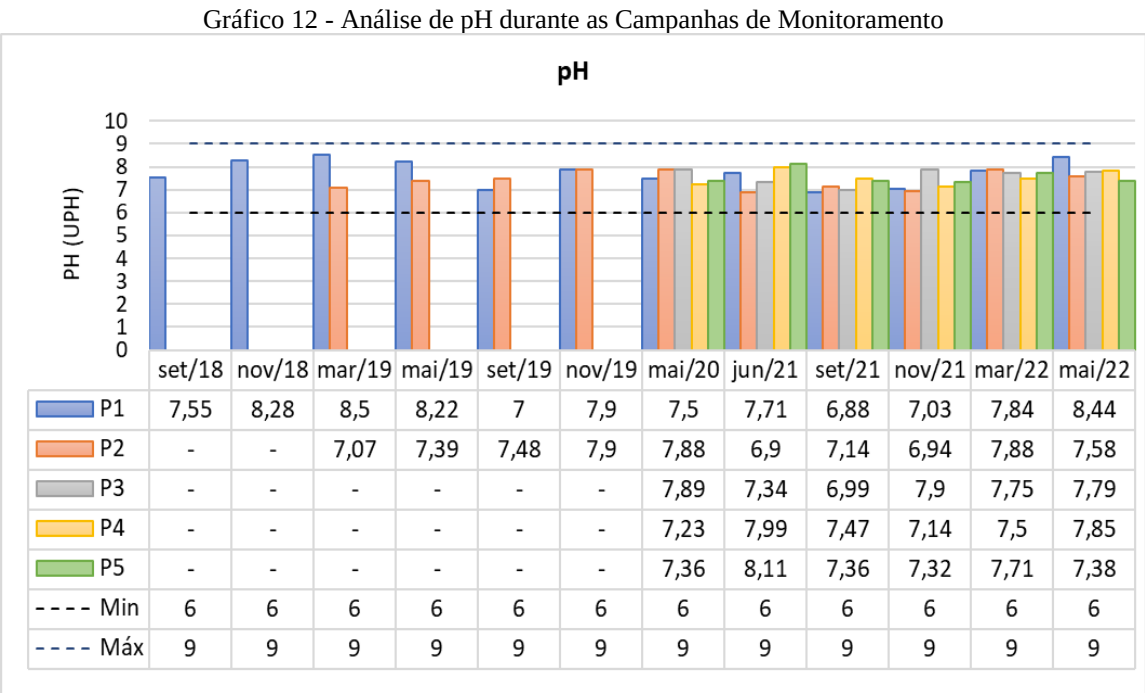
Na água não seria diferente. Neste sentido, a presença deste elemento nos cursos hídricos depende de algumas variáveis como a temperatura, pressão, salinidade e velocidade da água. Em águas eutrofizadas, com a presença de nitrogênio e fósforo no meio, existe o aumento da fotossíntese pelas algas e bactérias aeróbias, aumentando as taxas de oxigênio no meio (CETESB, 2003).

Porém, este fato não pode ser considerado de forma isolada, analisando a qualidade da água somente pelo OD, ressaltando a importância de observar os demais parâmetros. Sob esta ótica, uma água considerada poluída é aquela que apresenta uma baixa concentração de oxigênio dissolvido, devido ao consumo deste elemento no processo de decomposição da matéria orgânica presente no meio. Neste sentido, uma taxa ideal de OD é fundamental para a realização dos processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e indicar a capacidade de um rio ou um lago natural manter a vida aquática (CETESB, 2003).

• **Potencial de Hidrogênio (pH)**

O potencial de hidrogênio (pH) indica se um meio líquido possui características ácidas ou alcalinas, através da medição da quantidade de íons hidrogênio (H+) na solução. Este parâmetro é obtido em escala antilogaritma, sendo classificado em uma faixa que varia de 0 a 14, sendo abaixo de 7, em condições ácidas; e superior a 7, em condições alcalinas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

Com relação à análise de pH, todos os pontos se situaram na faixa recomendada (entre 6,0 a 9,0), predominando o pH alcalino (acima de 7,0), com destaque ao maior valor de pH, no ponto P1 (8,5) em Mar/19 e menor valor também encontrado no ponto P1 (6,88), sendo este considerado levemente ácido (Gráfico 12 e Tabela 11).



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 11 - Variação do pH no Ramal do Agreste durante o período de estudo.

PH				
Ponto	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	6,88	8,50	7,7375	0,54
P2	6,90	7,90	7,42	0,37
P3	6,99	7,90	7,61	0,33
P4	7,14	7,99	7,53	0,31
P5	7,36	8,11	7,54	0,29

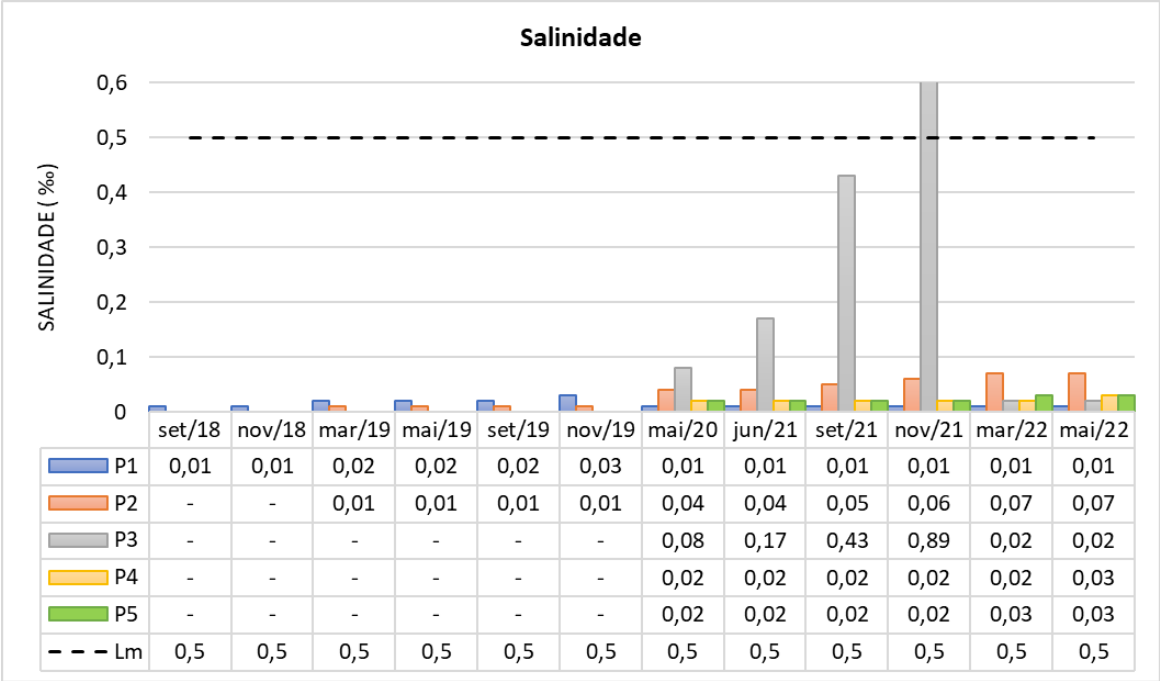
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

O pH possui influência nas formas livres e ionizadas de vários compostos químicos, além da solubilidade das substâncias e no potencial de toxicidade de diferentes elementos. As variações de pH podem ter causas naturais, por meio da dissolução de rochas e pela fotossíntese, ou podem ser causadas por atividades humanas, como despejos domésticos e substâncias industriais. Em águas destinadas ao abastecimento, um pH baixo pode aumentar a corrosividade das tubulações, enquanto um pH elevado pode levar à formação de incrustações. Já para preservar a vida aquática, o pH geralmente deve estar na faixa de 6,0 a 9,0 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006). Valores próximo ao neutro também são benéficos para o organismo humano.

● Salinidade

Na análise de salinidade, no geral os pontos ficaram dentro da tolerância, exceto no ponto P3 durante a campanha de Nov/2021 (Gráfico 13 e Tabela 12).

Gráfico 13 - Análise de salinidade durante as campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 12 - Variação da salinidade no Ramal do Agreste durante o período de estudo.

Ponto	Salinidade (‰)			
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	0,01	0,03	0,01	0,01
P2	0,01	0,07	0,04	0,02
P3	0,02	0,89	0,27	0,31
P4	0,02	0,03	0,02	0,00
P5	0,02	0,03	0,02	0,00

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

O teor de salinidade pode ser entendido como a presença de sais solúveis e de sódio trocável, sendo este a capacidade que o cátion (Na^+) tem de adsorver os componentes da argila que formam o solo, afetando o crescimento das plantas. Além disso, provoca uma desestruturação e um aumento da densidade do solo, consequentemente reduzindo a capacidade da infiltração de água pelo excesso de íons de sódio. A problemática da salinidade se torna mais agravante nas regiões áridas e semiáridas do mundo (AZEVEDO et al, 2017).

Neste contexto, a ação das atividades antrópicas como o mal uso do solo e da água usada para irrigação, além da adição alguns fertilizantes são fatores que ocasionam o aumento da presença de sódio, causando a deterioração do terreno (AZEVEDO et al, 2017).

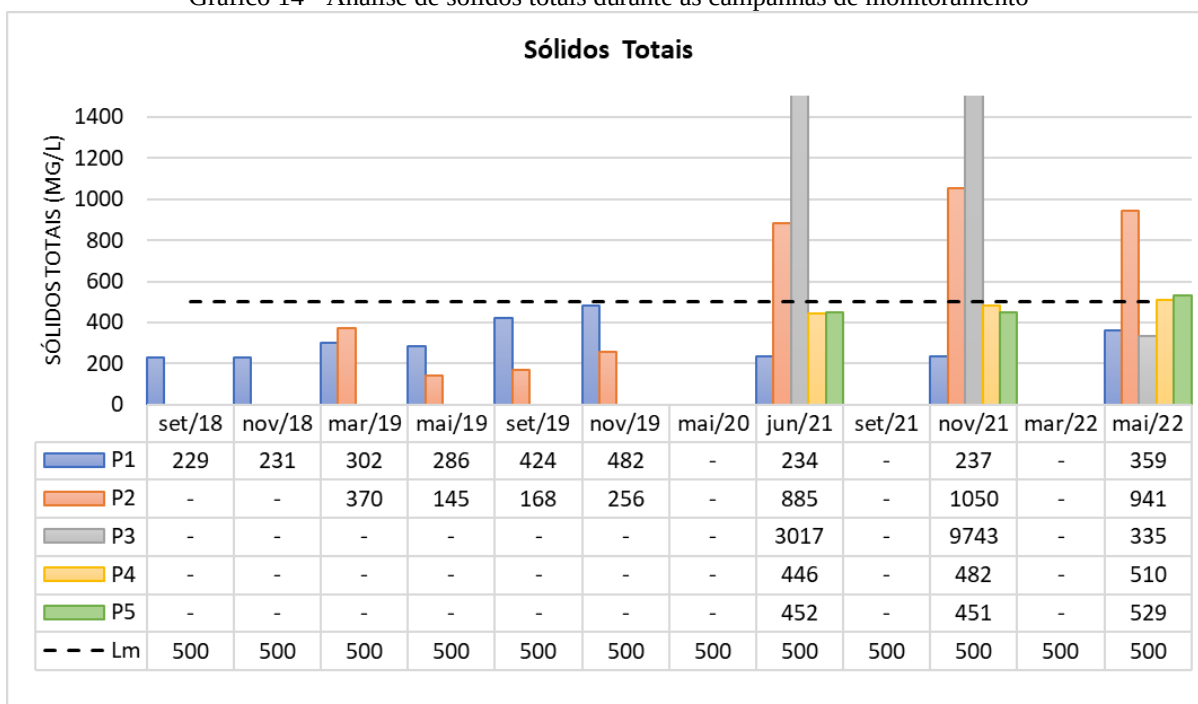
Cabe ressaltar que a presença desses compostos na água prejudica também a sua potabilidade, o que pode tornar inviável a utilização para consumo humano e dessedentação de animais, exigindo meios mais onerosos para promover a dessalinização e o tratamento da água para se tornar potável.

● Sólidos Totais

A existência de partículas sólidas na água refere-se a todo material que permanece como resíduo após processos de evaporação e secagem em uma temperatura previamente definida durante um período específico. De maneira geral, as etapas de secagem e filtração são cruciais para determinar as diferentes porções de sólidos presentes na água, tais como sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis (CETESB, 2003).

Pela análise de sólidos totais, foi possível notar que nos anos de 2018 a 2020, os índices dos pontos analisados se mantiveram dentro do limite permitido. A partir do ano de 2021, os pontos P2 e P3 ultrapassaram a margem estabelecida (Gráfico 14 e Tabela 13).

Gráfico 14 - Análise de sólidos totais durante as campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 13 - Variação dos sólidos totais no Ramal do Agreste durante o período de estudo.

Sólidos Totais (mg/l)				
Ponto	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	229	482	309	88
P2	145	1050	545	367
P3	335	9743	4365	3957
P4	446	510	479	26
P5	451	529	477	37

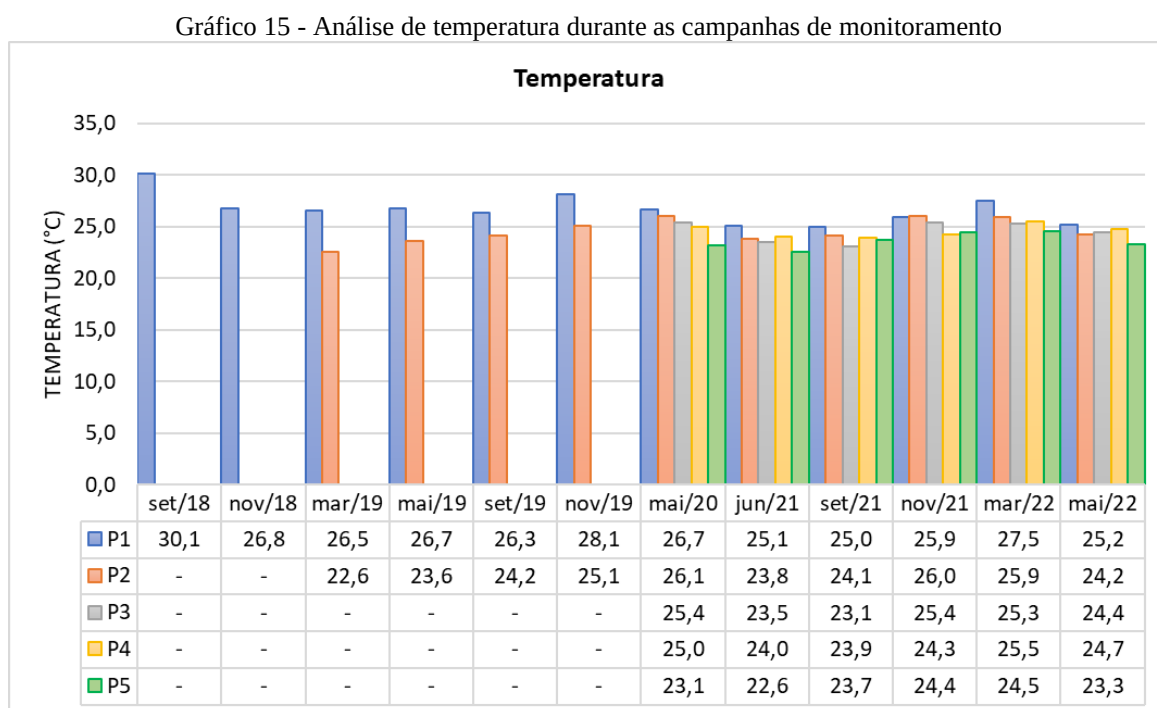
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Com relação a presença de sólidos nos corpos hídricos, pode se dar de maneira natural, por meio de processos erosivos, organismos e detritos orgânicos; ou pelo homem, pelo lançamento de resíduos sólidos e efluentes domésticos (FUNASA, 2014).

Em quantidades excessivas podem gerar riscos aos animais aquáticos. Os sedimentos ao se depositarem no leito dos rios, podem afetar organismos que fornecem alimentos, como também prejudicar os leitos de desova de peixes, por exemplo. Além disso, altos teores de sais minerais, como sulfato e cloreto, estão relacionados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de dar sabor às águas (CETESB, 2003).

• Temperatura

Quanto a análise de temperatura, as amostras obtiveram valores próximos entre si, durante o período de coleta, o que é previsível, por se tratar pontos situados em uma mesma região de estudo. Destaca-se o ponto P1 em Set/2018, que registrou a maior temperatura (30,1°C); e o ponto P5 em Jun/2021, a menor temperatura, de 22,6°C (Gráfico 15 e Tabela 14).



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 14 - Variação de temperatura no Ramal do Agreste durante o período de estudo.

Temperatura (°C)				
Ponto	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	25,0	30,1	26,6	1,4
P2	22,6	26,1	24,6	1,1
P3	23,1	25,4	24,5	0,9
P4	24,0	25,5	24,6	0,6
P5	22,6	24,5	23,6	0,7

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

A temperatura é um parâmetro físico que indica a quantidade de energia cinética das moléculas em um corpo, e sua variação considerada o principal mecanismo de transferência de calor em um meio para outro. Mudanças na temperatura da água podem ser ocasionadas por fontes naturais, pelo sol; ou de atividades humanas, por meio processos industriais do uso de água para resfriar máquinas, por exemplo. Neste sentido, a temperatura tem uma grande

influência na velocidade de reações químicas, atividades metabólicas dos seres vivos e solubilidade de substâncias (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

Normalmente, os recursos hídricos no Brasil apresentam temperaturas entre 20 °C e 30 °C. Porém, nas áreas mais frias, como a Região Sul, as temperaturas em épocas de inverno podem diminuir para intervalos entre 5 °C e 15 °C, e em casos extremos, podendo até chegar a congelar. Neste contexto, as águas destinadas ao consumo humano em temperaturas elevadas são geralmente desagradáveis para a população (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

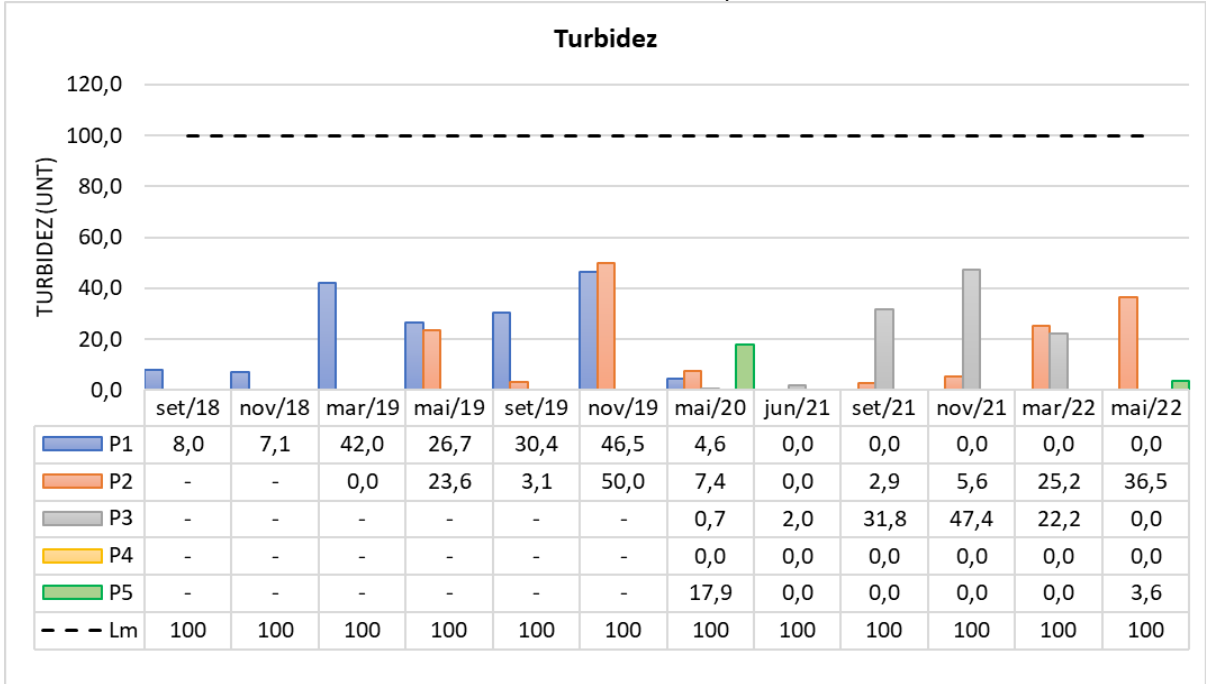
Águas a temperatura ambiente, em torno de 25°C são as mais adequadas e aceitas para o consumo e abastecimento humano.

• **Turbidez**

A turbidez é a medida do quanto a passagem da luz é impedida ao atravessar um líquido. Essa interferência na penetração da luz na água ocorre devido à presença de partículas em suspensão, sendo quantificada em unidades de turbidez. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

Na análise, todos os valores durante o período de coleta ficaram dentro do limite tolerável, com destaque ao ponto P2, que registrou o maior valor em Nov/2019 (50,0 UNT). Já o Ponto P4 obteve nenhum valor de turbidez (Gráfico 16 e Tabela 15).

Gráfico 16 - Análise de turbidez durante as campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 15 - Variação de turbidez no Ramal do Agreste durante o período de estudo.

Ponto	Turbidez (UNT)			
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	0,0	46,5	13,8	16,9
P2	0,0	50,0	15,4	16,6
P3	0,0	47,4	17,3	18,0
P4	0,0	0,0	0,0	0,0
P5	3,6	17,9	3,6	6,5

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

A turbidez dos rios é normalmente elevada em áreas com solos erodíveis, onde a chuva pode transportar sedimentos argilosos, arenosos e fragmentos de rocha. Neste sentido, a maioria dos rios brasileiros apresentam uma turbidez natural, principalmente em locais de altos índices de precipitação e das características geológicas. Já em lagos e represas, onde a velocidade do fluxo de água é menor, as partículas suspensas tendem a sedimentarem ao fundo, resultando em valores de turbidez bastante baixos. Além de causas naturais, a turbidez da água também pode ser aumentada através dos despejos de esgotos domésticos ou industriais (FUNASA, 2014).

Por meio da análise dos dados obtidos de cada parâmetro ao longo das 12 campanhas de monitoramento, foi possível determinar a quantidade de dados inconformes com a Resolução do CONAMA nº 357/2005 para rios de Classe II, identificando assim, quais foram os parâmetros mais críticos com o maior número de inconformidades (Quadro 9).

Quadro 9 – Número de inconformidades encontradas para cada parâmetro.

Parâmetros	Indicadores	Número de Inconformidades
Biológicos	Cianobactérias	6
	Coliformes termotolerantes	5
Físico-Químicos	Cloretos	2
	DBO	17
	Ferro	8
	Fósforo	16
	Manganês	16
	Mercúrio	3
	Nitrogênio Total	11
	Oxigênio Dissolvido	22
	pH	0
	Salinidade	1
	Sólidos Totais	7
	Temperatura	0
	Turbidez	0

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

De acordo com o quadro acima, identificou-se que os parâmetros mais críticos foram: Oxigênio Dissolvido, com o maior número (22), seguido pela DBO (17), Fósforo e Manganês, ambos com 16 inconformidades cada. Já os menores valores de inconformidades foram os parâmetros: Ph e Turbidez, os quais não registraram nenhum valor acima fora da tolerância. e Salinidade, com apenas 1 inconformidade.

Diante das análises observadas dos parâmetros escolhidos, foi possível ter uma grande dimensão da qualidade da água dos rios e reservatórios em torno do Ramal do Agreste, para que, com estes resultados, possam se identificar as possíveis causas dos índices acima do permitido. Com isso, será possível tomar as devidas medidas necessárias para se ter uma água que possa atingir os padrões mínimos de potabilidade e qualidade para ser tratada e entregue à população.

No próximo item será apresentado a análise do IQA dos reservatórios, a fim de se quantificar a qualidade da água ao longo das campanhas.

4.3 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DOS PONTOS ANALISADOS

Para o cálculo do IQA de cada amostra, foram escolhidas as 9 variáveis analisadas nas 12 campanhas de monitoramento, são eles: Oxigênio Dissolvido (OD), Coliformes Termotolerantes, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio, Fósforo, Temperatura, Turbidez e Sólidos Totais.

Nesta análise foi possível observar que em algumas campanhas não foi possível calcular o IQA dos respectivos pontos por alguns motivos: no momento da análise, o ponto em questão estava seco, portanto, sem presença de água para coleta; insuficiência ou não leitura de alguns dos parâmetros, não sendo possível realizar o cálculo; a inclusão dos pontos P4 e P5 nas campanhas de monitoramento a partir do ano de 2020.

• **IQA Ponto P1 - Reservatório Cachoeira I**

Dentre os pontos analisados, o Ponto P1, correspondente ao Reservatório Cachoeira I foram os que obteve os melhores Índices de Qualidade da Água, obtendo em sua maioria das campanhas a classificação “BOA” e atingindo a classificação “ÓTIMA” na última campanha de monitoramento. Um fato relevante a ser mencionado se refere à influência dos períodos secos e chuvosos na classificação de qualidade do IQA de um ponto (Quadro 10 e Gráfico 17).

Quadro 10 - Índice de Qualidade da Água (IQA) Ponto P1

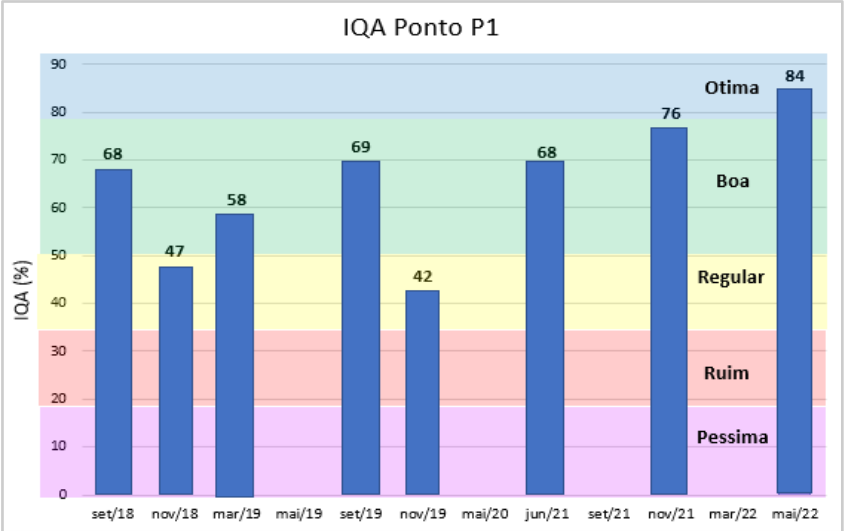
IQA Ponto P1 - Reservatório Cachoeira I						
Ponto	Campanha	Ano	Mês	Período	IQA	Classificação
P1	1	2018	Setembro	Seco	68	BOA
	2	2018	Novembro	Seco	47	REGULAR
	3	2019	Março	Chuvoso	58	BOA
	4	2019	Maio	Chuvoso	-	NÃO CALCULADO
	5	2019	Setembro	Seco	69	BOA
	6	2019	Novembro	Seco	42	REGULAR
	7	2020	Abril/Maio	Chuvoso	-	NÃO CALCULADO
	8	2021	Junho	Chuvoso	68	BOA
	9	2021	Setembro	Seco	-	NÃO CALCULADO
	10	2022	Novembro/Dezembro	Seco	76	BOA
	11	2022	Março	Chuvoso	-	NÃO CALCULADO
	12	2022	Maio/Junho	Chuvoso	84	ÓTIMA

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Pode-se perceber por exemplo, que nas campanhas 1 e 2 foram realizadas no período “seco”, com estiagem de chuvas, notou-se, portanto, um decréscimo do IQA de 68 para 47, saindo da classificação “BOA” para “REGULAR”. Na análise seguinte (Campanha 3), foi realizado no período “chuvoso”, podendo perceber que o IQA melhorou, voltando a classificação “BOA”.

Esta tendência vem se repetindo durante as campanhas seguintes, tanto que a classificação “ÓTIMA” ocorreu no período das chuvas. Este fato pode ser explicado devido ao possível aumento do volume de água disponível nos reservatórios e rios, o que acaba diminuindo a concentração dos elementos analisados, estando dissolvidas na água, o que explica a melhoria do IQA nos períodos chuvosos e uma piora nos períodos secos.

Gráfico 17 - IQA do Ponto P1 ao longo das 12 campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

• IQA Ponto P2 - Rio Ipojuca (a Montante do Reservatório Ipojuca)

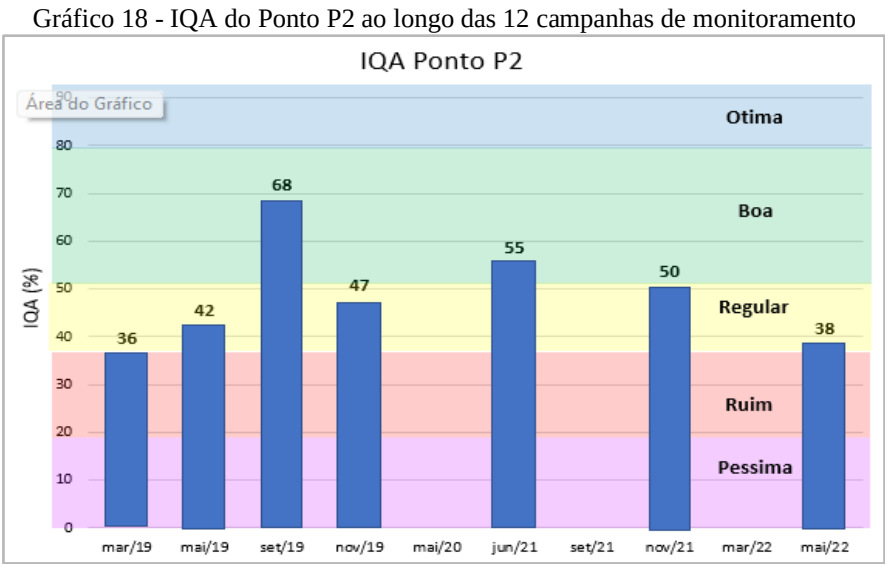
Já na análise do IQA do Ponto P2 (Quadro 11 e Gráfico 18), correspondente ao trecho do Rio Ipojuca situado a montante do Reservatório Ipojuca, obtiveram no geral a classificação “REGULAR”, atingido sua melhor classificação na campanha 5, com IQA 68, obtendo a classificação “BOA”.

Quadro 11 - Índice de Qualidade da Água (IQA) Ponto P2

IQA Ponto P2 - Rio Ipojuca (Montante do Reservatório Ipojuca)						
Ponto	Campanha	Ano	Mês	Período	IQA	Classificação
P2	1	2018	Setembro	Seco	-	NÃO CALCULADO
	2	2018	Novembro	Seco	-	NÃO CALCULADO
	3	2019	Março	Chuvoso	36	RUIM
	4	2019	Maio	Chuvoso	42	REGULAR
	5	2019	Setembro	Seco	68	BOA
	6	2019	Novembro	Seco	47	REGULAR
	7	2020	Abril/Maio	Chuvoso		NÃO CALCULADO
	8	2021	Junho	Chuvoso	55	BOA
	9	2021	Setembro	Seco	-	NÃO CALCULADO
	10	2022	Novembro/Dezembro	Seco	50	REGULAR
	11	2022	Março	Chuvoso		NÃO CALCULADO
	12	2022	Maio/Junho	Chuvoso	38	REGULAR

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Nas campanhas 1 e 2, não foi possível calcular o IQA, pois o rio se encontrava seco no trecho analisado, já nas campanhas 7,8 e 9, não houve a coleta suficiente dos parâmetros necessários para a obtenção do IQA.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Notou-se a influência dos períodos de estiagem e cheias na classificação do IQA do ponto P2. É possível observar por exemplo na campanha 3, onde o ponto P2 atingiu seu pior

índice, com a classificação “RUIM” na época das chuvas. Na análise seguinte (campanha 4), ainda no período chuvoso, houve uma melhora na classificação para “REGULAR” e na campanha 5, no início da estiagem, a classificação saltou para “BOA”.

• IQA Ponto P3 - Reservatório Ipojuca

O Ponto P3, referente ao Reservatório Ipojuca (Quadro 12 e Gráfico 19) tem em sua maioria valores não calculados do IQA. Isso pode ser explicado, pois no começo da campanha de monitoramento em 2018, foi o período em que o reservatório estava sendo construído, sendo possível a sua análise somente a partir do ano de 2021, onde suas análises foram satisfatórias, com a classificação “BOA”

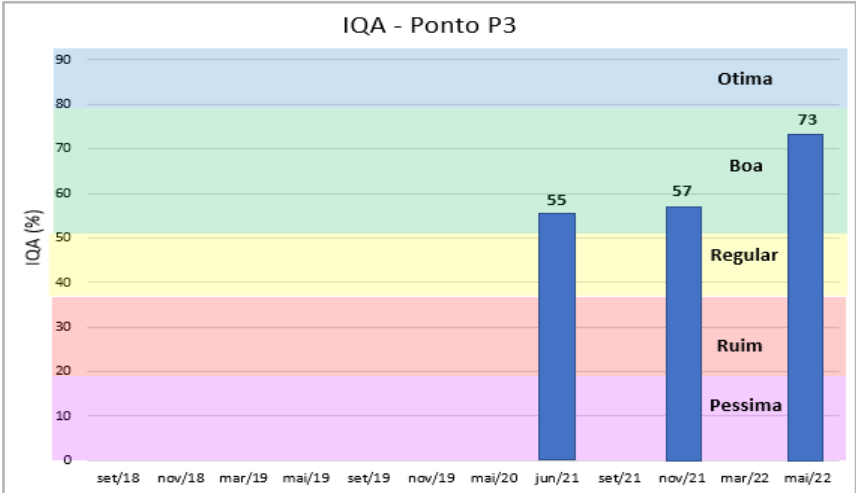
Quadro 12 - Índice de Qualidade da Água (IQA) Ponto P3

IQA Ponto P3 - Reservatório Ipojuca						
Ponto	Campanha	Ano	Mês	Período	IQA	Classificação
P3	1	2018	Setembro	Seco	-	NÃO CALCULADO
	2	2018	Novembro	Seco	-	NÃO CALCULADO
	3	2019	Março	Chuvoso	-	NÃO CALCULADO
	4	2019	Maio	Chuvoso	-	NÃO CALCULADO
	5	2019	Setembro	Seco	-	NÃO CALCULADO
	6	2019	Novembro	Seco	-	NÃO CALCULADO
	7	2020	Abril/Maio	Chuvoso	-	NÃO CALCULADO
	8	2021	Junho	Chuvoso	55	BOA
	9	2021	Setembro	Seco	-	NÃO CALCULADO
	10	2022	Novembro/Dezembro	Seco	57	BOA
	11	2022	Março	Chuvoso	-	NÃO CALCULADO
	12	2022	Maio/Junho	Chuvoso	73	BOA

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Apesar das poucas amostras analisadas para a determinação do IQA do ponto P3, ressalta-se que a classificação “BOA” se deu em todos os períodos chuvosos.

Gráfico 19 - IQA do Ponto P3 ao longo das 12 campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

• **IQA Ponto P4 - Reservatório Pão de Açúcar**

Conforme mencionado no início deste tópico, os pontos P4 e P5 foram incorporados no decorrer das campanhas de monitoramento, sendo possível suas análises somente a partir de 2021, da campanha 8 em diante.

No geral, o ponto P4 também obteve valores satisfatórios, apresentando nos períodos chuvosos a classificação “BOA”, respectivamente nas campanhas 8 e 12 e a classificação “REGULAR” no período seco, que corresponde a campanha 10.

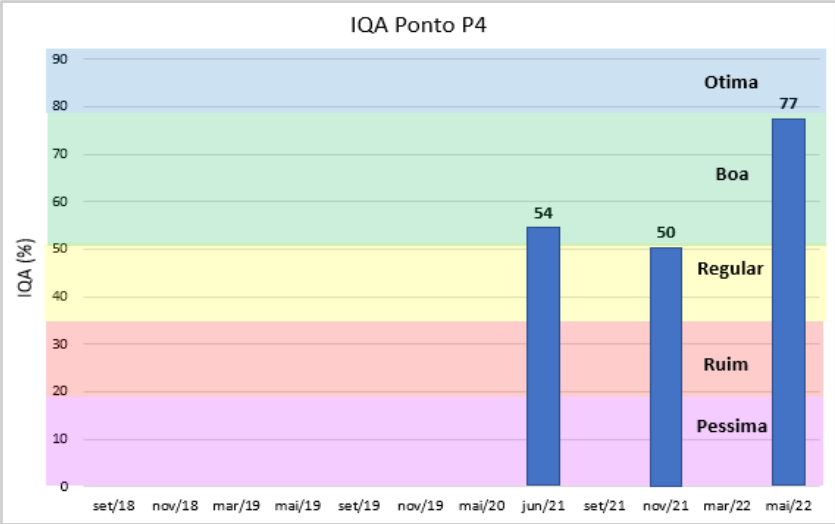
Nas campanhas 9 e 11 não foram obtidos os valores IQA devido a insuficiência de coleta de parâmetros necessários para obter o cálculo do valor do IQA e sua respectiva classificação (Quadro 13 e Gráfico 20).

Quadro 13 - Índice de Qualidade da Água (IQA) Ponto P4

IQA Ponto P4 - Reservatório Pão de Açúcar						
Ponto	Campanha	Ano	Mês	Período	IQA	Classificação
P4	1	2018	Setembro	Seco	-	NÃO CALCULADO
	2	2018	Novembro	Seco	-	NÃO CALCULADO
	3	2019	Março	Chuvoso	-	NÃO CALCULADO
	4	2019	Maio	Chuvoso	-	NÃO CALCULADO
	5	2019	Setembro	Seco	-	NÃO CALCULADO
	6	2019	Novembro	Seco	-	NÃO CALCULADO
	7	2020	Abril/Maio	Chuvoso	-	NÃO CALCULADO
	8	2021	Junho	Chuvoso	54	BOA
	9	2021	Setembro	Seco	-	NÃO CALCULADO
	10	2022	Novembro/Dezembro	Seco	50	REGULAR
	11	2022	Março	Chuvoso	-	NÃO CALCULADO
	12	2022	Maio/Junho	Chuvoso	77	BOA

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Gráfico 20 - IQA do Ponto P4 ao Longo das 12 campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

● **IQA Ponto P5 - Rio Ipojuca (a Jusante do Reservatório Pão de Açúcar)**

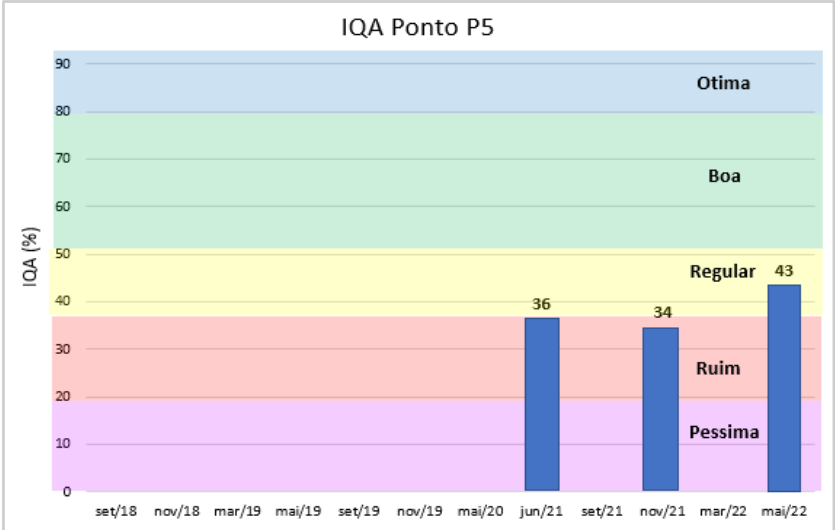
De todos os pontos analisados, o ponto P5, correspondente ao trecho do Rio Ipojuca após o Reservatório Pão de Açúcar foi o que apresentou os piores Índices de Qualidade da Água no decorrer das campanhas, com a classificação “RUIM” nas campanhas 8 e 10, e uma classificação “REGULAR” na campanha 12 (Quadro 14 e Gráfico 21).

Quadro 14 - Índice de Qualidade da Água (IQA) Ponto P5

IQA Ponto P5 - Rio Ipojuca (Jusante Reservatório Pão de Açucar)						
Ponto	Campanha	Ano	Mês	Período	IQA	Classificação
P5	1	2018	Setembro	Seco		NÃO CALCULADO
	2	2018	Novembro	Seco		NÃO CALCULADO
	3	2019	Março	Chuvoso		NÃO CALCULADO
	4	2019	Maio	Chuvoso		NÃO CALCULADO
	5	2019	Setembro	Seco		NÃO CALCULADO
	6	2019	Novembro	Seco		NÃO CALCULADO
	7	2020	Abril/Maio	Chuvoso		NÃO CALCULADO
	8	2021	Junho	Chuvoso	36	RUIM
	9	2021	Setembro	Seco		NÃO CALCULADO
	10	2021	Novembro/Dezembro	Seco	34	RUIM
	11	2022	Março	Chuvoso		NÃO CALCULADO
	12	2022	Maio/Junho	Chuvoso	43	REGULAR

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Gráfico 21 - IQA do Ponto P5 ao longo das 12 campanhas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Nota-se que o melhor índice se deu no período chuvoso, com o IQA 43, enquanto o pior valor foi no período seco, com o IQA 34, ressaltando novamente a influência dos períodos de altas e baixas precipitações na qualidade da água.

As análises dos IQAs dos pontos estudados durante o período de monitoramento permitiram observar quais trechos de cursos d’água, que compõem o entorno do Ramal do

Agreste, estão com uma qualidade adequada para o consumo e abastecimento e quais estão em uma qualidade inferior, necessitando de intervenções e ações de melhorias.

De acordo com o estudo de Caldas (2021), ao analisar a qualidade da água no Eixo Leste do PISF em 10 campanhas de monitoramento, durante o período de monitoramento de 2014 a 2019, em pontos observados na bacia do Rio Moxotó, de 20 resultados obtidos de IQA, 65% foram classificados como “Boa”, 30% como “Ótimo” e 5% como “Regular”. Além disso, foi constatado que não houve registro de pontos classificados nas classes de qualidade “Ruim” e “Péssimo”.

Ainda segundo Caldas (2021), foi observado que o menor valor do IQA para a bacia do Moxotó foi de 47, categoria “Regular”, no ano de 2018, sendo ocasionado pela alta concentração de coliformes termotolerantes e DBO presentes na amostra.

Este último parâmetro está em convergência com este presente estudo como sendo um dos parâmetros críticos, juntamente com o OD e Fósforo, encontrados como os maiores números de inconformidades segundo a resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de Classe II, observados no tópico anterior.

Já Ribeiro (2020), analisou 12 amostras por meio do IQA na bacia do Rio Ipojuca, de pontos de coletas monitorados pela APAC e CPRH, entre os anos de 2009 a 2018. Constatou-se que os melhores valores observados foram em dois pontos de coleta localizados no município de Belo Jardim, em que juntos obtiveram IQAs com as classificações variando entre “Regular” (3 resultados) a “Bom” (6 resultados).

Com relação aos piores valores do IQA encontrado pelo mesmo estudo de Ribeiro (2020), foi o ponto de coleta situado no município de Caruaru, a jusante da região urbana. A autora afirma que os resultados estão relacionados a alta densidade populacional e a presença atividades industriais em larga escala. Tais fatores geram uma maior emissão de efluentes domésticos e industriais lançados diretamente no rio Ipojuca, promovendo a degradação dos rios e reservatórios que compõem esta bacia.

Fato este, mencionado no trabalho de Ribeiro (2020), corrobora para os baixos valores encontrados neste estudo, com a análise do ponto P5 (Rio Ipojuca, a montante do reservatório Pão de Açúcar) atingindo os piores valores do IQA, sendo este ponto situado na bacia do Rio Ipojuca.

Silva, et al (2019) também realizaram análises dos Índices de Qualidade da Água em 15 pontos distribuídos nas bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Paraíba, Pajeú e Moxotó, os quais constituem o Eixo Leste do PISF, com base nos dados do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, no período de 2013 a 2014. Dentre estas, as bacias do Rio Pajeú

e Rio Moxotó apresentaram os menores valores de IQA, cuja a qualidade da água foi classificada como “Ruim” durante o estudo. No mesmo estudo, foi constatado que os baixos valores de IQA foram relacionados às altas concentrações de parâmetros como Fósforo Total, Coliformes Termotolerantes, DBO e baixas concentrações de Oxigênio Dissolvido em não conformidades com os limites estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/2005 para as águas classe II.

Tais parâmetros entram em convergência com este presente trabalho, no que se refere aos parâmetros mais críticos apontados (DBO, Oxigênio Dissolvido e Fósforo total), enfatizando que nestas regiões, estes parâmetros de qualidade são os mais evidentes na análise da qualidade da água, e que consequentemente acabam gerando valores baixos dos IQAs dos pontos de análises.

No presente estudo de Silva et al (2019) associaram a elevação dos níveis de DBO e as baixas concentrações de Oxigênio Dissolvido, devido à realização de algumas atividades humanas tais como a presença de atividades pecuárias e agrícolas, próximo as margens de cursos hídricos, além de trechos de assoreamento e extração de areia registrado nas estações amostrais.

Notou-se também que as classificações dos IQAs estão relacionadas com as épocas de estiagem e chuvas, sendo melhores nos períodos de inverno, e piores nas épocas mais secas. Seguindo este estudo, no tópico a seguir será apresentado se o nível do reservatório também influenciará na qualidade da água.

4.4 INFLUÊNCIA DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO NA QUALIDADE DA ÁGUA

Para avaliar a influência do nível do reservatório na qualidade da água, escolheu-se o Ponto P1, correspondente ao Reservatório Cachoeira I, pois foi o ponto que teve o maior número de coletas nos períodos de 2018 a 2022, sendo possível uma análise mais consistente.

Os Pontos P3 e P4, respectivamente ao Reservatório Ipojuca e Reservatório Pão de Açúcar tiveram apenas 3 amostras, neste sentido se tornam insuficientes para analisar a influência do nível de água nos IQAs. Os dados referentes aos volumes dos reservatórios foram registrados pela APAC, nos dias de coleta das campanhas, durante o período de 2018 a 2022.

Conforme o Quadro 15, no período de Nov/2018 a Nov/2029, o nível da água ficou abaixo dos 10%, estando em situação de colapso de água, atingindo o menor valor na campanha 6, com 5,2%, no período seco. Porém, na campanha seguinte, em Mai/2020, o nível de água atingiu seu maior valor, com 87% da capacidade total, no período chuvoso.

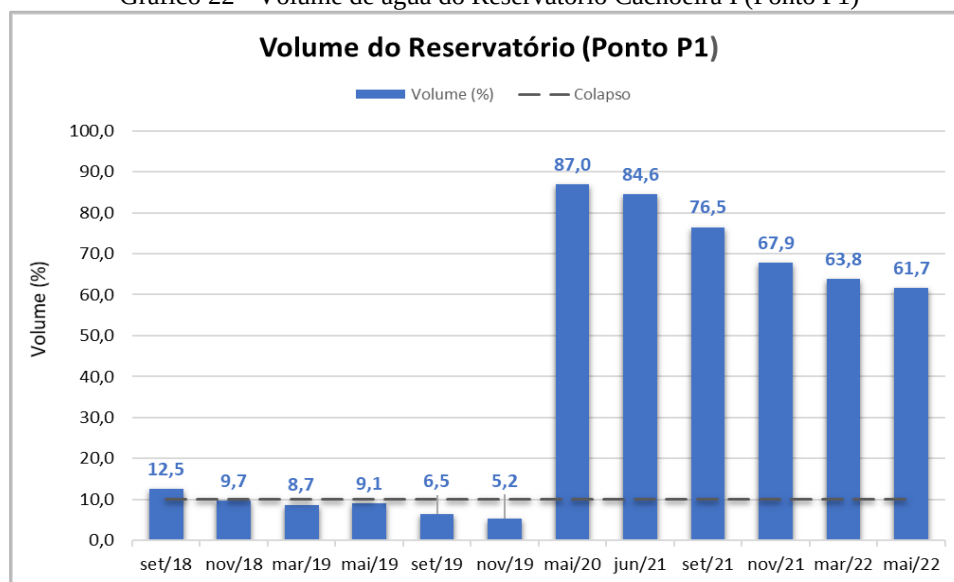
Quadro 15 - Volume do Reservatório Cachoeira I durante o período de 2018 a 2022

Volume Ponto P1 - Reservatório Cachoeira I						
Ponto	Campanha	Mês	Período	Volume (milhão m ³)	Volume (%)	Situação
P1	1	set/18	Seco	741	12,5	Normal
	2	nov/18	Seco	576	9,7	Colapso
	3	mar/19	Chuvoso	518	8,7	Colapso
	4	mai/19	Chuvoso	539	9,1	Colapso
	5	set/19	Seco	384	6,5	Colapso
	6	nov/19	Seco	307	5,2	Colapso
	7	mai/20	Chuvoso	5178	87,0	Normal
	8	jun/21	Chuvoso	5031	84,6	Normal
	9	set/21	Seco	4552	76,5	Normal
	10	nov/21	Seco	4043	67,9	Normal
	11	mar/22	Chuvoso	3796	63,8	Normal
	12	mai/22	Chuvoso	3670	61,7	Normal

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024) - APAC (2018; 2019; 2021; 2022)

No Gráfico 22 é possível observar que os anos de 2018 e 2019 foram os mais secos, enquanto os anos de 2020 a 2022 foram os meses de maiores volumes de água no reservatório.

Gráfico 22 - Volume de água do Reservatório Cachoeira I (Ponto P1)



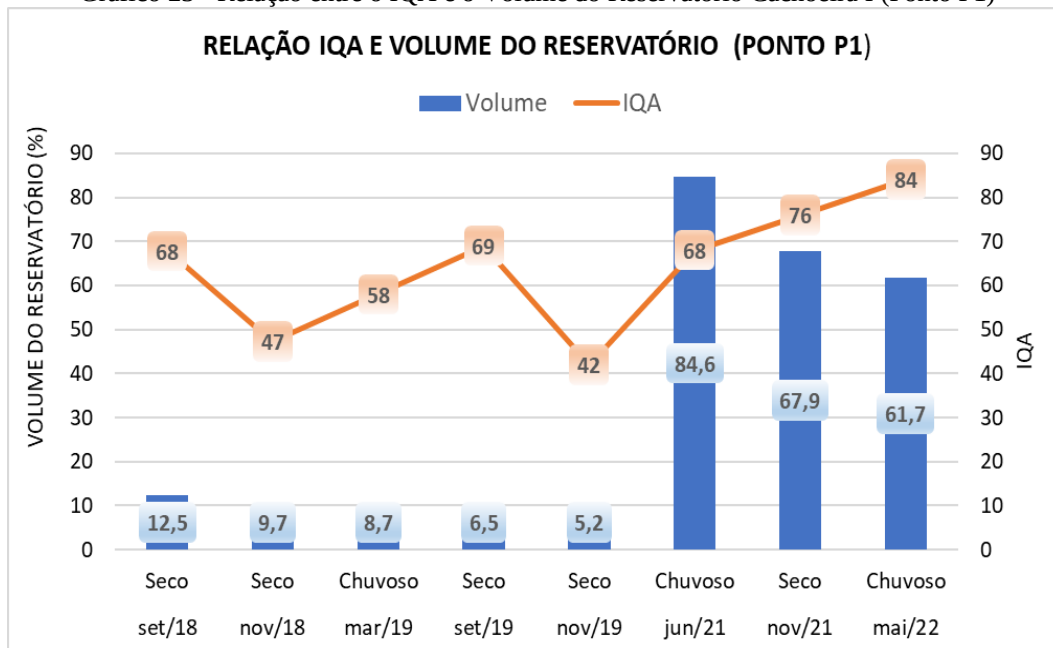
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024) - APAC (2018; 2019; 2021; 2022)

Pela análise do Quadro 15 e pelo Gráfico 22, é possível afirmar que os períodos de inverno no ano de 2019 foram menos intensos que os períodos chuvosos de 2020 a 2021, considerando que nos primeiros anos, não houve uma variação significativa do volume de água no reservatório, enquanto em 2020 houve um grande salto, indicando uma maior intensidade pluviométrica registrada neste período.

Com base nestes dados, foi possível construir uma relação entre o volume e o IQA de cada campanha de monitoramento (Gráfico 23). Para esta análise, desconsiderou-se as

campanhas em que não foi possível obter o IQA, devido à insuficiência de leitura no momento da coleta, obtendo-se ao todo, uma análise de 8 campanhas.

Gráfico 23 - Relação entre o IQA e o Volume do Reservatório Cachoeira I (Ponto P1)



Fonte: Autor Próprio (2024)

De acordo com o gráfico acima, nota-se nas primeiras campanhas um decréscimo do volume de água disponível do reservatório, enquanto o IQA possui oscilações, influenciados pelos períodos secos e chuvosos. Em ambos, o menor valor de IQA (42%) e o menor volume de água (5,2%), coincidiram no período seco (Nov/19).

A partir de Jun/21, em que houve um expressivo aumento do volume do reservatório (84,6%), os IQAs atingiram valores superiores aos registrados nas campanhas seguintes, em Nov/2021 e Mai/22, sendo este último, atingindo o maior valor de IQA (84%), com um volume de água de 61,7%, no período chuvoso.

Através desta análise, é possível concluir que além dos períodos de chuvas e escassez, o volume de água nos reservatórios influencia na qualidade da água e sua classificação. Isto pode ser explicado justamente pelas chuvas que aumentam a disponibilidade de água nos reservatórios, diluindo a concentração de elementos e demais poluentes na água, tornando a mesma com uma qualidade mais aceitável para o consumo humano e abastecimento, necessitando de sistemas de tratamentos menos onerosos.

Ainda assim, faz-se necessário um monitoramento contínuo da água tanto neste reservatório em análise, quanto dos demais reservatórios e rios situados em torno do Ramal do

Agreste, para que se possa ter uma visão mais abrangente da situação geral da qualidade da água.

Neste sentido, no próximo tópico serão analisadas as Bacias dos Rios Ipojuca e Moxotó, os quais estão situados no trecho correspondente ao Ramal do Agreste, e correlacionar com os possíveis impactos das suas atividades antrópicas na qualidade da água na região em estudo.

4.5 DIAGNÓSTICO DAS BACIAS DOS RIOS IPOJUCA E MOXOTÓ

Os trechos em estudo dos pontos analisados na região do Ramal do Agreste estão situados nas Bacias do Rio Moxotó e Rio Ipojuca. De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco (PERH/PE), elaborado em 1998 e atualizado em 2022, são considerados como UP05 Rio Ipojuca e UP10 Rio Moxotó.

O Plano, em seu Tomo I faz um diagnóstico das Unidades de Planejamentos (UPs), sendo no Volume III, referente aos recursos hídricos do Estado de Pernambuco, reunindo informações qualitativas e quantitativas a respeito dos corpos d'águas correspondentes às bacias hidrográficas do Estado.

Tais informações, referem-se às disponibilidades hídricas, usos e demandas da água, além de informações sobre as atividades antrópicas das bacias em estudo.

Neste sentido, a respeito da disponibilidade hídrica das UPs (Quadro 16), é possível observar as vazões disponíveis para cada bacia, com a UP 05 Rio Ipojuca com uma vazão de 5,49 m³/s e a UP 10 Rio Moxotó com 3,38 m³/s.

Quadro 16 – Disponibilidade hídrica superficial das Unidades de Planejamentos

UP	Q _{95%} (m ³ /s)	São Francisco (m ³ /s)	Q _{95%} Total (h ³ /ano)
UP01 Rio Goiana	5,95	-	187,64
UP02 Metropolitana Norte	1,54	-	48,57
UP03 Rio Capibaribe	11,54	-	363,93
UP04 Metropolitana Sul	27,29	-	860,62
UP05 Rio Ipojuca	5,49	-	173,13
UP06 Rio Sirinhaém	11,65	-	367,39
UP07 Rio Una	22,15	-	698,52
UP08 Rio Mundaú	0,74	-	23,34
UP09 Rio Ipanema	0,36	0	11,35
UP10 Rio Moxotó	3,38	2.200,00	69.485,79
UP11 Rio Pajeú	26,44	2.200,00	70.213,01
UP12 Rio Terra Nova	0,52	1.100,00	34.706,00
UP13 Rio Brígida	5,06	1.100,00	34.849,17
UP14 Riacho das Garças	0,70	1.100,00	34.711,68
UP15 Riacho do Pontal	0,48	1.100,00	34.704,74
UP16 Fernando de Noronha	-	-	-
Total	123,29	8.800,00	281.404,87

Fonte: PERH/PE (2022)

Cabe ressaltar que a UP 10 Rio Moxotó recebe a influência da disponibilidade do Rio São Francisco, com uma vazão adicional de 2.200 m³/s para atendimento das demandas hídricas da região situada na respectiva bacia, adquirindo um volume de água muito maior que da UP 05 Rio Ipojuca.

4.5.1 Usos Consuntivos da Água

A respeito dos usos consuntivos da água, serão analisadas as vazões estimadas, os quais levam em conta algumas variáveis como as populações urbanas e rurais de cada bacia por um coeficiente de consumo per capita, além das perdas físicas nas redes e as vazões efetivamente captadas pelo sistema de abastecimento (PERH/PE, 2022a).

Serão apresentados também as vazões outorgadas, que são autorizadas pelas agências reguladoras (APAC e ANA), obtendo uma comparação com a vazão estimada.

A primeira análise a ser observada é com relação às vazões estimadas para o abastecimento urbano (Quadro 17), onde é possível observar que a UP 05 Rio Ipojuca possui uma demanda maior (1,705 m³/s) do que o Rio Moxotó (0,405 m³/s).

Quadro 17 - Vazões estimadas para o abastecimento urbano por UP

UP	Vazão para abastecimento urbano (m ³ /s)		
	Retirada	Consumo	Retorno
UP01 Goiana	0,809	0,162	0,647
UP02 Metropolitana Norte	3,927	0,785	3,141
UP03 Rio Capibaribe	4,831	0,966	3,865
UP04 Metropolitana Sul	6,045	1,209	4,836
UP05 Rio Ipojuca	1,705	0,341	1,364
UP06 Rio Sirinhaém	0,458	0,092	0,367
UP07 Rio Una	1,052	0,210	0,842
UP08 Rio Mundaú	0,468	0,094	0,375
UP09 Rio Ipanema	0,241	0,048	0,193
UP10 Rio Moxotó	0,405	0,081	0,324
UP11 Rio Pajeú	0,566	0,113	0,453
UP12 Rio Terra Nova	0,222	0,044	0,177
UP13 Rio Brígida	0,323	0,065	0,258
UP14 Riacho das Garças	0,075	0,015	0,060
UP15 Riacho do Pontal	0,763	0,153	0,610
Total	21,889	4,378	17,511

Fonte: PERH-PE (2022), ANA (2021)

Quanto às vazões outorgadas (Quadro 18), há alguns fatos importantes a serem considerados, visto que na UP 05 Rio Ipojuca foram outorgadas o uso de 2,68 m³/s, que correspondem a 16% do total, sob o domínio estadual, pela APAC.

Já referente a UP 10 Rio Moxotó, como a bacia tem influência do Rio São Francisco, considerado de domínio Federal, quase a sua totalidade da outorga corresponde à União, por meio da ANA, com uma vazão outorgada de (0,59 m³/s), que corresponde a 3,62% do montante.

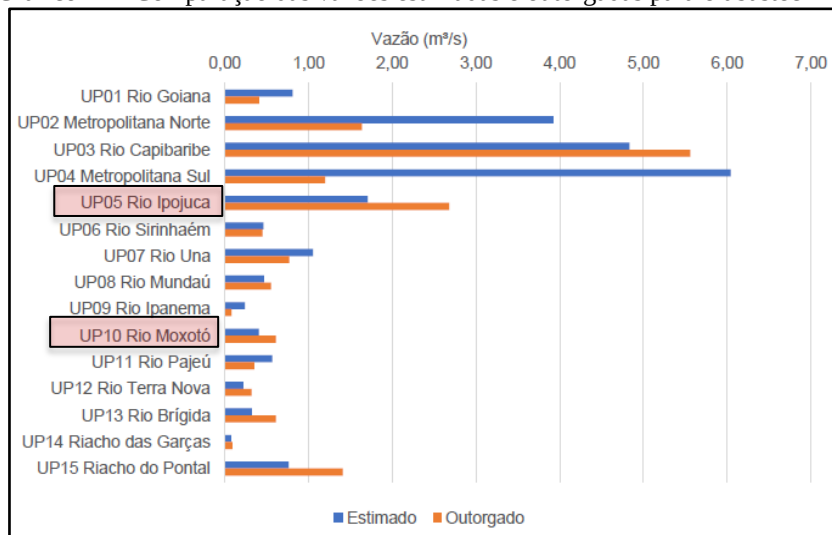
Quadro 18 - Vazões outorgadas para o abastecimento urbano por UP

UP	Vazão outorgada (m ³ /s)					
	Dominialidade			Total superficial (m ³ /s)	Total	
	União	Estadual superficial	Estadual subterrânea		(m ³ /s)	(%)
UP01 Goiana	0,00	0,40	0,01	0,40	0,41	2,47%
UP02 Metropolitana Norte	0,00	1,58	0,06	1,58	1,64	9,82%
UP03 Rio Capibaribe	4,29	1,27	0,00	5,56	5,56	33,19%
UP04 Metropolitana Sul	0,00	1,20	0,00	1,20	1,20	7,18%
UP05 Rio Ipojuca	0,00	2,68	0,00	2,68	2,68	16,01%
UP06 Rio Sirinhaém	0,05	0,40	0,00	0,45	0,45	2,68%
UP07 Rio Una	0,16	0,61	0,00	0,77	0,77	4,62%
UP08 Rio Mundaú	0,51	0,03	0,00	0,55	0,55	3,26%
UP09 Rio Ipanema	0,03	0,04	0,00	0,08	0,08	0,46%
UP10 Rio Moxotó	0,59	0,00	0,02	0,59	0,61	3,62%
UP11 Rio Pajeú	0,35	0,00	0,00	0,35	0,35	2,12%
UP12 Rio Terra Nova	0,32	0,00	0,00	0,32	0,32	1,94%
UP13 Rio Brígida	0,57	0,03	0,00	0,61	0,61	3,63%
UP14 Riacho das Garças	0,09	0,00	0,00	0,09	0,09	0,56%
UP15 Riacho do Pontal	1,38	0,03	0,00	1,41	1,41	8,43%
Total	8,35	8,29	0,10	16,64	16,74	100%

Fonte: PERH-PE (2022), ANA (2021)

Nota-se pelo Gráfico 24, que as vazões outorgadas são superiores às vazões estimadas, tanto na UP 05 Rio Ipojuca, quanto na UP 10 Rio Moxotó

Gráfico 24 - Comparação das vazões estimadas e outorgadas para o abastecimento



Fonte: ANA (2020, 2021), APAC (2020).

A próxima análise a seguir se refere à quantidade de água estimada para a criação animal (Quadro 19), tais como bovinos, aves, suínos, entre outros. Nota-se que a UP 10 Rio Moxotó possui uma demanda maior (0,209 m³/s) do que a UP 05 Rio Ipojuca (0,118 m³/s).

Quadro 19 - Vazões estimadas para a criação animal por UP

UP	Vazão criação animal (m³/s)		
	Retirada	Consumo	Retorno
UP01 Goiana	0,098	0,070	0,028
UP02 Metropolitana Norte	0,012	0,008	0,004
UP03 Rio Capibaribe	0,229	0,167	0,063
UP04 Metropolitana Sul	0,014	0,010	0,004
UP05 Rio Ipojuca	0,118	0,083	0,035
UP06 Rio Sirinhaém	0,051	0,037	0,014
UP07 Rio Una	0,379	0,269	0,110
UP08 Rio Mundaú	0,272	0,188	0,084
UP09 Rio Ipanema	0,298	0,202	0,096
UP10 Rio Moxotó	0,209	0,158	0,051
UP11 Rio Pajeú	0,315	0,239	0,076
UP12 Rio Terra Nova	0,081	0,059	0,022
UP13 Rio Brígida	0,250	0,183	0,067
UP14 Riacho das Garças	0,068	0,052	0,016
UP15 Riacho do Pontal	0,180	0,137	0,044
Total	2,575	1,861	0,714

Fonte: PERH-PE (2022), ANA (2021)

No Quadro 20 a seguir são apresentadas as vazões outorgadas destinadas para a criação animal de cada Unidade de Planejamento.

Quadro 20 - Vazões outorgadas para a criação animal por UP

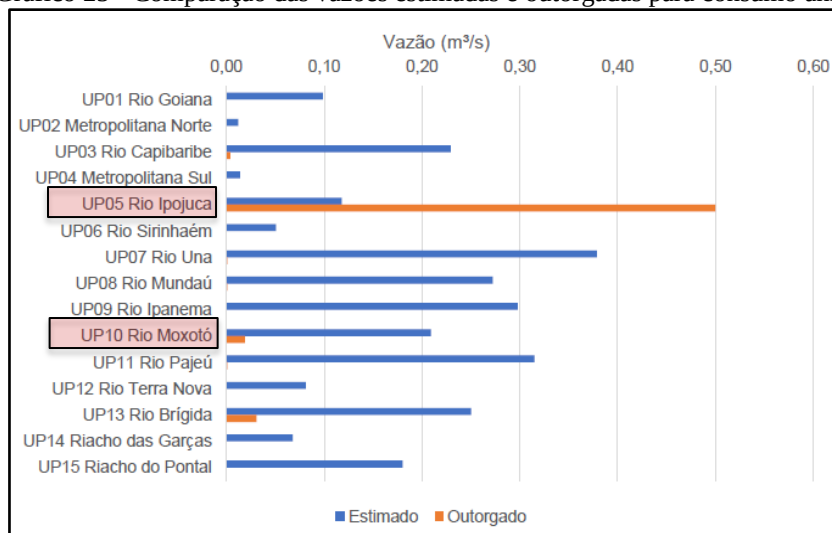
UP	Vazão outorgada (m³/s)					
	Dominialidade			Total superficial	Total	
	União	Estadual superficial	Estadual subterrânea	m³/s	m³/s	%
UP01 Goiana	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,01%
UP02 Metropolitana Norte	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,04%
UP03 Rio Capibaribe	0,000	0,004	0,000	0,004	0,004	0,66%
UP04 Metropolitana Sul	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00%
UP05 Rio Ipojuca	0,000	0,500	0,000	0,500	0,500	89,72%
UP06 Rio Sirinhaém	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,01%
UP07 Rio Una	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,17%
UP08 Rio Mundaú	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,21%
UP09 Rio Ipanema	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,01%
UP10 Rio Moxotó	0,019	0,000	0,000	0,019	0,019	3,42%
UP11 Rio Pajeú	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,26%
UP12 Rio Terra Nova	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00%
UP13 Rio Brígida	0,030	0,000	0,000	0,031	0,031	5,48%
UP14 Riacho das Garças	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00%
UP15 Riacho do Pontal	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,01%
Total	0,051	0,504	0,002	0,555	0,557	100%

Fonte: PERH-PE (2022), ANA (2021)

Ao analisar as vazões outorgadas (Quadro 20), é possível notar que a UP 05 Rio Ipojuca possui toda a vazão permitida está sob o domínio estadual (0,5 m³/s), que corresponde à maior outorga entre as bacias destinadas ao consumo animal, com 89,72% do total. Já a UP 10 Rio Moxotó possui toda a vazão outorgada pela esfera federal (0,019 m³/s), que corresponde a apenas 3,42%.

Conforme o PERH/PE (2022a), as vazões outorgadas são normalmente menores que as estimadas, pois em geral os pequenos rebanhos dos produtores não requerem ou não necessitam de outorga, mas são contabilizados na estimativa, como pode ser observado no Gráfico 25.

Gráfico 25 - Comparação das vazões estimadas e outorgadas para consumo animal



Fonte: ANA (2020, 2021), APAC (2020)

É interessante notar que pelo gráfico acima, apesar da UP 10 Rio Moxotó ter apresentado uma vazão estimada maior que da UP 05 Rio Ipojuca, a vazão outorgada da Bacia do Rio Moxotó é, de fato, muito menor que a vazão outorgada da bacia do Rio Ipojuca.

O próximo uso consuntivo da água se refere à irrigação. De acordo com a análise do Plano (Quadro 21), a UP 10 Rio Moxotó possui uma vazão estimada de 2,707 m³/s, enquanto a vazão da UP 05 Rio Ipojuca é de 0,854 m³/s.

Quadro 21 - Vazões estimadas para irrigação por UP

UP	Vazão irrigação (m³/s)		
	Retirada	Consumo	Retorno
UP01 Goiana	2,498	2,292	0,206
UP02 Metropolitana Norte	0,428	0,383	0,045
UP03 Rio Capibaribe	1,430	1,180	0,251
UP04 Metropolitana Sul	0,229	0,200	0,028
UP05 Rio Ipojuca	0,854	0,619	0,235
UP06 Rio Sirinhaém	0,517	0,455	0,061
UP07 Rio Una	1,488	1,216	0,272
UP08 Rio Mundaú	0,957	0,763	0,194
UP09 Rio Ipanema	0,391	0,311	0,080
UP10 Rio Moxotó	2,707	2,369	0,338
UP11 Rio Pajeú	2,219	1,726	0,493
UP12 Rio Terra Nova	1,245	0,904	0,340
UP13 Rio Brígida	3,716	3,006	0,710
UP14 Riacho das Garças	2,473	2,076	0,397
UP15 Riacho do Pontal	13,795	12,675	1,120
Total	34,947	30,176	4,771

Fonte: PERH-PE (2022), ANA (2021)

Seguindo a tendência quanto aos domínios das outorgas de cada bacia, a UP 05 Rio Ipojuca é de domínio estadual e a UP 10 Rio Moxotó, sob o domínio da União (Quadro 22).

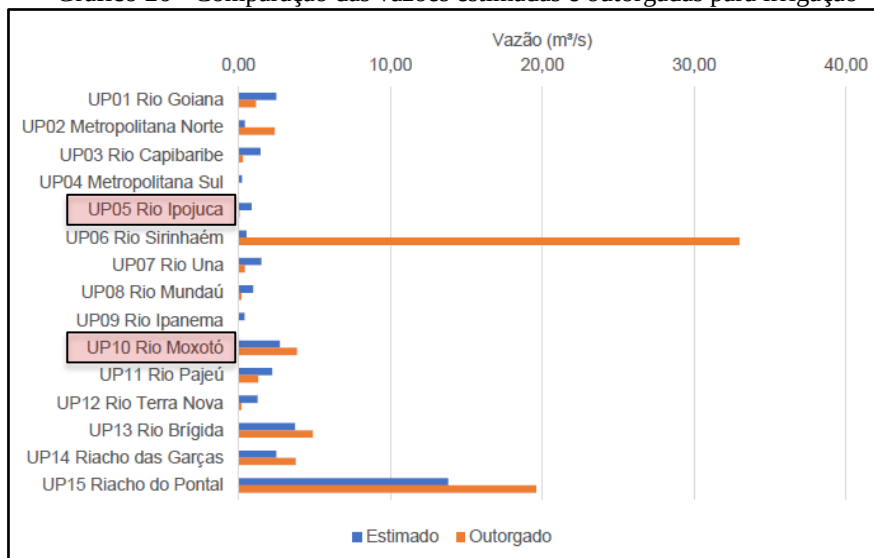
Quadro 22 - Vazões outorgadas para o abastecimento urbano por UP

UP	Vazão outorgada (m³/s)					
	Dominialidade			Total superficial	Total	
	União	Estadual superficial	Estadual subterrânea	(m³/s)	(m³/s)	(%)
UP01 Goiana	0,00	1,164	0,00	1,16	1,16	2,04%
UP02 Metropolitana Norte	0,00	2,380	0,00	2,38	2,38	4,16%
UP03 Rio Capibaribe	0,00	0,290	0,00	0,29	0,29	0,51%
UP04 Metropolitana Sul	0,00	0,019	0,00	0,02	0,02	0,03%
UP05 Rio Ipojuca	0,00	0,070	0,00	0,07	0,07	0,12%
UP06 Rio Sirinhaém	0,00	32,994	0,00	32,99	32,99	57,68%
UP07 Rio Una	0,00	0,395	0,00	0,40	0,40	0,69%
UP08 Rio Mundaú	0,18	0,009	0,00	0,19	0,19	0,33%
UP09 Rio Ipanema	0,00	0,002	0,00	0,00	0,00	0,00%
UP10 Rio Moxotó	3,69	0,000	0,15	3,69	3,84	6,71%
UP11 Rio Pajeú	1,30	0,001	0,00	1,30	1,30	2,27%
UP12 Rio Terra Nova	0,18	0,000	0,00	0,18	0,18	0,31%
UP13 Rio Brígida	4,88	0,000	0,00	4,88	4,88	8,53%
UP14 Riacho das Garças	3,76	0,001	0,00	3,76	3,76	6,58%
UP15 Riacho do Pontal	5,74	0,000	0,00	5,74	5,74	10,03%
Total	19,73	37,326	0,15	57,06	57,21	100%

Fonte: PERH-PE (2022), ANA (2021)

Ao comparar as vazões estimadas e outorgadas (Gráfico 26), observa-se que a vazão outorgada pela UP 05 Rio Ipojuca é menor que a vazão estimada, enquanto na UP 10 Rio Moxotó, ocorre o inverso, a vazão outorgada é maior que a vazão estimada (3,69 m³/s).

Gráfico 26 - Comparação das vazões estimadas e outorgadas para irrigação



Fonte: ANA (2020, 2021), APAC (2020)

Por fim, para a análise dos usos das águas entre as bacias, considerando o uso industrial (Quadro 23), a UP 05 Rio Ipojuca possui uma vazão estimada de 1,01 m³/s, maior que da UP 10 Rio Moxotó, com 0,017 m³/s.

Quadro 23 - Vazões estimadas para uso industrial por UP

UP	Vazão uso industrial (m³/s)		
	Retirada	Consumo	Retorno
UP01 Goiana	1,176	1,077	0,099
UP02 Metropolitana Norte	1,942	1,325	0,618
UP03 Rio Capibaribe	2,115	1,822	0,293
UP04 Metropolitana Sul	1,280	0,790	0,490
UP05 Rio Ipojuca	1,010	0,655	0,355
UP06 Rio Sirinhaém	2,709	2,671	0,038
UP07 Rio Una	0,268	0,245	0,023
UP08 Rio Mundaú	0,049	0,017	0,033
UP09 Rio Ipanema	0,011	0,004	0,007
UP10 Rio Moxotó	0,017	0,005	0,012
UP11 Rio Pajeú	0,022	0,005	0,017
UP12 Rio Terra Nova	0,003	0,001	0,001
UP13 Rio Brígida	0,078	0,021	0,057
UP14 Riacho das Garças	0,016	0,008	0,007
UP15 Riacho do Pontal	0,130	0,068	0,062
Total	10,825	8,713	2,112

Fonte: PERH-PE (2022), ANA (2021)

Conforme o PERH/PE (2022a), das UPs 01 a 05, são consideradas como Unidades de Planejamentos litorâneas. Por se situar nesta região, são as que mais possuem demanda de água voltado para o uso industrial, considerando que é a região mais desenvolvida e populosa do Estado. Com relação à vazão outorgada, há um caso interessante a respeito da dominialidade (Quadro 24), pois a UP 07 Rio Ipojuca foi outorgada pela União 0,03m³/s, que corresponde à 0,92% do total, enquanto a UP 10 Rio Moxotó teve sua outorga pela operadora estadual (0,01m³/s), o equivalente a apenas 0,29%.

Quadro 24 - Vazões outorgadas para o uso industrial por UP

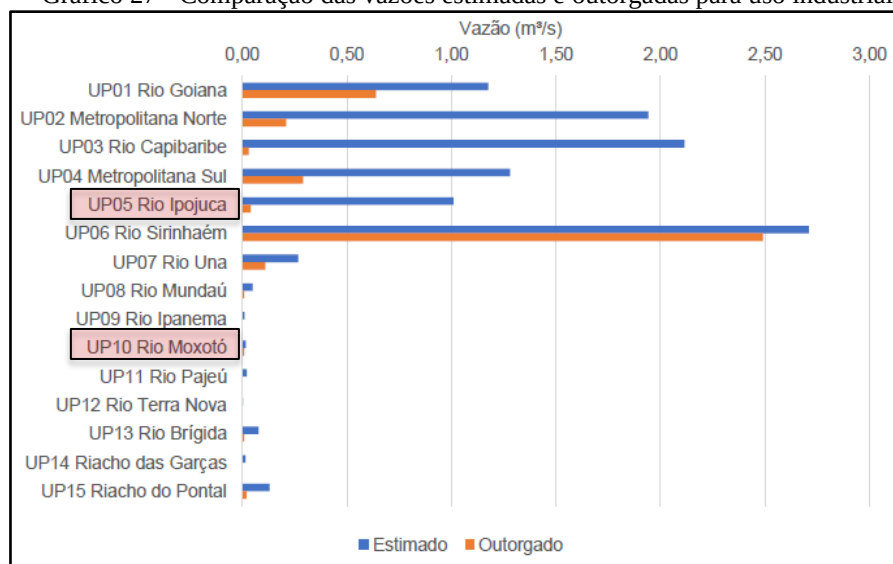
UP	Vazão outorgada (m³/s)					
	Dominialidade			Total superficial	Total	
	União	Estadual superficial	Estadual subterrânea	(m³/s)	(m³/s)	(%)
UP01 Goiana	0,00	0,62	0,02	0,62	0,64	16,62%
UP02 Metropolitana Norte	0,00	0,04	0,16	0,04	0,21	5,36%
UP03 Rio Capibaribe	0,00	0,01	0,02	0,01	0,03	0,88%
UP04 Metropolitana Sul	0,00	0,20	0,10	0,20	0,29	7,56%
UP05 Rio Ipojuca	0,03	0,00	0,00	0,03	0,04	0,92%
UP06 Rio Sirinhaém	0,00	2,49	0,00	2,49	2,49	64,52%
UP07 Rio Una	0,11	0,00	0,00	0,11	0,11	2,80%
UP08 Rio Mundaú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,19%
UP09 Rio Ipanema	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
UP10 Rio Moxotó	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,29%
UP11 Rio Pajeú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06%
UP12 Rio Terra Nova	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09%
UP13 Rio Brígida	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,24%
UP14 Riacho das Garças	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02%
UP15 Riacho do Pontal	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,46%
Total	0,16	3,39	0,31	3,55	3,86	100%

Fonte: PERH-PE (2022), ANA (2021)

Segundo o PERH/PE (2022a), notou-se uma discrepância entre os valores estimados e outorgados nas UP litorâneas (Gráfico 27), sendo as primeiras bem maiores. Tal fato pode ser sugerido por meio da utilização de coeficientes técnicos adotados nas estimativas, os quais podem estar imprecisos, ou a existência de indústrias utilizando a rede pública de abastecimento

como fonte de água sendo contabilizadas nas demandas. Neste sentido, é improvável que as fábricas possam operar utilizando captação em água bruta sem outorga, pois existe uma alta fiscalização para o manejo da água.

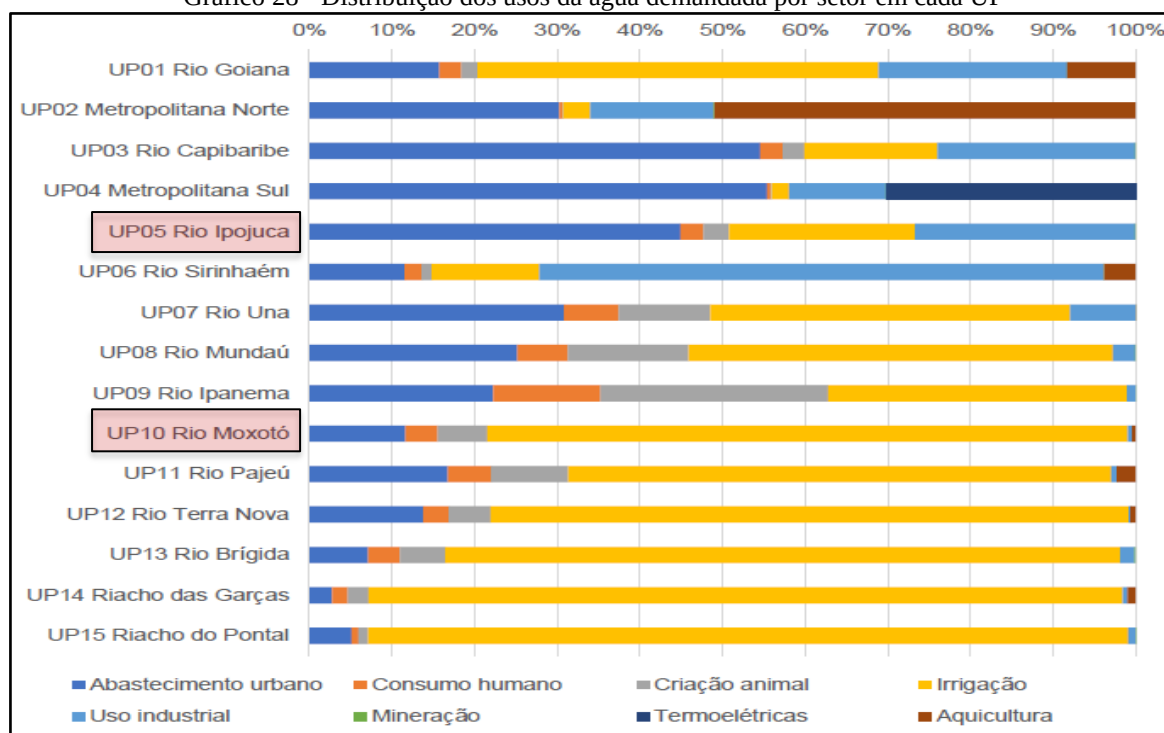
Gráfico 27 - Comparação das vazões estimadas e outorgadas para uso industrial



Fonte: ANA (2020, 2021), APAC (2020).

Diante destas análises obtidas pelo PERH/PE (2022a), foi possível observar uma distribuição de cada demanda por Unidade de Planejamento, a fim de sintetizar as principais utilizações da água por bacia hidrográfica (Gráfico 28).

Gráfico 28 - Distribuição dos usos da água demandada por setor em cada UP



Fonte: PERH-PE (2022), ANA (2021)

Nota-se que na UP 05 Rio Ipojuca, o principal uso da água está destinado ao abastecimento urbano, em torno de 45% do total da demanda da bacia, seguido pelo uso industrial, com aproximadamente 25% e em terceiro, a irrigação, com 20%.

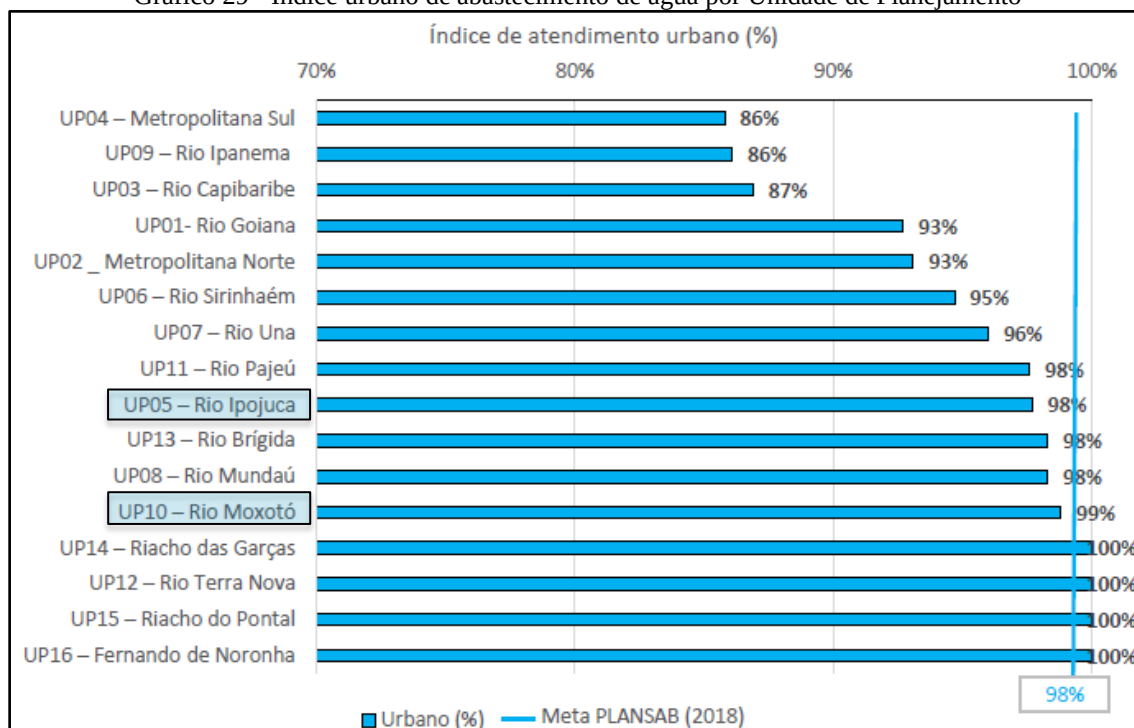
Já na UP 10 Rio Moxotó, observou-se que o principal uso da água está destinado para a irrigação, com quase 80% do total, seguido pelo abastecimento urbano, com 12% e em terceiro a criação animal, com 6%.

4.5.2 Indicadores de Saneamento Básico

No Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco, realizado em 2022, também foram coletadas informações relevantes a respeito do saneamento básico, como por exemplo os índices de abastecimento e de esgotamento de cada Unidade de Planejamento, seja em zonas urbanas ou rurais. Tais dados são relevantes para correlacionar a influência destes índices na qualidade da água dos corpos hídricos.

As informações obtidas no diagnóstico do PERH/PE (2022) têm como base o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento - SNIS, coletadas no ano de 2018. Neste sentido, a primeira informação se refere ao índice de atendimento urbano de abastecimento de água por cada Unidade de Planejamento (Gráfico 29).

Gráfico 29 - Índice urbano de abastecimento de água por Unidade de Planejamento

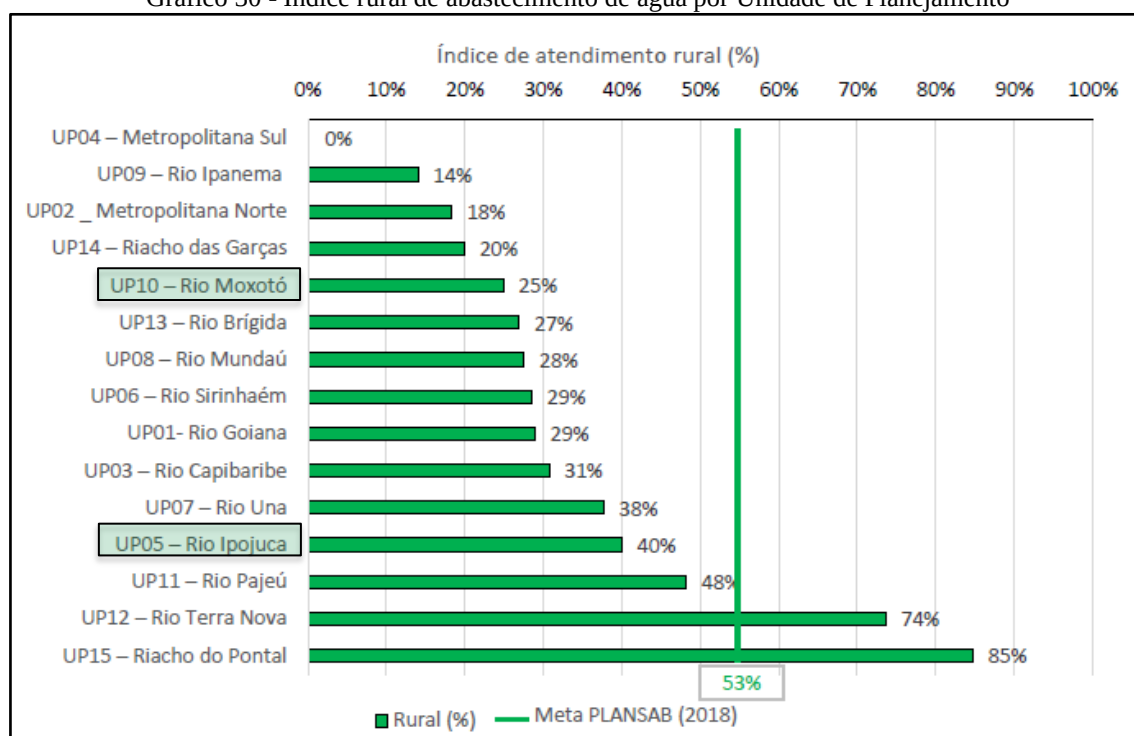


Fonte: PERH/PE (2022), SNIS (2018)

Conforme pode ser observado no gráfico acima, quase a totalidade da Zona Urbana das bacias do Rio Ipojuca e Moxotó estão sendo atendidas pelos serviços de abastecimento de água, com 98% e 99%, respectivamente.

Já com relação à Zona Rural (Gráfico 30), quando se trata dos índices de abastecimento de água, os valores encontram-se abaixo da média sugerida pelo Plano Nacional de Saneamento Básico, tendo a UP 10 Rio Moxotó, com 25% e UP 05 Rio Ipojuca, com 40%.

Gráfico 30 - Índice rural de abastecimento de água por Unidade de Planejamento

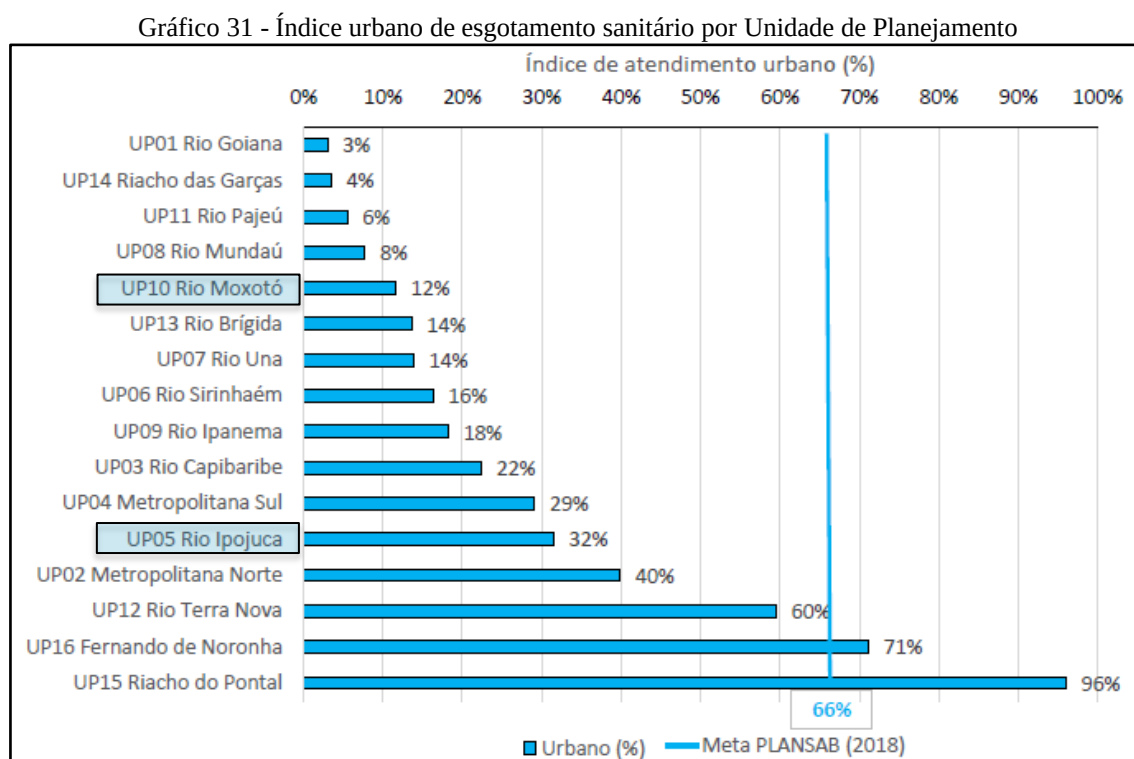


Fonte: PERH/PE (2022), SNIS (2018)

Por meio das análises dos índices de abastecimento de água, nota-se que nas zonas rurais os serviços são mais precários, neste sentido é importante refletir sobre as formas de captação de água que as populações das zonas rurais utilizam para complementar e suprir suas necessidades fisiológicas. Se as fontes de água naturais como os rios e reservatórios não se encontram com uma qualidade ideal, muitas destas populações podem estar submetidas a possíveis riscos à saúde se não houver um tratamento prévio e adequado de água para o consumo humano.

Neste sentido, cabe ressaltar a importância dos órgãos públicos de buscar investir no aumento dos índices de abastecimento de água focando principalmente nas regiões mais rurais e carentes deste serviço tão importante e essencial para a população.

Já com relação aos índices de esgotamento sanitário, os resultados se tornam ainda mais preocupantes. Com relação ao atendimento urbano (Gráfico 31), os índices estão bem abaixo do Plano Nacional de Saneamento Básico, sendo a UP 10 Rio Moxotó com apenas 12% de atendimento e a UP 05 Rio Ipojuca com 32%.



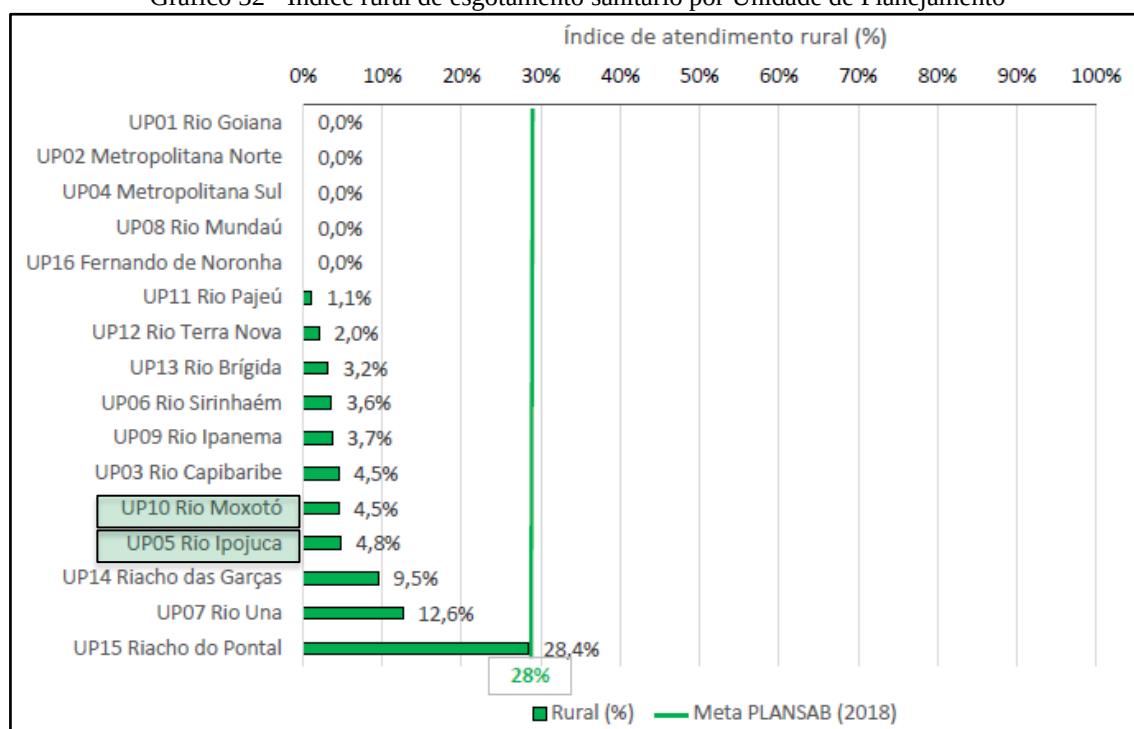
Fonte: PERH/PE (2022), SNIS (2018)

Os índices de coleta de esgoto têm influência direta na qualidade da água dos rios e reservatórios, pois quando não há um sistema básico de esgotamento sanitário, é comum observar nos centros urbanos, muitas moradias que utilizam ligações clandestinas de esgoto nos sistemas de águas pluviais, como canais, ou até mesmo os efluentes domésticos são lançados diretamente nos corpos hídricos.

Este fato ocasiona no aumento de matéria orgânica nos rios e reservatórios, ocasionando alterações em vários parâmetros como por exemplo, o aumento de DBO, diminuição de OD, aumento de Fósforo, os quais são fatores que ocasionam a eutrofização dos corpos hídricos, diminuindo gradualmente a qualidade da água.

A situação se torna mais acentuada e grave quando se refere às zonas rurais, em que os índices de coleta de esgoto são ainda menores (Gráfico 32). As bacias do Rio Moxotó e Ipojuca aparecem com números próximos entre si, com 4,5% e 4,8%, respectivamente.

Gráfico 32 - Índice rural de esgotamento sanitário por Unidade de Planejamento



Fonte: PERH/PE (2022)/SNIS (2018)

Conforme pode ser observado no gráfico acima, os índices de são piorados, o que se reflete na forma de lançamento de esgotos, que podem estar sendo lançados diretamente nos corpos d'água, influenciando na qualidade da água.

Ressalta-se, porém, que apesar do baixo atendimento de coleta dos serviços de esgoto, algumas propriedades podem ter um sistema próprio de lançamento e tratamento de matéria orgânica, por meio dos tratamentos anaeróbios, como as fossas sépticas, filtros biológicos e sumidouros.

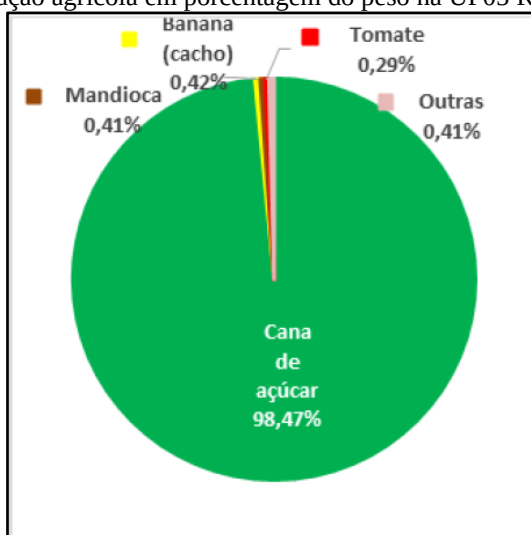
4.5.3 Uso e Ocupação do Solo

No Tomo I do PERH/PE (2022b), em seu Volume 4, traz informações das atividades antrópicas por cada Unidade de Planejamento, bem como informações a respeito da qualidade e quantidade de água disponível para o uso humano.

Neste sentido, a UP05 Rio Ipojuca tem uma característica interessante, por ser considerada a única bacia hidrográfica que está situada nas 3 regiões em desenvolvimento (Sertão, Agreste e Zona da Mata).

No que se refere à agricultura, a bacia se destaca pelo domínio do cultivo da cana-de-açúcar, que gerou mais de 2 mil toneladas em 2016. Em menor escala, aparecem os cultivos da mandioca, banana e tomate (Gráfico 33).

Gráfico 33 - Produção agrícola em porcentagem do peso na UP05 Rio Ipojuca em 2016



Fonte: PERH/PE (2022); IBGE e ANA (2017)

Com relação aos problemas de quantidade e qualidade da água, conforme os diagnósticos realizados PERH/PE (2022b), esta bacia apresenta baixas disponibilidades hídricas nas regiões do Sertão e Agreste, melhorando suas capacidades hídricas conforme se avança em direção ao litoral, na região da Zona da Mata e próximo a Região Metropolitana de Recife. Já em termos de qualidade, seus corpos hídricos apresentaram baixos resultados nos Índices de Qualidade das Águas (IQA), exigindo investimentos nos sistemas de esgotamento sanitário.

Ainda segundo o diagnóstico, a UP05 Rio Ipojuca possui um índice de perdas de água para o abastecimento público de 43%.

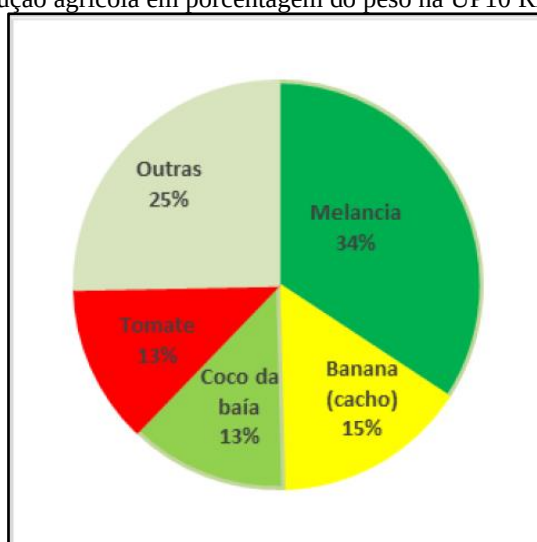
Ao relacionar as atividades do uso do solo na influência da qualidade dos recursos hídricos desta bacia, segundo o relatório da Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco – CONDEPE/FIDEM (2005), foram constatados que algumas das principais ações antrópicas que causam impacto direto nos corpos hídricos são: o plantio excessivo da cana-de-açúcar e outras culturas às margens dos rios; emissão de fuligem decorrente da queima do bagaço de cana nas caldeiras das usinas de açúcar; o lançamento de vinhaça e de água de lavagem da cana, provenientes de depósitos localizados próximos aos cursos d'água e descarga de efluentes domésticos diretamente nos rios.

Já com relação a UP 10 Rio Moxotó, tem como característica ser uma bacia em que a maior parte se encontrar na região do Sertão e possui uma tendência considerada bem peculiar, por ser uma das duas Unidades de Planejamento em que a população rural é crescente.

Tal fenômeno é ocasionado pelas oportunidades de emprego nas zonas rurais, seja na agricultura como na pecuária. Outro fator importante é o fato da geração de energia elétrica, aproveitando o potencial hídrico do rio São Francisco (PERH/PE, 2022b).

Ao contrário da UP05 Rio Ipojuca, a respeito das culturas agrícolas, a UP10 Rio Moxotó possui maior diversidade de plantios (Gráfico 34), tendo como maior peso total produzido em 2016, a melancia, com 34%, seguido pela banana (15%), coco e tomate, ambos com 13%. Tais tipos de culturas são consideradas típicas dos pequenos e médios produtores (PERH/PE, 2022b).

Gráfico 34 - Produção agrícola em porcentagem do peso na UP10 Rio Moxotó em 2016



Fonte: PERH/PE (2022); IBGE e ANA (2017)

Sobre a quantidade e qualidade da água, desta bacia no geral apresenta deficiências em grande parte território, sendo mais acentuado na porção norte. Já na porção sul, devido às disponibilidades hídricas vindas do rio São Francisco, a situação é mais amena. Apesar da baixa disponibilidade hídrica, nesta bacia se encontra o maior aquífero do Estado, denominado de aquífero Jatobá, o qual pode ser uma fonte em potencial a ser explorada, a fim de aumentar as disponibilidades de água na região (PERH/PE, 2022b).

Nota-se com relação à qualidade, que seus corpos hídricos no geral têm apresentado resultados bons no Índice de Qualidade das Águas, conforme o diagnóstico do plano. Além disso, ressalta-se a necessidade de diminuir os índices de perdas de água na rede de distribuição para abastecimento público, cujo valor encontra-se em torno de 48%, semelhante a UP05 Rio Ipojuca (PERH/PE, 2022b).

Por fim, a respeito das principais atividades antrópicas que influem diretamente na qualidade dos corpos hídricos desta bacia, podem ser citados: os efluentes líquidos industriais

oriundos de usinas de cana de açúcar, matadouros, beneficiamento de leite e têxteis; além da emissão direta de esgotos domésticos nos leitos dos rios, devido à falta de um sistema de tratamento e esgotamento (ENGECORPS; CONESTOGA-ROVERS, 2021).

Diante do exposto, com a apresentação do diagnóstico das bacias do Rio Ipojuca e Moxotó, foi fundamental observar que cada Unidade de Planejamento possui características peculiares, tanto nos aspectos geográficos, como em termos de disponibilidade hídrica, saneamento básico, além das atividades econômicas antrópicas, os quais possuem influência direta nos Índices de Qualidade das Águas e dos parâmetros analisados.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Neste tópico será abordado as considerações a respeito da relevância do tema deste presente estudo, bem como a importância dos resultados analisados sobre a qualidade da água em torno do Ramal do Agreste. Além disso, serão propostas recomendações no uso e ocupação do solo nas bacias do Rio Moxotó e Rio Ipojuca, a fim de corrigir atividades antrópicas que possam interferir diretamente na qualidade das águas na região do Agreste Pernambucano.

5.1 CONCLUSÃO

Diante da apresentação desta dissertação, com os objetivos propostos, pelo referencial teórico, a metodologia apresentada e os resultados obtidos, foi possível ter uma grande dimensão da importância do Projeto de Transposição do Rio São Francisco (PISF), em especial ao Ramal do Agreste, por ser uma obra de infraestrutura exclusivamente pertencente ao território de Pernambuco, com o objetivo de levar parte das águas do “Velho Chico” a Região do Agreste do Estado. Região esta que possui um histórico de carências hídricas para a comunidade.

Por meio da metodologia, a caracterização dos 5 pontos de estudos: P1 (Reservatório Cachoeira I), P2 (Rio Ipojuca, a montante do Reservatório Ipojuca), P3 (Reservatório Ipojuca), P4 (Reservatório Pão-de-Açúcar) e P5 (Rio Ipojuca, a jusante do Reservatório Pão-de-Açúcar) foram essenciais para poder se extrair informações sobre a situação da qualidade da água em torno do Ramal do Agreste, tendo como referências as 12 campanhas do Programa de Monitoramento da Qualidade da Água e Limnologia - PBA 16 do PISF durante os anos de 2018 a 2022.

Diante das análises observadas nos resultados, com os parâmetros escolhidos, foi possível observar alguns dos parâmetros escolhidos tiveram seus valores inconformes com a Resolução do Conama nº 357/2005 para rios de Classe II. Além disso, os respectivos IQAs dos pontos estudados tiveram alguns valores insatisfatórios durante o período de análise.

Por meio da análise dos dados obtidos de cada parâmetro ao longo das 12 campanhas de monitoramento, foi possível determinar a quantidade de dados, identificando assim, quais foram os parâmetros mais críticos com o maior número de inconformidades

Constatou-se que dos 15 parâmetros observados, os mais críticos foram: Oxigênio Dissolvido, com o maior número, com 22 ocorrências, seguido pela DBO, com 17 e Fósforo e Manganês, ambos com 16 inconformidades cada. Já os menores valores foram os parâmetros

Ph e Turbidez, os quais não registraram nenhum valor acima fora da tolerância e Salinidade, com apenas 1 inconformidade.

Já os IQAs permitem observar quais pontos de cursos d'água, que compõem o entorno do Ramal do Agreste estão com uma qualidade adequada para o consumo e abastecimento, necessitando de tratamento convencional e quais estão em uma qualidade inferior, sendo preciso um tratamento mais complexo e conseqüentemente, mais caros. Neste sentido, os pontos P2 e P5 tiveram os piores resultados do Índice de Qualidade das Águas, enquanto o ponto P1 apresentou os melhores valores.

Notou-se que as classificações dos Índices de Qualidade da Água estão relacionadas com as épocas de estiagem e chuvas, sendo melhores nos períodos de inverno, e piores nas épocas mais secas.

Através desta análise, é possível concluir que além dos períodos de chuvas e escassez, o volume de água nos reservatórios influencia na qualidade da água e sua classificação. Isto pode ser explicado justamente pelas chuvas que aumentam a disponibilidade de água nos reservatórios, diluindo a concentração de elementos e demais poluentes na água, tornando a mesma com uma qualidade mais aceitável para o consumo humano e abastecimento, necessitando de sistemas de tratamentos menos onerosos.

Buscando entender o motivo dos resultados dos parâmetros observados e dos IQAs dos pontos, por meio da análise do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco de 2022 (PERH/PE), foi possível correlacionar as possíveis atividades antrópicas e o uso do solo, com os impactos na qualidade dos corpos hídricos nas Bacias Hidrográficas onde situa o Ramal do Agreste: UP 05 Rio Ipojuca e UP10 Rio Moxotó.

Constatou-se que a UP05 Rio Ipojuca se destaca pelo domínio do cultivo da cana-de-açúcar, fato esse que tem se observado a presença de atividades irregulares que causam impacto direto nos corpos hídricos, tais como: o plantio excessivo desta cultura nas margens dos rios, emissão de fuligem decorrente da queima do bagaço, lançamento de vinhaça e de água de lavagem da cana.

Já UP 10 Rio Moxotó as atividades potencialmente poluidoras estão concentradas na emissão de efluentes líquidos industriais, matadouros, beneficiamento de leite e têxteis, além do despejo de esgotos domésticos nos leitos dos rios, devido à falta de um sistema de tratamento e esgotamento adequado.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Com os problemas identificados, estes precisam ser corrigidos e priorizados nas gestões atuais e futuras, para que se possam atingir índices de qualidade satisfatórios e adequados para os diversos usos da água, seja para o consumo e abastecimento, como para atividades econômicas, como na agricultura, pecuária, industrial, entre outros.

Ressalta-se que o acesso ao saneamento básico constitui uma necessidade básica de cada população, sendo extremamente importante que haja cada vez mais investimentos na ampliação dos sistemas de abastecimento, esgotamento, coleta de resíduos e drenagem de águas pluviais em todos os municípios. A melhora dos índices de saneamento básico influencia diretamente na melhoria da qualidade dos corpos hídricos.

Faz-se necessário, portanto, um maior controle e fiscalização ambiental destas atividades por parte dos gestores públicos, para que possam buscar a correção de irregularidades, a fim de mitigar os efeitos destas atividades antrópicas nos corpos hídricos, bem como mecanismo de proteção das margens dos rios, por meio de instrumentos legislativos, como a Lei nº 12.651 de 2012 (Novo Código Florestal), Lei nº 9433 de 1997 (Lei das Águas), bem como a criação de unidades de conservação, previstas na Lei nº 9.985 de 2000.

A aplicação de multas e sanções também pode se fazer necessário, previstos pela Lei nº 9.605 de 1998 (Crimes Ambientais). Para a eficácia destes instrumentos, porém, é fundamental o trabalho integrado das comunidades locais e com o incentivo dos órgãos públicos, promover uma maior educação ambiental no que se refere ao saneamento básico e proteção dos recursos hídricos.

O monitoramento da qualidade da água do Ramal do Agreste, realizado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional demonstrou ter alta eficácia ao trazer informações quantitativas e qualitativas a respeito dos parâmetros físico-químicos e biológicos e dos Índices de Qualidade das Águas dos pontos monitorados.

Portanto, é fundamental que este programa possa ser continuado e aperfeiçoado, ampliando seus pontos de análise de forma que sejam em locais estrategicamente importantes do ponto de vista para o abastecimento da população, sejam em reservatórios ou em rios.

Neste sentido, para futuros estudos, recomenda-se uma revisão dos atuais pontos e da forma de coleta, visto que alguns pontos estiveram sem leitura dos valores dos parâmetros, o que acabou dificultando uma análise mais precisa ao longo do período de coleta.

Por fim, as aplicações destas medidas serão necessárias para se ter uma água que possa atingir os padrões mínimos de potabilidade e qualidade, para ser tratada e entregue à população,

permitindo um maior desenvolvimento da Região do Agreste Pernambucano, bem como o uso sustentável dos recursos naturais, em especial, a água. Fazendo jus a grandiosidade do Rio São Francisco, sendo esse recurso tão essencial para a manutenção da vida e de grande valor econômico, principalmente para a Região Nordeste.

REFERÊNCIAS

AMARAL, André Júlio do. et al. Potencialidades da Zona da Mata e do Agreste Nordestinos para a Implantação de Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária- Floresta. **Solos Sustentáveis para a Agricultura no Nordeste - Parte IV**. Vol. 4. EMBRAPA. 2021.

ANA - Agência Nacional de Águas. Encarte Especial sobre a Crise Hídrica - Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil Informe 2014. **Ministério do Meio Ambiente**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SPR. Brasília. Distrito Federal. 2015.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. Vem Conhecer o PISF - Projeto de Integração do Rio São Francisco. **Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos**. Governo do Estado de Pernambuco. Recife. Pernambuco. 2023.

AZEVEDO, Patricia Roque Lemos. et. al. Efeito dos Sais e da Qualidade da Água no Solo e na Planta. **Revista Agroecologia no Semiárido**. Instituto Federal da Paraíba - Campus Sousa. Sousa. Paraíba. 2017.

BARROS, Jocilene Dantas. et. al. A Região Natural Planalto da Borborema no Semiárido do Rio Grande do Norte. **I Congresso Nacional da Diversidade do Seminário - CONADIS**. Natal. Rio Grande do Norte. 2018.

BRASIL. Relatório de Impacto Ambiental - RIMA. **Ministério da Integração Nacional**. Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional. 2004

BRASIL. Programa de Monitoramento da Qualidade da Água e Limnologia - Projeto Básico Ambiental. Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional - Trecho VII – Ramal do Agreste. **Ministério da Integração Nacional**. 2012.

BRASIL. Relatório Final do Projeto Executivo - Ramal do Agreste - Memorial Descritivo Volume 1. Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional. **Ministério da Integração Nacional**. 2013.

BRASIL. Sumário Executivo: Ramal do Agreste Pernambucano - Setembro de 2023. Secretaria de Nacional de Segurança Hídrica. **Ministério da Integração e do Desenvolvimento**

Regional. 2023a.

BRASIL. Sumário Executivo dos Programas Ambientais do Ramal do Agreste - Agosto de 2023. Secretaria de Nacional de Segurança Hídrica. **Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional**. 2023b.

CALDAS, Hidaiane Fayga Matias. Análise da Evolução Espaço-Temporal da Qualidade da Água no Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Universidade Federal de Pernambuco. **Centro de Tecnologia e Geociências**. Pernambuco. Recife. 2021.

CASTRO, César Nunes de; PEREIRA, Caroline Nascimento. Revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: Histórico, Diagnóstico e Desafios. **Ministério da Economia**. Instituto de Pesquisa Aplicada - IPEA. Brasília. Distrito Federal. 2021.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. As Cianobactérias e a Qualidade da Água: A Importância de Estar Sempre Atento. **Governo de Minas Gerais**. Minas Gerais. 2011.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2002. **Governo do Estado de São Paulo**. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo. 2003.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2017: Apêndice D - Índice de Qualidade das Águas. **Governo do Estado de São Paulo**. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo. 2018.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Ficha de Informação Tecnológica - Manganês. **Governo do Estado de São Paulo**. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo. 2022.

CLOSSON, Damien. et. al. The Red Sea–Dead Sea Canal: Its Origin and the Challenges it Faces. **Macro-engineering Seawater in Unique Environments**. Environmental Science and Engineering. Berlin Heidelberg. 2011.

CMAP - Conselho de Monitoramento e Avaliação de Políticas Públicas. Relatório de Avaliação Projeto de Integração do Rio São Francisco - PISF: Ciclo 2021. **Instituto de Pesquisa**

Econômica Aplicada – IPEA. Departamento de Avaliação de Políticas Públicas. 2021.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 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. **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio.** Brasília. Distrito Federal. 2005.

CONDEPE/FIDEM - Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca - Série de Bacias Hidrográficas de Pernambuco N°1. **Secretaria de Planejamento - SEPLAN.** Governo Do Estado De Pernambuco. Recife. Pernambuco. 2005.

COSTA, Fernando Barbosa; FERREIRA, Vanderlei de Oliveira. Análise de Parâmetros que Compõem o Índice de Qualidade das Águas (Iqa) na Porção Mineira da Bacia do Rio Paranaíba. **Observatorium.** Revista Eletrônica de Geografia, Vol.7, N°18. Pág. 22-47. 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Procedimentos de Amostragem e Análise Físico-Química de Água. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Embrapa Florestas. Colombo. Paraná. 2011.

ENGECORPS. EIA do Ramal do Agreste Pernambucano - Sumário Executivo. **Conestoga-Rovers e Associados.** Engecorps - Corpo de Engenheiros Consultores Ltda. 2021.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAs. **Ministério da Saúde.** Brasília. Distrito Federal. 2014.

GUPTA, J; VAN DER ZAAG, P. Interbasin Water Transfers And Integrated Water Resources Management: Where Engineering, Science And Politics Interlock. **Physics and Chemistry of the Earth N°33.** Elsevier. 2008.

HENKES, Silviana L. A Política, o Direito e o Desenvolvimento: um Estudo Sobre a Transposição do Rio São Francisco. **Revista Direito GV.** Pág. 497-534. São Paulo. 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Brasileiro de 2022. **IBGE.** Rio de Janeiro. 2012. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/panorama>>. Acesso em 10 de junho de 2024.

IEPHA - Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais. Inventário Cultural do Rio São Francisco. **Secretaria da Cultura**. Minas Gerais. 2015.

INDIA. National Water Policy (2012). **Ministry of Water Resources**. Government of India. 2012.

IPEA- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Transposição do Rio São Francisco: Análise de Oportunidade do Projeto. **Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República**. Governo Federal. Brasília. Distrito Federal. 2011.

KHLAIFAT, Abdelaziz. et. al. Mixing Of Dead Sea And Red Sea Waters And Changes In Their Physical Properties. **Heliyon**. Elsevier. 2020.

KHRAN, Faída Sandreanny. et. al. Transposição de Águas e Bacias – Aspectos Teóricos e Conceituais. **Universidade Federal do Tocantins - UFT**. Palmas. Tocantins. 2017.

LIU, Junguo. et. al. Water Conservancy Projects In China: Achievements, Challenges And Way Forward. **Global Environmental Change**. Elsevier. Beijing. China. 2013.

LIU, Yuan. et. al. Assessing Environmental, Economic, And Social Impacts Of Inter-Basin Water Transfer In China. Elsevier. **Journal of Hydrology**. 2023.

MENEZES, Juliana Magalhães. et. al. Índices de Qualidade de Água: Métodos e Aplicabilidade. Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos. Rio de Janeiro. 2010.

MINELLA, Jorge Lucas Simões. Natureza, Política e Nação no Rio São Francisco: Uma História do Epíteto “Rio da Unidade Nacional” e Seu Impacto na Transformação da Bacia do São Francisco, 1900-1940. **ANPUH Brasil - 31º Simpósio Nacional de História**. Rio de Janeiro. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Vigilância e Controle da Qualidade da Água Para Consumo Humano. **Secretaria de Vigilância em Saúde**. Brasília. Distrito Federal. 2006.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Sumário Executivo: Ramal do

Agreste Pernambucano - Agosto 2019. **Secretaria de Nacional de Segurança Hídrica**. 2019.

MOLOZZI, J. et. Al. Qualidade da água utilizada na atividade de rizicultura: caso do Município de Gaspar/SC. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH. João Pessoa. Paraíba. 2005.

OREN, Aharon. et. al. Biological Effects Of Dilution Of Dead Sea Brine With Seawater: Implications For The Planning Of The Red Sea–Dead Sea “Peace Conduit”. **Journal of Marine Systems**. Elsevier. Jerusalém. Israel. 2004.

PERH/PE - Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco. Tomo I – Diagnósticos: Volume 3 - Recursos Hídricos. **Secretaria De Infraestrutura E Recursos Hídricos – SEINFRA**. Governo do Estado de Pernambuco. Recife. Pernambuco. 2022a.

PERH/PE - Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco. Tomo I – Diagnósticos: Volume 4 – Diagnóstico Integrado. **Secretaria De Infraestrutura E Recursos Hídricos – SEINFRA**. Governo do Estado de Pernambuco. Recife. Pernambuco. 2022b.

RIBEIRO, Rafaela Vieira. Evolução Espaço-Temporal na Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca – Pernambuco, Brasil. Universidade Federal de Pernambuco. **Centro de Tecnologia e Geociências**. Pernambuco. Recife. 2020.

ROSSITER, Karina Waleska Lopes. et. al. Transposição do Rio São Francisco: Avaliação da Influência do Rio Pajeú na Qualidade da Água da Captação do Eixo Leste. **Revista de Gestão de Água da América Latina**. Vol. 18. Porto Alegre. Rio Grande do Sul. 2021.

SHARMA, Neha. Interlinking of Rivers in India: Advantages and Challenges. **Maheshwari P.G. College**. India. 2022.

SILVA, Adriana Maria Cunha da. et. al. Qualidade da Água como Reflexo de Atividades Antrópicas em Bacias Hidrográficas do Nordeste, Brasil. **Geosul**. Vol. 34, nº 72, p. 102-123. Santa Catarina. Florianópolis. 2019.

SILVA, Juliana de Fátima da. Análise de Parâmetros de Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do rio Araguari. **PROÁGUA - Universidade Federal de Ouro Preto**. Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental. Ouro Preto. Minas Gerais.

2018.

SINHA, Pammi. et. al. A New Framework For Integrated, Holistic And Tranparent Evaluation Of Inter-Basin Water Transfer Schemes. Science of the Total Environment. Elsevier. 2020.

SOBRAL, Maria do Carmo. et. al. Impacto Das Mudanças Climáticas nos Recursos Hídricos no Submédio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**. Vol. 12, nº3, pág .95-106. Fortaleza. Ceará. 2018.

SOITO, João. Usos Múltiplos da Água - Boletim Energético Maio 2019. **FGV Energia**. Fundação Getulio Vargas. 2019.

SUASSUNA. João. Potencialidades Hídricas do Nordeste Brasileiro. **Parcerias Estratégicas N° 20 (pt. 1) -**

junho de 2005. Seminários Temáticos para a 3° Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Informação. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE. Brasília. Distrito Federal. 2005.

TINÔCO, Ana Amélia Paulino. et. al. Avaliação de Contaminação por Mercúrio em Descoberto, MG. **Eng Sanit Ambient**. Vol.15, N°.4, Pág. 305-314. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. Minas Gerais. 2010.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento dos Esgotos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. Minas Gerais. 1996.

WANG, Yuemeng. et. al. A New Water Allocation Scheme Considering The Optimization Of Industrial Structures In Arid Areas Of The Chinese Loess Plateau. **Journal of Hydrology: Regional Studies**. Elsevier. 2023.

ZHAO, Zhen-Yu. et. al. Transformation Of Water Resource Management: A Case Study Of The South-To-North Water Diversion Project. **Journal of Cleaner Production**. Elsevier. Beijing. China. 2017.

ZHUANG, Wen. Eco-Environmental Impact Of Inter-Basin Water Transfer Projects: A Review. **Environ Sci Pollut Res**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2016.