



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

Everson de Oliveira Santos

**AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO E CARGA DE NUTRIENTES NO
RIO PARAÍBA DO MEIO DURANTE O ANO HIDROLÓGICO DE 2013**

Maceió – Alagoas
2020

Everson de Oliveira Santos

**AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO E CARGA DE NUTRIENTES NO
RIO PARAÍBA DO MEIO DURANTE O ANO HIDROLÓGICO DE 2013**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Maceió – Alagoas
2020

**Catálogo na fonte Universidade
Federal de Alagoas Biblioteca
Central**

Divisão de Tratamento Técnico

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

S237v Santos, Everson de Oliveira.
Avaliação do índice de estado trófico e carga de nutrientes no rio
Paraíba do Meio durante o ano hidrológico de 2013 / Everson de Oliveira
Santos. – 2020.
117 f. : il. color.

Orientador: Paulo Ricardo Petter Medeiros.
Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas.
Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Maceió, 2020.

Bibliografia: f. 111-117.

1. Rios - Nutrientes. 2. Eutrofização. 3. Homem - Efeito do meio
ambiente. 4. Paraíba do Meio, Rio. 5. Água - Qualidade. I. Título.

CDU: 911.2:556



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: Avaliação do Índice de Estado Trófico e carga de nutrientes no Rio Paraíba do Meio durante o ano hidrológico de 2013.

Autor: Everson de Oliveira Santos.

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Maceió – Alagoas, 13 de Maio de 2020.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Ricardo Petter Medeiros
Orientador

Prof. Dr. Carlos Ruberto Fragoso Júnior
Examinador Externo

Prof.^a Dr.^a Ana Paula Lopes da Silva
Examinadora Interna

DEDICATÓRIA

Dedico, inicialmente e de maneira primordial, este trabalho a Deus por ter me concedido oportunidades e forças em minha carreira acadêmica. Aos meus pais, pelo incentivo e apoio dado em minha educação. À minha saudosa avó materna, Francisca Freitas dos Santos Silva, pelo carinho, conselhos, amor, dedicação e companheirismo. À minha esposa, Ingrid Thainã Vieira da Silva, por me apoiar e acreditar em mim. Às minhas irmãs (Elízia de Oliveira Santos e Larissa de Oliveira Santos), família e amigos, pelo carinho, reconhecimento e gratidão. Ao incentivo, força e companheirismo de um grande amigo, irmão e colega geográfico: João Victor Alves de Lima.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, de maneira especial, ao meu orientador e mentor, Prof. Dr. Paulo Ricardo Petter Medeiros, pela contribuição, dedicação e atenção.

À equipe do Laboratórios Integrados de Ciências do Mar e Naturais (LABMAR), à Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH), aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Geografia (UFAL/IGDEMA), pois foram cruciais para realização e desenvolvimento desta pesquisa, seja na concessão de dados, ensinamentos e norteamentos fundamentais. Ao amigo e Prof. Me. James Rafael Ulisses dos Santos pela contribuição salutar nesta pesquisa.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente colaboraram durante o processo de desenvolvimento do presente trabalho.

Resumo: A água é um elemento essencial não apenas para fins socioeconômicos, mas, sobretudo, na manutenção da vida no Planeta. A relação histórica entre a sociedade e os recursos hídricos demonstra o quanto as necessidades sociais carecem ser supridas pelo processo de apropriação e uso. Contudo, essa relação tem provocado problemas ambientais nos ecossistemas aquáticos. É neste sentido que o presente trabalho objetiva compreender o processo de eutrofização no Rio Paraíba do Meio em Alagoas, determinando-o por intermédio do Índice de Estado Trófico (IET), bem como a mensuração da carga de nutrientes do supracitado rio, e, por sua vez, buscou-se compreender como as ações antrópicas influenciaram nesses processos. A referida pesquisa contribui e preenche uma lacuna na literatura científica no que diz respeito a essa linha de pesquisa sobre o Rio Paraíba do Meio, e, por conseguinte, contribui para o gerenciamento dos recursos hídricos. A metodologia é baseada no acesso ao Banco de Dados do Laboratório de Geoquímica Ambiental (IGDEMA-UFAL) referente ao ano hidrológico de 2013. Estes dados são referentes aos seguintes parâmetros físicos e químicos: Nitrito, Amônia, Nitrato, Fósforo Dissolvido, Oxigênio Dissolvido, Saturação de Oxigênio, Temperatura da água e Clorofila. Os dados de vazão foram obtidos junto a Agência Nacional das Águas (ANA) e os de precipitação com a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH). Nas análises de laboratório tomou-se como embasamento científico as proposições de Carmouze (1994), Medeiros (2007), Strickland e Parsons (1972). Para determinação da eutrofização utilizou-se o modelo TRIX. Portanto, a qualidade da água do Rio Paraíba do Meio passou por alterações significativas em parâmetros como Fósforo Total, Turbidez, Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido e Salinidade. O enriquecimento de fósforo determinou significativo estágio de eutrofização e isso tem afetado o potencial socioeconômico do rio, bem como limitado o uso social apropriado. Tais alterações possuem relação com as ações antrópicas, tais como: falta de esgotamento sanitário adequado, pontos de poluição e contaminação, expansão urbana, desmatamento da mata ciliar, assoreamento e processo de dragagem sem supervisão técnica.

Palavras-chave: Eutrofização; Ação Humana; Qualidade da Água.

Abstract: The water is an essential element not only for socioeconômicos ends, but, especially, in the maintenance of life in the Planet. The historical relation between the hídricos society and resources demonstrates how much the social necessities to lack to be supplied for the process of appropriation and use. However, this relation have provoked ambient problems in aquatic ecosystems. It is in this direction that the present objective work to understand the process of eutrofização in Rio Paraíba of the Way in Alagoas, being determined it for intermediary it Index of Estado Trófico (IET), as well as the mensuração of the load of nutrients it above-mentioned river, and, in turn, searched to understand as the antrópicas actions had influenced in these processes. The related research contributes and fills a gap in scientific literature in what it says respect to this line of research on Rio Paraíba of the Way, and, therefore, contributes for the management of the hídricos resources. The methodology is based on the access to the Data base of the Laboratory of Geoquímica Ambiental (IGDEMA-UFAL) referring to the hidrológico year of 2013. These data are referring to the following physical and chemical parameters: Nitrito, Ammonia, Nitrate, Dissolved Match, Dissolved Oxygen, Saturation of Oxygen, Temperature of the water and Clorofila. The outflow data had been gotten next to National Agency of Waters (ANA) and of precipitation with the State secretary of the Environment and Recursos Hídricos (SEMARH). In the laboratory analyses one was overcome as scientific basement the proposals of Carmouze (1994), Medeiros (2007), Strickland and Parsons (1972). For determination of the eutrofização model TRIX was used. Therefore, the quality of the water of Rio Paraíba of the Way passed for significant alterations in parameters as Total Match, Turbidez, Electric Condutividade, Dissolved Oxygen and Salinity. The match enrichment determined significant period of training of eutrofização and this has affected the socioeconômico potential of the river, as well as limited appropriate the social use. Such alterations possess relation with the antrópicas actions, such as: lack of adjusted sanitary exhaustion, points of pollution and contamination, urban expansion, deforestation of the ciliar bush, assoreamento and process of dragagem without supervision technique.

Keywords: Eutrophication; Human Action; Water Quality.

LISTA DE TABELAS E QUADRO

Tabela 1 - Disponibilidade de recursos hídricos no Brasil e na Europa	9
Tabela 2 - Aspectos físicos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio	36
Tabela 3 - Classificação do Estado Trófico para águas estuarinas de acordo com Modelo TRIX	54
Tabela 4 - Dados demográficos e de Esgotamento Sanitário dos municípios pernambucanos da BHRPM	57
Tabela 5 - Dados demográficos e de Esgotamento Sanitário dos municípios alagoanos da BHRPM	59
Tabela 6 - Dados de Nitrogênio (Amônio), pH e Vazão	77
Tabela 7 - Tabela de fluxos e cargas de Nitrogênio Amônio	79
Tabela 8 - Dados de Nitrogênio (Nitrito) e Vazão	81
Tabela 9 - Fluxos e cargas de Nitrogênio (Nitrito) no ano hidrológico de 2013	81
Tabela 10 - Dados de Nitrogênio (Nitrato), pH e Vazão	83
Tabela 11 - Fluxos e cargas de Nitrogênio (Nitrato) do Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013	84
Tabela 12 - Dados de Fosfato Orto, Fosfato Total e Vazão	87
Tabela 13 - Fluxo e carga de Fosfato do Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013	88
Tabela 14 - Resumo dos dados de Amônio, Nitrito, Nitrato e Fosfato Orto	89
Tabela 15 - Carga anual de nutrientes e Rendimento de Yield	90
Tabela 16 - Comparação das cargas específicas (Yield) de NID e PID	91
Tabela 17 - Dados de Clorofila a, pH e Vazão	92
Tabela 18 - Dados de Silício e Vazão	93
Tabela 19 - Dados de Turbidez e Vazão	94
Tabela 20 - Dados de pH e Vazão	95
Tabela 21 - Dados de Condutividade Elétrica e Vazão	97
Tabela 22 - Dados de Oxigênio Dissolvido e Vazão	99
Tabela 23 - Dados de Salinidade e Vazão	101
Tabela 24 - Dados de Sólidos Totais em Suspensão e Vazão	102
Tabela 25 - Análise de sólidos suspensos em três diferentes bacias hidrográficas	103
Tabela 26 - Dados de Saturação de Oxigênio e Vazão	104
Tabela 27 - Dados de Temperatura e Vazão	105
Tabela 28 - Dados de parâmetros utilizados para cálculo TRIX e classificação do Estado Trófico em cada mês do ano hidrológico de 2013	106
Quadro 1 - Correlação de Spearman com dados de vazão e precipitação	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de distribuição percentual da água do Planeta	10
Figura 2 - Esquema explicativo dos componentes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos	19
Figura 3 - Diferença entre o processo de eutrofização natural e o resultante da atividade humana	23
Figura 4 - Esquema explicativo: nutrientes geradores de eutrofização	25
Figura 5 - Mapa das Regiões Hidrográficas do Brasil	33
Figura 6 - Mapa de localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio	35
Figura 7 - Mapa da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio	37
Figura 8 - Mapa de hierarquia fluvial, declividade e altimetria	38
Figura 9 - Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio	39
Figura 10 - Mapa de altimetria da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio	39
Figura 11 - Mapa do Sistema Estuarino-Lagunar-Mundaú-Manguaba (CELMM), mostrando a localização das lagoas, da cidade de Maceió, do oceano adjacente, e dos rios Paraíba do Meio (RPDM), Sumaúma (RS) e Mundaú (RM)	40
Figura 12 - Mapa Climático do Estado de Alagoas	41
Figura 13 - Mapa de Solos da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio	42
Figura 14 - Mapa geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio	45
Figura 15 - Mapa de localização geográfica dos pontos de coleta e de vazão	49
Figura 16 - Mapa de medição de distância entre o ponto de coleta e de vazão	50
Figura 17 - Sonda Multiparamétrica utilizada para realizar as medições in situ	51
Figura 18 - Gráfico de Esgotamento Sanitário e Densidade Demográfica de municípios pernambucanos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio (IBGE)	58
Figura 19 - Gráfico de Esgotamento Sanitário e Densidade Demográfica de municípios alagoanos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio (IBGE)	59
Figura 20 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2005)	62
Figura 21 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2006)	63
Figura 22 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2007)	64
Figura 23 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2008)	65
Figura 24 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2009)	66
Figura 25 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2010)	67
Figura 26 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2011)	68
Figura 27 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2012)	69
Figura 28 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2013)	70
Figura 29 - Gráfico da Média Anual de precipitação (2005-2013) no Rio Paraíba do Meio	71
Figura 30 - Gráfico de Precipitação Média Mensal (2005-2013) e Desvio Padrão do Rio Paraíba do Meio	72
Figura 31 - Gráfico da vazão média anual com média da série histórica (1989-2013) do Rio Paraíba do Meio	73

Figura 32 - Gráfico da Média Mensal e Desv. Hist. (1989-2013) do Rio Paraíba do Meio	74
Figura 33 - Esquema simplificado do Ciclo do Nitrogênio em ecossistemas aquáticos	76
Figura 34 - Gráfico da variação de Amônia, Nitrito e Nitrato no ano hidrológico de 2013	77
Figura 35 - Gráfico do comportamento da vazão no Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013	78
Figura 36 - Gráfico que mostra o comportamento da concentração e fluxo de Amônio no Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013	80
Figura 37 - Gráfico do comportamento e fluxo de Nitrito no Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013	82
Figura 38 - Gráfico do comportamento e fluxo de Nitrato no ano hidrológico de 2013	85
Figura 39 - Gráfico do comportamento da concentração de Fósforo no ano hidrológico de 2013	87
Figura 40 - Gráfico do comportamento e fluxo de Fósforo do Rio Paraíba do Meio no ano hidrológico de 2013	88
Figura 41 - Gráfico do comportamento e variação de pH do Rio Paraíba do Meio no ano hidrológico de 2013	96
Figura 42 - Gráfico do comportamento e variabilidade da concentração de Oxigênio Dissolvido no Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013	99
Figura 43 - Gráfico de classificação do Estado Trófico do Rio Paraíba do Meio e sua variabilidade no ano hidrológico de 2013	107

ABREVIATURAS E SIGLAS

aD%OD - Desvio Absoluto das Condições de Saturação do OD

ANA - Agência Nacional de Águas

APP - Área de Proteção Permanente

BHRPM - Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio

CERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

DQO - Demanda Química de Oxigênio

EMPRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FERH - Fundo Estadual de Recursos Hídricos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IET - Índice de Estado Trófico

Lat. - Latitude

Long. - Longitude

MMA - Ministério do Meio Ambiente

NEEA - United States National Estuarine Eutrophication Assessment

NID - Nitrogênio Inorgânico Dissolvido

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration dos Estados Unidos

OD - Oxigênio Dissolvido

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU - Organização das Nações Unidas

PDRH - Plano Diretor de Recursos Hídricos

PID - Fósforo Inorgânico Dissolvido

PNRH - Plano Nacional de Recursos Hídricos

RHN - Rede Hidrometeorológica Nacional

RPM - Rio Paraíba do Meio

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

SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SNGRH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

TRIX - *Trophic Index*

TSS - Sólidos Totais em Suspensão

UNT / NTU - Unidade Nefelométrica de Turbidez

µg - Microgramas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
1.1 Objetivo Geral	5
1.2 Objetivos específicos	5
2 REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1 A importância da água como recurso vital e socioeconômico	6
2.1.1 Aspectos importantes da qualidade da água	11
2.1.2 Parâmetros geoquímicos e o CONAMA	13
2.2 Gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil: uma abordagem crítica e reflexiva	15
2.2.1 A gestão dos recursos hídricos em Alagoas	19
2.3 Eutrofização em ecossistemas aquáticos	21
2.3.1 Modelo TRIX e sua importância na determinação do Estado Trófico	29
2.4 O estudo da concentração de carga de nutrientes	30
3 CARACTERIZAÇÃO DE ÁREA	33
3.1 Localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio	33
3.2 Aspectos climáticos	40
3.3 Aspectos pedológicos	41
3.4 Aspectos geomorfológicos	44
3.5 Aspectos geológicos	46
3.6 Aspectos de vegetação	46
4 MATERIAIS E MÉTODOS	47
4.1 Aquisição dos dados e Amostragem	48
4.1.1 Plano de Amostragem	50
4.1.2 Determinação do período de Amostragem	51
4.1.3 Análises laboratoriais	51
4.2 Índice de Estado Trófico e o Modelo TRIX	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.1 Atividades socioambientais e econômicas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio em Alagoas	55
5.1.1 O processo de urbanização desordenado e o dilema do Plano Diretor	55

5.1.2 Degradação dos recursos naturais da Bacia e sua relação com a qualidade da água	60
5.2 Análise de série histórica de precipitação pluviométrica (2005 a 2013) com variabilidade mensal e anual	62
5.3 Estudo de série histórica de vazão (1989 a 2013)	72
5.4 Caracterização da concentração e carga de nutrientes	74
5.5 Implicações e descrição dos parâmetros físicos e químicos do Rio Paraíba do Meio...	91
5.6 Avaliação do Estado Trófico da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio em Alagoas	105
5.6.1 O modelo TRIX e seus apontamentos em relação ao estado trófico	106
5.7 Correção de dados: concentração de nutrientes, vazão e precipitação	108
6 CONCLUSÃO	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são um dos mais importantes recursos naturais do planeta. Os mesmos não apenas dão sustentação às atividades sociais e econômicas, mas, sobretudo, a manutenção da vida na Terra. Apesar desta inferência, o homem não tem tido responsabilidade no processo de apropriação e uso deste elemento natural e vital.

É neste sentido que se faz necessário frisar que os rios são um recurso natural de extrema importância para o homem e que, por sua vez, faz parte do processo histórico de desenvolvimento de muitas sociedades desde épocas remotas, tais como a civilização egípcia com o rio Nilo e a Mesopotâmia situada entre os rios Tigre e Eufrates. Desde há muito tempo já era atribuída a importância da água principalmente para atender aos interesses sociais no que se refere ao crescimento e desenvolvimento socioeconômico.

Segundo Rebouças (2006, p. 01) “a água doce é elemento essencial ao abastecimento do consumo humano e ao desenvolvimento de suas atividades industriais e agrícolas e é de importância vital aos ecossistemas – tanto vegetal como animal – das terras emersas”.

Dáí surge a necessidade de estudos científicos que busquem compreender esta relação humana com o rio, que por sua vez, é histórica e necessária, porém, na maioria das vezes dotada da geração de um elenco de problemas ambientais.

É justamente neste sentido que a presente pesquisa objetiva o estudo da relação humana com o Rio Paraíba do Meio. Deste modo, para poder compreender esta relação são colocadas em questão à avaliação do estado trófico do rio, usando o modelo TRIX de determinação, e a mensuração da concentração de nutrientes – sendo considerada a primeira pesquisa nessa perspectiva realizada no rio em questão. Levando em consideração que ambos estão intrinsecamente relacionados à qualidade da água.

Como problema tem-se o seguinte questionamento: a ação humana tem contribuído para o processo de eutrofização e elevação da carga de nutrientes no Rio Paraíba do Meio? A hipótese é de que a ação humana, por meio de atividades socioeconômicas, bem como pelo processo de expansão urbana sem planejamento nos municípios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio, tem influenciado significativamente na elevação da carga de nutrientes e, por conseguinte, no processo de eutrofização do rio.

O processo de eutrofização, considerado atualmente como um problema existente em diversos ecossistemas aquáticos no mundo, pois atinge lagos, represas, rios e águas costeiras de todo planeta, constitui um problema ambiental significativamente difundido. A eutrofização

tem gerado inúmeras perdas da biodiversidade, redução da qualidade da água e, por sua vez, baixa disponibilidade e, conseqüentemente, tem provocado riscos à saúde humana e de animais.

No Brasil e também em grande parte dos países em desenvolvimento, a falta de saneamento básico adequado tem caracterizado um quadro de possibilidade e contribuição para que o processo de eutrofização ocorra com mais significância. A existência de efluentes domésticos e/ou industriais lançando, diretamente, sem tratamento prévio, material nos cursos de água é um dos variados exemplos. Tais aportes de matéria orgânica e poluentes tem contribuído para a eutrofização em diversos ambientes aquáticos.

A eutrofização é considerada uma grande preocupação ambiental aos ecossistemas aquáticos. Os altos aportes de nitrogênio (N) e fósforo (P) provenientes de emissários de esgoto de grandes cidades, rios, instalações industriais e fertilizantes utilizados na agricultura estimulam o crescimento excessivo de organismos fitoplanctônicos e fitobentônico, causando diversos efeitos deletérios para os ecossistemas e populações humanas. (KITSIOU e KARYDIS, 2011 apud COTOVICZ JUNIOR et al, 2012)

A eutrofização em estágio avançado é caracterizada por florações de algas tóxicas e nocivas, dentre outros elementos que acabam por alterar a estruturação dinâmica de um ecossistema. Apesar de ser considerado um processo natural, ela pode ser acelerada e desencadeada por atividades antrópicas.

O estado trófico e a eutrofização do Rio Paraíba do Meio serão avaliados através da aplicação do modelo TRIX. O estudo dos problemas ambientais gerados a partir da eutrofização e da carga de nutrientes é dotado também da demonstração relacional destes com as atividades sociais e econômicas desenvolvidas na área da bacia hidrográfica.

1.1 Objetivo Geral:

Determinar o Índice de Estado Trófico e a carga de nutrientes no Rio Paraíba do Meio, buscando compreender como as ações antrópicas influenciam nesses processos.

1.2 Objetivos Específicos:

- Analisar a variabilidade temporal dos parâmetros físicos e químicos;
- Determinação da carga mensal e anual de Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos na região da ponte rodoviária (BR-316) no município de Atalaia - Alagoas;
- Contribuir para sistemática do banco de dados do Laboratório de Geoquímica Ambiental (IGDEMA/UFAL) acerca da eutrofização para o Rio Paraíba do Meio;
- Estudar como a eutrofização e a carga de nutrientes vem sendo influenciada pela ação humana;
- Caracterizar o esgotamento sanitário e a densidade demográfica dos municípios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A importância da água como recurso vital e socioeconômico

A relação histórica e necessária entre a sociedade e a natureza tem proporcionado profundas transformações no meio ambiente. Nesta relação, os recursos naturais são apropriados e usados com a finalidade de satisfazer as necessidades sociais. A matéria-prima é retirada da natureza e transformada em produtos industrializados, por exemplo. Segundo Santos, Medeiros e Santos (2018, p. 45), “a sociedade ao longo de sua história tem aperfeiçoado, por meio do trabalho, seus instrumentos e técnicas, usando-os para se relacionar com a natureza e transformá-la”.

Sendo assim, é importante assinalar que o consumo é necessário, no entanto, quando se cruza o limite do consumo passa a se ter uma cultura capitalista de consumismo, onde há consumo exacerbado, inclusive de coisas que não são necessidades sociais e, por conseguinte, mergulha-se na alienação da publicidade que, por sua vez, cria necessidades que a sociedade não possui. Essa lógica de consumo explicitada aqui acaba por influenciar na maneira como a sociedade vai se relacionar com a natureza e, sobretudo, com os recursos naturais. O resultado é a geração de um elenco de problemas ambientais e a degradação dos mesmos.

Dentre os recursos naturais que sofrem com o processo de degradação, a água, como recurso hídrico, tem passado por alterações significativas relacionadas tanto a quantidade como a qualidade da mesma e isso tem tornado esse importante recurso inadequado e impróprio para o uso social. Sua importância como elemento natural transcende o aspecto social, econômico, ambiental e político, pois a água tem papel vital na manutenção da vida no Planeta.

O Rio Paraíba do Meio está inserido nesse patamar onde o processo de degradação ambiental de cunho antropogênico tem provocado alterações, sobretudo, na qualidade e quantidade da água que, por sua vez, outrora, já foi possível atender demandas sociais dos municípios partícipes da bacia hidrográfica, como navegação de pequeno porte, atividade de pesca, atividades simples de agricultura e pecuária, dentre outros.

É nesse contexto que Souza et al (2014, p. 27) infere que

A utilização da água pela sociedade humana visa a atender suas necessidades pessoais, atividades econômicas (agrícolas e industriais) e sociais. No entanto, essa diversificação no uso da água, quando realizada de forma inadequada, provoca alterações na qualidade da mesma, comprometendo os recursos hídricos e por consequência seus usos para os diversos fins. A qualidade da água é aspecto indispensável, quando se trata dos seus principais usos, em especial, para fins como o abastecimento humano. Este uso tem sofrido

restrições significativas em função de prejuízos nos rios provenientes das ações naturais e antrópicas, as quais alteram os aspectos de qualidade e quantidade de água disponível para o uso humano. (SOUZA et al, 2014, p. 27)

Segundo Silva (2007, p. 120)

A água é um bem indispensável à vida: humana, animal e vegetal. Compartilha dos processos ecológicos essenciais, como o da fotossíntese, o da quimiossíntese e o da respiração. Funciona como habitat e nicho ecológico de inúmeros organismos e espécies animais e vegetais. Sua mobilidade, seu poder de solubilidades, sua variação de densidade, sua característica de regulador térmico e especialmente sua tensão superficial são atributos que respondem por sua extraordinária função ecológica. (SILVA, 2007, p. 120)

A água doce é de suma importância para manutenção da vida no planeta Terra. Está intrinsecamente ligada à saúde e à dignidade da pessoa humana. Ela é responsável pela variação climática, pela manutenção dos rios, lagos e oceanos e cria condições para o desenvolvimento de plantas e animais. É um recurso essencial. (RIBEIRO e ROLIM, 2017, p. 10)

Arelada a essa discussão, Souza et al (2014, p. 27) diz que

Do ponto de vista cultural, a água também exerce papel importante fazendo parte da construção e crescimento de civilizações, como a exemplo das civilizações mesopotâmicas e egípcias que se desenvolveram ao longo dos rios Tigre e Eufrates e rio Nilo, respectivamente. (SOUZA et al, 2014, p. 27)

Para Nelson (2017, p. 71) “o mundo, hoje, vive um conflito eterno entre os desejos e necessidades dos homens, os quais são ilimitados e insaciáveis, contrapondo-se a conscientização, recente e tardia, de que os recursos naturais são limitados e que em face da degradação podem ser tornar não renováveis”.

A água é um dos recursos naturais mais importantes no planeta e até bem pouco tempo era considerado como um bem infinito. O aumento da população e todos os fatores atrelados com este crescimento têm ocorrido em detrimento da degradação dos recursos hídricos por causa de seus usos múltiplos, destacando entre eles a agricultura, o abastecimento público, a pecuária, a indústria, a geração de energia, o saneamento básico, a recreação e o lazer (ZHANG et al., 2010, p.22).

De acordo com um diagnóstico apresentado na Conferência Internacional sobre Água Doce, em Bonn, em 2001, cerca de 1,2 bilhão de pessoas vivem sem acesso à água em quantidade e qualidade necessárias para uma vida saudável e digna; 2,5 bilhões carecem de saneamento adequado e 4 milhões, principalmente crianças, morrem todos os anos de disenteria, amebíase e outras doenças associadas à água de má qualidade. Dessa forma, mantido o padrão atual de uso e degradação da água, esse quadro tende a se agravar, pois, estima-se que

por volta de 2030 a Terra contará com 2 bilhões de pessoas a mais, a maioria vivendo nas grandes cidades situadas em países pobres, principalmente, na Ásia, na África, no Oriente Médio e na América Latina (PETRELLA, 2002, p. 26).

Nesse contexto, o Brasil tem uma posição de destaque no cenário mundial relacionada a descarga de água doce de seus rios. Segundo Rebouças (2006, p. 27) o Brasil possui uma “produção hídrica de 177.900 m³/s e mais 73.100 m³/s da Amazônia internacional, representa 53 % da produção de água doce do continente sul-americano (334 mil m³/s) e 12% do total mundial (1.488 milhões de m³/s)”.

Mesmo tendo todo esse potencial hídrico é preciso destacar nas palavras de Gomes e Barbieri (2004, p. 04) que “a oferta de recursos hídricos no Brasil pode ser considerada generosa, embora caracterizada por algumas assimetrias entre a disponibilidade e a necessidade”. O referido autor continua dizendo que

[...] 20% da descarga hídrica nacional abastece cerca de 95% da população, enquanto 80% dessa produção é originada de regiões ocupadas por apenas 5% da população. Isso quer dizer que embora o Brasil tenha uma das maiores reservas de água doce do planeta, existem regiões situadas abaixo dos padrões mínimos, em decorrência das disparidades entre a produção hídrica e o adensamento demográfico. (GOMES e BARBIERI, 2004, p. 05)

A tabela 1 detalha a situação hídrica das 27 unidades federativas brasileiras. A partir das informações da referida tabela, Gomes e Barbieri (2004, p. 05) contribuem dizendo que

[...] 11 apresentam uma oferta de água abundante, com disponibilidade hídrica oscilando entre 39 mil e 1.747.010m³/habitante/ano. Em comparação com os países europeus, os que possuem maior disponibilidade hídrica apresentam uma relação que varia de 21.800m³ a 22.600m³/habitante/ano. No Brasil, quatro unidades federativas apresentam uma situação considerada muito rica, duas ricas e duas em condição de equilíbrio em relação ao que a OMS considera adequado para a satisfação da vida em comunidade e para o exercício das atividades humanas e sociais. Seis unidades federativas apresentam situação pobre (disponibilidade inferior a 2.500m³/habitante/ano) e duas possuem situação crítica de escassez (abaixo de 1.500m³/habitante/ano). O estado de São Paulo apresenta uma situação de equilíbrio, mas isso apenas quando se considera a disponibilidade agregada de água. (GOMES e BARBIERI, 2004, p. 05)

Tabela 1 - Disponibilidade de recursos hídricos no Brasil e na Europa.

SITUAÇÃO (m ³ /hab/ano)	PAÍS	DISPONIBILIDADE (m ³ /hab/ano)	UNIDADE FEDERATIVA	DISPONIBILIDADE (m ³ /hab/ano)
Abundância > 20.000			Roraima	1.747.010
			Amazonas	878.929
			Amapá	678.929
			Acre	369.305
			Mato Grosso	258.242
			Pará	217.058
			Tocantins	137.666
			Rondônia	132.818
			Goiás	39.185
		Finlândia	22.600	Mato Grosso do Sul
	Suécia	21.800	Rio Grande do Sul	20.798
Muito rica > 10.000		14.000	Maranhão	17.184
			Santa Catarina	13.662
	Luxemburgo	12.500	Paraná	13.431
	Áustria	12.000	Minas Gerais	12.325
Rica > 5.000	Países Baixos	6.100	Piauí	9.608
	Portugal	6.100	Espírito Santo	7.235
	Grécia	5.900		
Equilíbrio > 2.500	França	3.600	Bahia	3.028
	Itália	3.300	São Paulo	2.913
	Espanha	2.900		
Pobre < 2.500		2.200	Ceará	2.436
		2.000	Rio de Janeiro	2.315
	Bélgica	1.900	Rio Grande do Norte	1.781
			Distrito Federal	1.752
			Alagoas	1.751
			Sergipe	1.743
Situação crítica < 1.500			Paraíba	1.437
			Pernambuco	1.320

Fonte: Adaptada de Thame (2000).

Acrescentando também que além do dilema entre a disponibilidade e a necessidade de água doce, isto é, população relativa versus quantidade de água doce disponível no Brasil, é preciso adicionar a ação antrópica que vem alterando a qualidade da água e tornando-a imprópria para uso diversos. A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio tida como recorte espacial nesta pesquisa é apenas um dos muitos exemplos de rios no país que foram de suma importância para as necessidades socioeconômicas e, devido à falta de uma política de gerenciamento adequada, atualmente não atende mais as necessidades supracitadas como outrora.

Levando em consideração tais contribuições relacionadas a importância da água como recurso e, por conseguinte, o processo de apropriação e uso, é possível verificar figura 1 que 97,5 % (1.386 Mkm³) do total de água na Terra é água salgada. Apenas 2,5 % correspondem a água doce, isto é, própria para consumo e outras demandas sociais. No entanto, 68,9 % estão nas calotas polares e geleiras, 29,9 % é água subterrânea, 0,9% está em outros reservatórios e

apenas 0,3% de água doce está em rios e lagos. Essa porcentagem disponível para o uso da sociedade tem sido degradada por ações antropogênicas. Veja na figura 1:

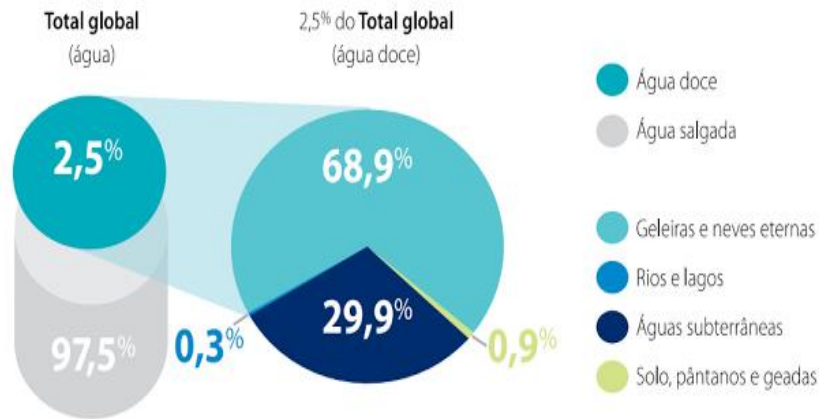


Figura 1- Gráfico de distribuição percentual da água do Planeta. Fonte: ANA, 2019.

Mediante esse panorama percentual de disponibilidade de água doce no mundo, é interessante trazer em discussão a classificação do uso que se faz dos recursos hídricos. Esteves (2011) classifica os usos da água como Consultivos e Não Consultivos.

Para Carvalho et al (2007, p. 02) apud Souza et al (2014, p. 28), “o uso consuntivo é aquele em que é retirada uma determinada quantidade de água dos mananciais, que depois de utilizada, é devolvida em quantidade menor e/ou com qualidade inferior, provocando prejuízos quali-quantitativos”. Tucci (2006, p. 41) colabora dizendo que “no Brasil, os usos consuntivos da água se distribuem em irrigação (63%), abastecimento humano (18%), setor industrial (14%) e uso animal (5%)”.

Rebouças (2006, p. 23) afirma que

Os usos não consuntivos utilizam a água em seus próprios mananciais sem precisar retirá-la do sistema de captação; ou após sua captação, retornam integralmente aos seus mananciais. Por exemplo: a geração de energia elétrica, a navegação, a diluição de efluentes, a pesca, a preservação da flora e fauna e a recreação. (REBOUÇAS, 2006, p. 23)

Portanto, diante da importância inquestionável da água para os diversos aspectos socioeconômicos e vitais, acrescido da degradação provocada por ações antrópicas, segundo Ribeiro e Rolim (2017, p. 08) frisam que

Os debates quanto às questões relacionadas à disponibilidade hídrica mundial ganharam espaço no final do século XXI e se têm constituído em pauta importantíssima nos cenários nacionais e internacionais em que são debatidos temas relacionados aos meios de garantia de quantidade e qualidade hídricas, bem como formas de utilização sustentável. (RIBEIRO e ROLIM, 2017, p. 08)

Desse modo, os debates relacionados a questão ambiental tem incluído, de maneira primordial, os recursos hídricos no centro do debate. Em 1972 a discussão sobre águas foi patrocinada pela Organização das Nações Unidas (ONU), durante a 1ª Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, em Estocolmo, no ano de 1972. Após cinco anos, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre Água, em Mar Del Plata (1977). Desde então, não apenas debates se voltaram a importância da água tal como foi tratada neste tópico, mas estudos científicos tem contribuído de maneira expressiva para tal.

2.1.1 Aspectos importantes da qualidade da água

Para se falar da água é necessário relacioná-la a dois importantes aspectos: sua quantidade e sua qualidade. Sendo assim, é preciso considerar que, apesar da existência do fenômeno do ciclo hidrológico onde há uma movimentação contínua da água pelo meio físico e biológico dos ecossistemas e este importante ciclo biogeoquímico influi para que a água esteja sempre disponível, em termos de quantidade, no meio ambiente, é fundamental incluir a questão das alterações na qualidade da água, principalmente devido ações antrópicas.

O Ciclo Hidrológico em si garante que a quantidade de água no mundo tenha sido constante desde os primórdios relacionadas a idade geológica da Terra. Contudo, a qualidade da água remete primordialmente a mesma como recurso, pois para Hirata (2008, p. 422) “a água como substância está presente em toda parte, mas o recurso hídrico, entendido como um bem econômico e que pode ser aproveitado pelo ser humano dentro de custos financeiros razoáveis, é mais escasso”. E mais, para Rebouças (2006, p. 01) “toda água da terra não é, necessariamente, um recurso hídrico, na medida em que seu uso ou utilização nem sempre tem viabilidade econômica”.

Segundo Marques e Souza (2005, p. 161) “a qualidade da água é influenciada pela litologia da região, do clima, da vegetação circundante, do tipo de solo e do ecossistema aquático. A temperatura e os ventos que influenciam no processo de decomposição das rochas e na erosão do solo determinarão parte dos elementos que compõe a água”. No entanto, a essas características naturais atribuídas a qualidade da água em si devem serem somadas à ação antrópica que, por sua vez, tem de maneira significativa degradado esse importante recurso.

Desse modo, a degradação da qualidade da água tem influenciado na crise hídrica. Para Tundisi et al. (2008, p. 07), os principais aspectos que influenciam na crise da água em termos globais são:

a) intensa urbanização, o que promoveu aumento na demanda de água, associado a descarga de contaminantes nos recursos hídricos; b) alteração na disponibilidade e demanda de água em diversos lugares do mundo; c) infraestrutura precária de captação, tratamento e distribuição de água e com grandes perdas na distribuição; d) mudanças globais que promovem eventos hidrológicos extremos, o que aumenta a vulnerabilidade da população bem como a segurança alimentar; e) falta de articulação e de ações consistentes na governabilidade dos recursos hídricos e na sustentabilidade ambiental. (TUNDISE et al., 2008, p. 07)

Um fator relevante e que tem contribuído, exponencialmente, em alterações na qualidade da água, está relacionada a ocupação desordenada em bacias hidrográficas e, tal situação, atrela-se ao processo de expansão urbana desordenado e sem planejamento. Para Souza et al. (2014, p. 30)

Apesar da importância que os recursos hídricos exercem para o desenvolvimento regional, a qualidade e a quantidade das águas dos rios vêm sendo cada vez mais afetadas pela ocupação desordenada da bacia hidrográfica. O crescimento demográfico e o desenvolvimento social e econômico aumentam a demanda por água e provocam alterações de ordem física, química e biológica nos ecossistemas aquáticos. (SOUZA et al., 2014, p. 30)

De acordo com Gonçalves (2008, p. 70)

Hoje, a população urbana é um dos grandes consumidores da água, de forma concentrada, influenciando dessa forma na sua qualidade. Esse quadro se agrava mais quando percebemos que as grandes concentrações demográficas em áreas metropolitanas nem sempre oferecem condições adequadas de infraestrutura para o uso e depuração necessária para a manutenção da qualidade da água. (GONÇALVES, 2008, p. 70)

Um dos grandes fulcros da questão está voltada para a irresponsabilidade do Estado em relação ao Saneamento Básico. Muitas cidades ainda não têm um eficiente e adequado sistema, que seja seguro e produza um sistema mais qualificado não só do tratamento do esgoto como também um monitoramento dos efluentes que são drenados sem as mínimas condições de salubridade. (GONÇALVES, 2008, p. 70)

Segundo Tundisi (2008, p. 29)

O conhecimento da qualidade das águas dos rios e o uso e ocupação de suas bacias hidrográficas é necessária inclusive para traçar estratégias de planejamento e gestão, projetando cenários futuros, como o aumento da demanda de água, mudanças nos mosaicos de paisagem decorrente do desenvolvimento da região e até mesmo as possíveis consequências das mudanças climáticas globais. (TUNDISI, 2008, p. 29)

No presente estudo é trazido justamente como o processo de expansão urbana e, principalmente, como as ineficiências relacionadas ao esgotamento sanitário (um dos pilares do

Saneamento Básico) em municípios que fazem parte da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio tem contribuído para degradação da qualidade da água por intermédio de efluentes domésticos direcionados ao leito do rio.

Em relação ao entendimento conceitual relacionada a qualidade da água, Souza et al. (2014, p. 30) contribui enfatizando que “a qualidade da água é um conceito relativo que depende diretamente do uso a que se destina seja este para balneabilidade, consumo humano, irrigação, transporte e manutenção da vida aquática. Para cada um dos usos existe um padrão de qualidade especificado pela legislação”.

É interessante assinalar em relação a contaminação que, por sua vez, altera a qualidade da água que, de acordo com Braga et al. (2002, p.73), “A contaminação de mananciais impede seu uso para abastecimento humano entre outros. A alteração da qualidade da água agrava o problema da escassez desse recurso”.

Os conceitos de qualidade da água e poluição estão comumente interligados. A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas que são capazes de refletir direta ou indiretamente a presença efetiva ou potencial de algumas substâncias ou microorganismos que possam comprometer seu uso. A poluição de um meio aquático pode causar alterações das características físicas – turbidez, cor, temperatura, viscosidade, tensão superficial e outros; ou química – DBO, DQO, pH, força iônica, oxigênio dissolvido, nutrientes etc., e biológicas – eliminações de espécies de fitoplâncton e zooplâncton (BRANCO, 1991 apud FARIAS, 2006, p. 08).

Levando em consideração as inferências de Branco (1991) como embasamento teórico e conceitual é que a presente pesquisa buscou para se identificar a situação da qualidade do Rio Paraíba do Meio um estudo baseado em análise de laboratório de amostras coletadas com a finalidade de se determinar variados parâmetros físicos e químicos.

2.1.2 Importância do estudo dos parâmetros físico-químicos e o CONAMA

Para compreender a qualidade da água do Rio Paraíba do Meio foram determinadas variáveis/parâmetros físicos e químicos. São elas: Clorofila a, Silício, Turbidez, pH, Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido, Salinidade, Sólidos Totais em Suspensão (TSS), Saturação de Oxigênio e Temperatura. A discussão conceitual a respeito desses parâmetros está detalhada juntamente com os resultados dos mesmos ao longo do trabalho. Neste subtópico foi discutido apenas a importância de tais parâmetros para se determinar e mensurar a qualidade

da água de ecossistema aquático, bem como falar da importância do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) enquanto instrumento legal que estabelece diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água.

Cada parâmetro, seja físico ou químico, tem uma importância fundamental como indicador do processo de caracterização da qualidade da água e os mesmos podem constituir impurezas quando ocorre a extrapolação dos níveis permitidos para o processo de apropriação e uso. A água vai conter diversos componentes em sua composição química e física, podem ser naturais e também resultados de atividades humanas. Análises em laboratório podem não apenas qualificar, mas também quantificar, por meio de cada parâmetro, os componentes que conjuntamente integram e caracterizam um corpo d'água.

É neste sentido que, no Brasil, tem-se a Resolução do CONAMA nº 357, de 17 de Março de 2005. Ela 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.

Para Souza et al. (2014, p. 30) “a política normativa nacional de uso da água, como consta na resolução do CONAMA nº 357, procurou estabelecer parâmetros que definem limites aceitáveis de elementos estranhos, considerando os seus diferentes usos”. O mesmo autor ainda corrobora dizendo que

Os padrões de qualidade da água variam para cada tipo de uso preponderante. Desta forma, os padrões de potabilidade são diferentes dos de balneabilidade, que por sua vez, são diferentes aos estabelecidos para a água de irrigação ou destinada ao uso industrial. A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, sendo que o enquadramento de um rio em determinada classe se dá em função do uso que se pretende fazer da água. Assim o estabelecimento de uma classe de qualidade requer um conhecimento das condições físicas, químicas e biológicas de suas águas. (SOUZA et al., 2014, p. 30)

Acrescentando que conforme frisa Nogueira, Costa e Pereira (2015, p. 13)

Existem diversas maneiras de se avaliar a qualidade da água nos corpos hídricos, dentre elas as análises físico-químicas se destacam e são largamente utilizadas como parâmetros indicadores da qualidade, sendo a resolução CONAMA 357/2005 a normativa utilizada neste projeto para comparar os resultados obtidos nas análises aos que devem ser seguidos por lei. (NOGUEIRA, COSTA e PEREIRA, 2015, p. 13)

Essa conjuntura ajuda no processo de monitoramento da qualidade da água. Sendo assim, vale salientar as palavras de Guedes et al. (2012) apud Nogueira, Costa e Pereira (2015, p. 13)

O monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos, visto que funciona como um sensor que possibilita o acompanhamento do processo de uso dos corpos hídricos, apresentando seus efeitos sobre as características qualitativas das águas, visando subsidiar as ações de controle ambiental. (GUEDES et al., 2012 apud NOGUEIRA, COSTA e PEREIRA, 2015, p. 13)

Portanto, a resolução supracitada considera os ecossistemas aquáticos mediante o seu nível de qualidade. Isso acaba por garantir que esse recurso natural esteja propício para consumo e se encontre dentro do padrão para consumo humano. O CONAMA enquanto órgão considera que o controle da poluição está intrinsecamente relacionado com a melhoria da qualidade de vida e um meio ambiente saudável.

2.2 Gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil: uma abordagem crítica e reflexiva

Antes de fazer uma abordagem crítica e reflexiva acerca do gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil se faz necessário iniciar a presente discussão pontuando o que é o gerenciamento em linhas gerais e, sobretudo, qual sua importância no processo de conservação e preservação da água enquanto recurso.

Quando se fala em gestão de recursos hídricos é fundamental entender que a mesma refere-se a um conjunto de iniciativas que tem como foco primordial os seguintes pilares: regular, controlar e proteger os recursos hídricos, sendo tal objetivo balizado em normas da legislação vigente.

Já foi discutida anteriormente a importância da água para manutenção da vida no planeta, contudo, é preciso ressaltar que, do ponto de vista político, a água também se vislumbra como um bem público e, neste sentido, mesmo sendo passível de exploração comercialmente, por exemplo, ela deve estar em condições ideais de potabilidade. Os aspectos ambientais, políticos, sociais, econômicos, históricos e geográficos que caracterizam esse recurso não apenas o torna carente de um processo estruturado e engenhoso em termos de gerenciamento, mas, sobretudo, complexo. Esta complexidade deve ser superada, por exemplo, por meio do alinhamento entre o conhecimento científico e o tecnológico visando enfrentar os desafios que são expressivos.

O gerenciamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas deve ser feito pelo poder público, sociedade civil e usuários de água visando à melhoria na gestão das águas e de forma descentralizada, tendo como instrumento norteador o plano de recursos hídricos, o qual visa à compatibilização do uso da água, controle e proteção dos recursos hídricos e o atendimento das

demandas de água com foco no desenvolvimento sustentável; o equilíbrio entre oferta e demanda de água visando assegurar as disponibilidades hídricas em quantidade, qualidade e confiabilidade adequada aos usuários; orientação do uso dos recursos hídricos por meio de processo interativo e participativo, considerando variações do ciclo hidrológico e dos cenários de desenvolvimento (SETTI et al., 2000, p. 82).

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) (2011) “a gestão integrada dos recursos hídricos deve ser adequada às diversidades físicas, bióticas, demográficas, sociais e culturais das diversas regiões e, em nenhuma hipótese, ficar dissociada dos aspectos de quantidade e qualidade das águas”.

Nos últimos 20 anos vários pesquisadores de diversas áreas de conhecimento como também as Instituições públicas e privadas têm dado mais atenção na gestão integrada das águas. Uma das grandes causas desta opção é a necessidade de fazer uma gestão tanto urbana como regional, obedecendo-se às configurações do suporte físico ambiental, por onde as águas percorrem ultrapassando os limites e as fronteiras políticas, ou seja, as poluições geradas à montante sempre percorreram até a jusante, com efluentes muitas vezes degradando solos, assoreando os rios e diminuindo a qualidade da água. (GONÇALVES, 2008, p. 57)

As contribuições de Gonçalves (2008) remete ao presente estudo de caso, pois o rio Paraíba do Meio é uma bacia que abrange dois estados brasileiros, a saber: Pernambuco e Alagoas. Para o processo de recuperação e ações voltadas a melhoria da qualidade da água e, sobretudo, o monitoramento, é fundamental um processo de gestão integrada que ultrapasse as fronteiras estaduais.

Em relação a gestão dos recursos hídricos, Alves e Mendes (2011, p. 430) ressaltam que “essa situação é particularmente sensível. Disputas em torno da outorga, cobrança pelo uso da água, uso compartilhado do recurso, preservação das fontes são algumas das questões às quais as organizações estão confrontadas”.

Alves e Mendes (2011, p.431) ainda corroboram discutindo acerca da gestão dos recursos hídricos e gestão do meio ambiente, dizendo que

A gestão da água, articulando as perspectivas da gestão do meio ambiente e da gestão dos recursos hídricos – distintas, mas complementares –, busca um equilíbrio possível entre uma visão de caráter preservacionista e outra com ênfase mais utilitária. Há um contínuo entre um extremo e outro, cabendo a cada sociedade encontrar o seu ponto de equilíbrio. (ALVES e MENDES, 2011, p.431)

E complementa dizendo que

Em termos práticos, os sistemas de gestão dependem de instrumentos que possam ser desenvolvidos e aplicados de forma a atender às expectativas e desejos da comunidade, nos limites impostos pela aptidão natural das bacias hidrográficas, seja na perspectiva mais utilitarista, seja para o atendimento de objetivos de preservação ambiental, idealmente na medida equilibrada que é requerida para a garantia da sustentabilidade, a médio e longo prazo. (ALVES e MENDES, 2011, p.431)

Diante dessas considerações conceituais e reflexivas relacionadas ao Gerenciamento dos Recursos Hídricos, antes de detalhar sobre como se estrutura e se desenvolve o gerenciamento no Brasil é fundamental pontuar que a Bacia Hidrográfica é considerada a unidade territorial para o gerenciamento. E mais, vários autores e pesquisadores brasileiros se utilizam do conceito de bacia hidrográfica aplicando-o em pesquisas, conservação, planejamento, educação ambiental, dentre outros.

Com relação ao gerenciamento de recursos hídricos, o Brasil adotou a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e promoveu a descentralização e a participação social no processo de gestão por meio da criação dos Comitês de Bacias Hidrográficas através da Lei 9433/1997, conhecida como Lei das Águas. (SOUZA et al., 2014, p. 29)

Falando sobre a utilização do conceito de bacia hidrográfica e atrelando a isso a necessidade de uma visão sistêmica, Rodriguez, Silva e Leal (2011, p. 29) diz que

A análise da bacia a partir da visão sistêmica é válida porque a tarefa consiste em compreender e considerar as relações de arranjo espacial e temporal do papel da água como recurso indispensável no funcionamento da biosfera ou esfera geográfica, uma vez que, esses nexos ocorrem devido às interações espaciais entre a distribuição da água, o clima, a geologia e o relevo, formando, de maneira articulada, um conjunto ambiental completo constituindo o espaço e a paisagem natural. (RODRIGUEZ, SILVA e LEAL, 2011, p. 29)

É importante trazer as contribuições de Gonçalves (2008) quando discute sobre as limitações na adoção da gestão a partir do conceito de bacia hidrográfica e, por conseguinte, traz o conceito de “bacia social” e a influência da Morfologia Urbano Regional como um caminho eficaz e alternativo no gerenciamento dos recursos hídricos.

Para Gonçalves (2008, p. 65),

Há aspectos positivos quando se toma a bacia hidrográfica como uma unidade de gerenciamento, principalmente pela possibilidade da evolução do conceito de participação, integração e cooperação entre os municípios. Entretanto, dependendo da região, há outros fatores que influem na forma de gerenciamento. (GONÇALVES, 2008, p. 65)

Neste sentido, Kemper (1997) apud Leal (2003, p. 74) corrobora dizendo que

Torna-se mais adequado adotar o “conceito de bacia social” como ponto de partida e que permite que sejam levados em consideração os interesses dos atores locais e que seus interesses e incentivos sejam relacionados ao ambiente natural. Essa abordagem facilita a análise das relações entre os sistemas sócios - econômicos e, naturais e aumenta as chances para que sejam criados arranjos institucionais que visem à gestão do meio ambiente. (KEMPER, 1997 apud LEAL, 2003, p.74).

Contudo, Leal (2003, p. 75) enfatiza os aspectos positivos concernentes a gestão dos recursos hídricos apoiado no conceito de bacia hidrográfica:

a) amplas possibilidades de mobilização social, especialmente na defesa da água; b) a articulação de diferentes instituições para atuação em ações integradas, incluindo o planejamento voltado ao desenvolvimento sustentável; c) a facilidade de avaliação de resultados das ações de gerenciamento diretamente na qualidade e quantidade de água; d) desenvolvimento de amplo processo educativo baseado nas premissas da Educação Ambiental, tendo as bacias hidrográficas com recorte territorial e temático para educação da comunidade em geral e dos gestores de recursos hídricos em particular. (LEAL, 2003, p. 75).

Desse modo, discutida as implicações da bacia hidrográfica como unidade territorial no processo de gestão dos recursos hídricos é fundamental compreender como tal gestão é explicitada por intermédio legal e os órgãos que integram esse sistema de gerenciamento.

No Brasil, existem duas políticas nacionais que abordam, primordialmente, acerca da gestão ambiental e a de recursos hídricos. São elas, a saber: a Política Nacional de Meio Ambiente (Lei Federal n.º 6.938/81) e a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal n.º 9.433/97). De acordo com Alves e Mendes (2011, p.433), a primeira caracteriza-se “por uma abordagem via Comando e Controle, com base em instrumentos normativos”. Logo, a segunda “institucionaliza a gestão participativa, incluindo, ainda, instrumentos econômicos e mecanismos mais flexíveis de gestão”.

Para realização prática dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos e coordenar a gestão integrada desses recursos é que foi criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). A figura 2 abaixo detalha a estruturação desse sistema.

Componentes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

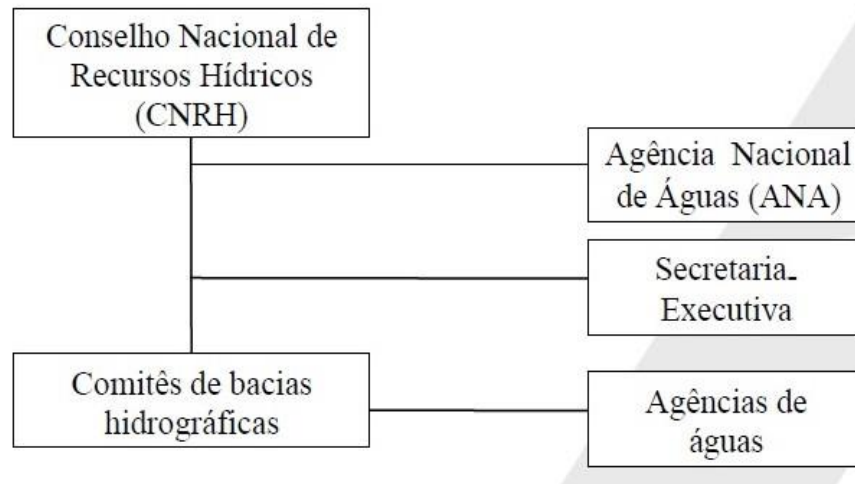


Figura 2 - Esquema explicativo dos componentes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) faz parte da estrutura do Ministério do Meio Ambiente (MMA) sendo considerado, no que se refere aos recursos hídricos, a sua instância decisória mais elevada. A Agência Nacional de Águas (ANA) é responsável pela implementação da gestão dos recursos hídricos brasileiros. Os Comitês de Bacia Hidrográfica têm como área de atuação a totalidade de uma bacia hidrográfica e suas sub-bacias. Acrescentando que os Comitês devem em sua área de atuação promover o debate em relação aos diversos aspectos relacionados aos recursos hídricos, bem como articular a atuação das entidades intervenientes, aprovar o plano de recursos hídricos da bacia, estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados. (COSTA e PERIN, 2004, p. 363)

2.2.1 A gestão dos recursos hídricos em Alagoas

Em âmbito estadual, especificamente em Alagoas tem-se a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH). Atrelado a essa secretaria está o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) que é um órgão colegiado de caráter consultivo e deliberativo, integrante do Sistema Estadual de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, de última instância estadual de decisão, composto de representantes dos poderes públicos, dos usuários das águas e da sociedade civil organizada. Foi instituído pela lei Nº 5.965 de 10 de novembro de 1997 e regulamentado pelos decretos Nº 37.784 de 22 de Outubro de 1998 e Nº 658 de 17 de Maio de 2002. É um órgão de deliberação coletiva e normativa encarregado da

formulação e acompanhamento da execução da política de conservação, preservação, utilização e aproveitamento dos recursos hídricos no Estado de Alagoas.

No que se refere aos Comitês de Bacias, em Alagoas são estruturados em 5 comitês. São eles: Comitê da Bacia da Região Hidrográfica Piauí; Comitê da Bacia da Região Hidrográfica São Miguel; Comitê da Bacia da Região Hidrográfica Pratagy; Comitê da Bacia da Região Hidrográfica Coruripe; Comitê da Bacia da Região Hidrográfica CELMM.

Existe em Alagoas também o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FERH). O mesmo foi criado pela Lei 5.965 de 10 de novembro de 1997 e regulamentado pelo Decreto n°. 532 de 06.02.2002, com a finalidade de captar, gerir e aplicar recursos financeiros para a implantação e o desenvolvimento da Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como as ações de suporte e investimentos necessários ao gerenciamento, manutenção e monitoramento dos recursos hídricos.

Portanto, foi possível compreender a importância do gerenciamento dos recursos hídricos afim de preservar, conservar e proteger, sobretudo, a qualidade da água. A discussão apresentou uma gama de órgãos e legislações que atuam no intuito de garantir que esse importante recurso natural não seja degradado. Contudo, no presente trabalho, estão detalhados todos os aspectos que caracterizam uma situação de degradação ambiental, sobretudo histórica, preocupante no Rio Paraíba do Meio, tais como: eutrofização, desmatamento da mata ciliar, ocupação irregular nas vertentes do rio, falta de esgotamento sanitário, dentre outros.

A situação ambiental do rio Paraíba do Meio é desconexo, em termos de objetividade prática, do que é tido como prerrogativa de órgãos ambientais competentes e do que é posto na legislação. Desse modo, levando em consideração toda essa discussão e reflexão crítica e conceitual sobre o gerenciamento dos recursos hídricos, faz-se necessário inferir os seguintes questionamentos: o poder público tem dado apoio, investimento e suporte material e técnico suficiente para os órgãos ambientais competentes atuarem no processo de fiscalização da ação antrópica que degrada os recursos hídricos do rio Paraíba do Meio? Ao longo do tempo em que ocorreu a geração de um elenco de problemas ambientais na bacia do rio Paraíba o que foi feito por esses órgãos? A integração possibilitada pelo modelo de gerenciamento adotado no Brasil está dando certo de fato? As demandas relacionadas a problemática da água é maior que a demanda de técnicos dos órgãos competentes? A legislação existente está sendo colocada em prática ou a mesma está engavetada? O poder legislativo tem feito o que para cobrar a aplicabilidade prática da legislação vigente?

2.3 Eutrofização em ecossistemas aquáticos

A presente pesquisa tem como foco de estudo científico a avaliação da qualidade da água do Rio Paraíba do Meio e, nesse contexto, a eutrofização é posta como fenômeno primordial para se compreender a situação do referido ecossistema aquático por intermédio do Índice de Estado Trófico (IET).

No Brasil, e na maioria dos países em desenvolvimento, a maior parte do esgoto bruto é lançada sem nenhum tratamento prévio nos cursos de água. Esse grande aporte de matéria orgânica e poluentes tem sido relatado como o principal responsável pela eutrofização de uma grande variedade de ambientes aquáticos, gerando preocupação crescente pelo alto grau de poluição e contaminação em que se encontram, atualmente, lagos e outros ambientes continentais (TUNDISI, 2003, p. 56).

Segundo Macedo e Tavares (2010, p. 150)

Os corpos de água são utilizados de várias maneiras e diversos fins, como abastecimento de água, irrigação de lavouras, lazer e despejo de águas residuais brutas, sendo a eutrofização uma das principais modificações provocadas pelo homem, geralmente pelo aporte excessivo de nutrientes nos ambientes aquáticos. (MACEDO e TAVARES, 2010, p. 150)

Raven et al. (2007, p. 48) apud Souza, Mello e Seixas Filho (2014, p. 46) corrobora dizendo que “a eutrofização pode ser definida como o crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, a níveis tais que sejam consideradas como causadoras de interferências com os usos desejáveis de corpos d’águas lacustres ou marinhos”.

A eutrofização consiste no aumento excessivo de nutrientes na água, podendo ser causada por drenagem de fertilizantes agrícolas, águas pluviais de cidades, detergentes, resíduos de minas, drenagem de dejetos humanos, entre outros. De acordo com SMITH & SCHINDLER (2009), a palavra eutrófico significa rico em nutrientes e eutrofização ou eutroficação vem do grego *eu*, “bem” e *trophein* “nutrir” ou seja: bem nutrido. (BARRETO, et al., 2013, p. 2168)

Tal fenômeno pode ser natural ou artificial, sendo um processo lento e contínuo, resultante do aporte de nutrientes trazidos pelas chuvas e águas superficiais que desgastam e lavam a superfície terrestre. Em condição natural, sem que haja interferência das atividades humanas, lagos profundos e com baixa produtividade biológica sofrem processo de transformação, tornando-se rasos, com alta produtividade biológica e enriquecidos por nutrientes. No entanto, a velocidade de desenvolvimento do processo de eutrofização natural é

bastante lenta, ocorrendo em função do tempo (WETZEL, 1983; MARGALEF, 1983; SCHIEWER, 1998 apud MACEDO e TAVARES, 2010, p. 150).

Em relação a eutrofização cultural, artificial ou antrópica, Macedo e Tavares (2010, p. 150) contribuem dizendo que “é induzida pelo homem e pode ter diferentes origens, como: efluentes domésticos, industriais e atividades agrícolas, incluindo ainda os efluentes de sistemas de criação de organismos aquáticos”.

Em geral, os corpos hídricos possuem capacidade natural de responder ao aporte de matéria orgânica e nutrientes através do processo de autodepuração, que conta com a ação decompositora de microorganismos e consequente consumo de oxigênio dissolvido na água (Derísio, 2007). No entanto, o lançamento excessivo de nutrientes pode alterar o metabolismo natural dos ecossistemas, que passam a receber e produzir uma quantidade de matéria orgânica além da sua capacidade de decomposição e assimilação. (KAHAN e ANSARI, 2005 apud ALMADA, 2018, p. 15).

Um aspecto muito importante na diferenciação do processo de eutrofização natural e cultural é que o primeiro, em termos de velocidade e avanço em seus respectivos estágios, é lento. O segundo, com participação antrópica e com um rol de contribuição devido atividades humanas, é considerado rápido. Na figura 3 tem-se um esquema explicativo que demonstra como se comporta o avanço dos estágios de eutrofização, comparando o fenômeno do tipo natural e artificial e, por conseguinte, demonstra que o primeiro pode demorar séculos, logo, o segundo, décadas.

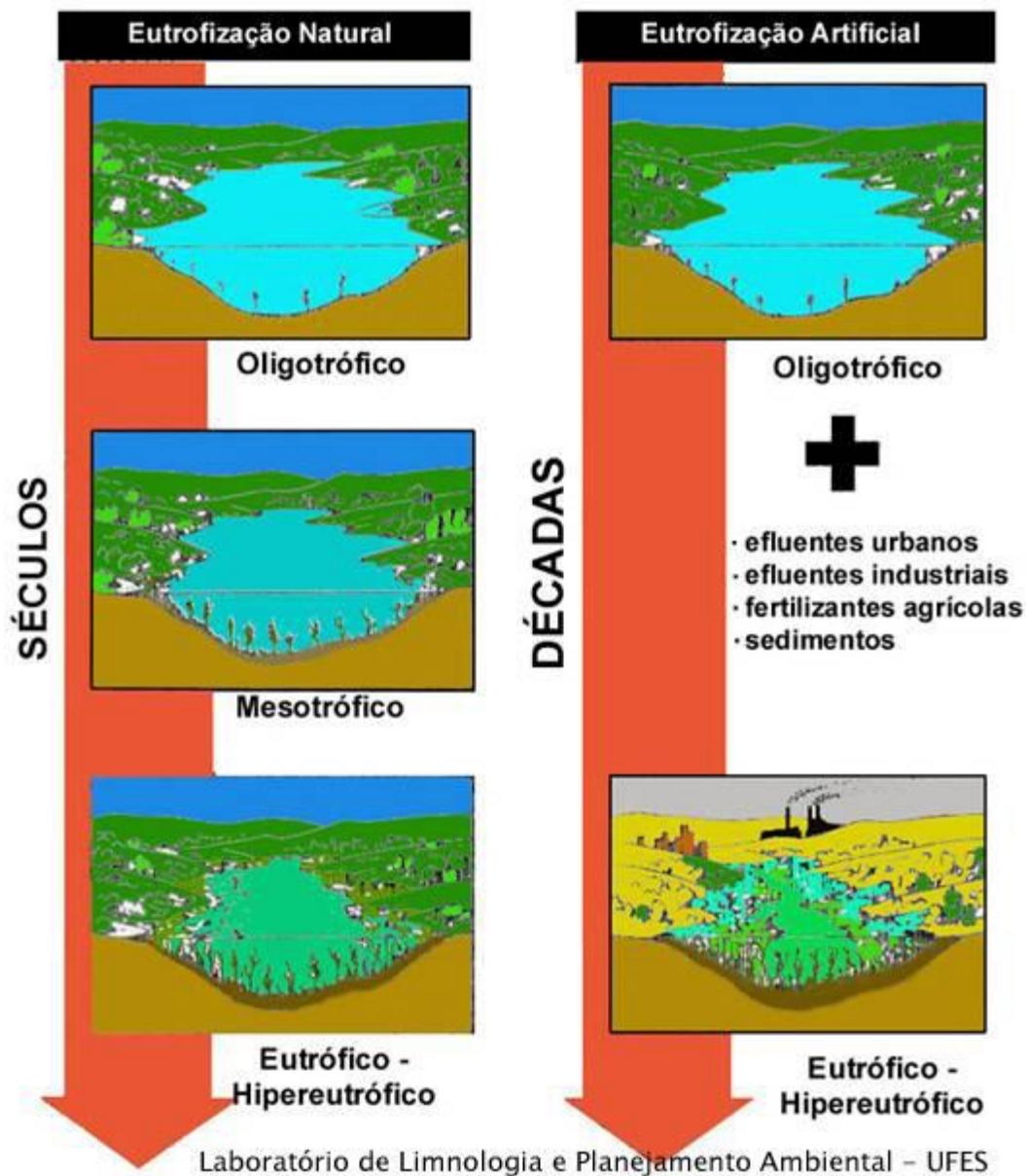


Figura 3 - Diferença entre o processo de eutrofização natural e o resultante da atividade humana. Elaboração: Laboratório de Limnologia e Planejamento Ambiental da UFES. Fonte: <https://descobrindoomar.wordpress.com> (2012) / SOUZA, MELO e FILHO (2014).

Ainda falando sobre o tempo de avanço de estágios da eutrofização em um ecossistema aquático, Wetzel (1993) apud Rivera (2003, p. 05) infere que

A eutrofização é um dos estados da sucessão natural dos ecossistemas aquáticos. À medida que o tempo passa e os nutrientes vão se acumulando, havendo um desenvolvimento cada vez maior das populações de fitoplâncton, observa-se com frequência o florescimento de algas. Quando acontece naturalmente, a eutrofização é gradual e muito lenta (demora muitas dezenas de anos a estabelecer-se). (WETZEL, 1993 apud RIVERA, 2003, p. 05)

Contudo, quando o fenômeno ocorre com a atuação antrópica a tendência é o rompimento do chamado equilíbrio ecológico. Souza et al. (1993) apud Rivera (2003, p. 05)

contribui dizendo que quando “este processo é acelerado, há um aumento desordenado na produção de biomassa, impossibilitando a sua incorporação pelo sistema aquático com a mesma velocidade e provocando, assim, um desequilíbrio ecológico. Denomina-se este processo de eutrofização cultural”.

É nesse contexto que Esteves (1998, p. 207) fala sobre homeostasia. Segundo ele

A eutrofização artificial pode ser considerada como uma reação em cadeia de causas e efeitos bem evidentes, cuja característica principal é a quebra de estabilidade do ecossistema (homeostasia). A homeostasia em ecossistemas aquáticos caracteriza-se pelo equilíbrio existente entre a produção de matéria orgânica e o seu consumo e decomposição. Com o rompimento do estado de equilíbrio, devido à eutrofização artificial, o ecossistema passa a produzir mais matéria orgânica do que é capaz de consumir e decompor. Este desequilíbrio ecológico é acompanhado de profundas mudanças no metabolismo de todo o ecossistema. (ESTEVES, 1998, p. 207)

A eutrofização cultural é causada principalmente pelas seguintes atividades: despejos de esgotos domésticos; despejos de atividades agrícolas; poluição do ar e queda do material da atmosfera (sob a forma de partículas junto com a água de chuva); vegetação remanescente em represas não desmatadas antes do fechamento. As suas principais consequências nos sistemas aquáticos são: aumento da biomassa e da produção primária do fitoplâncton; diminuição de diversidade de espécies; diminuição da concentração de oxigênio dissolvido; diminuição na concentração de íons; aumento do fósforo total no sedimento; aumento da frequência do florescimento de cianofíceas (TUNDISI, 1986 apud RIVERA, 2003, p. 05). Na figura 4 tem-se um esquema relacional que demonstra os nutrientes geradores de eutrofização, as fontes e fatores que influenciam no processo de eutrofização.

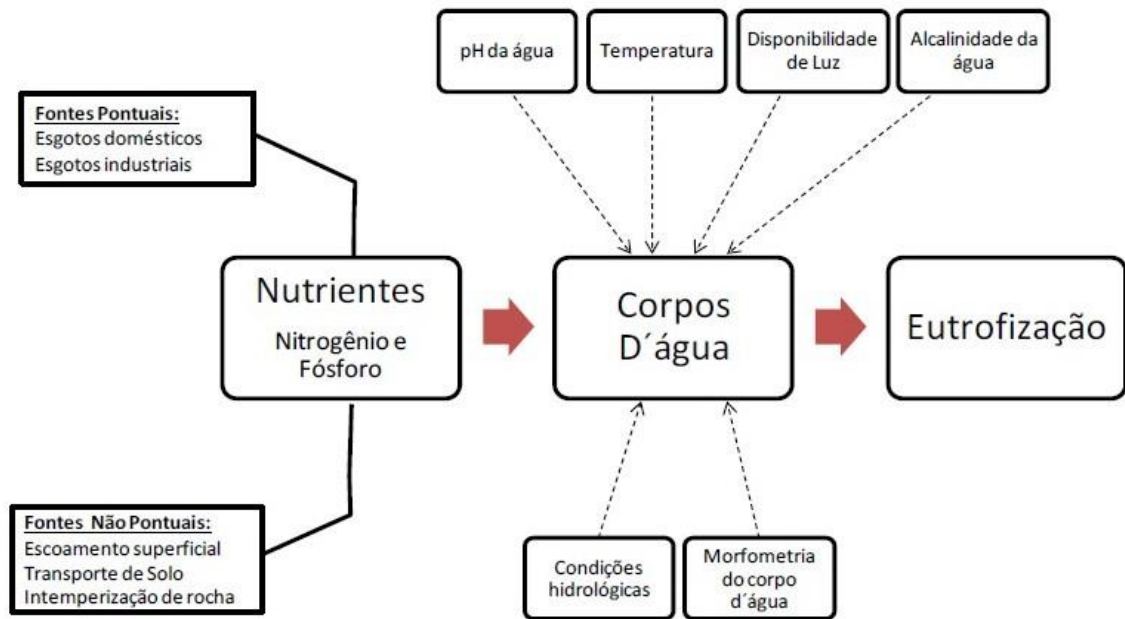


Figura 4 - Esquema explicativo: nutrientes geradores de eutrofização. Elaboração: Santos (2014).

É fundamental destacar que a concentração e enriquecimento de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) são os elementos químicos essenciais e influenciadores para o processo de eutrofização. Tais elementos são importantes para o funcionamento do ecossistema aquático, contudo, o aumento dos mesmos no meio aquático provoca o surgimento do fenômeno de eutrofização. Nitrogênio e Fósforo são considerados o principal fator de estímulo em termos de nível excessivo de nutrientes em um corpo d'água e isso se deve ao fato de os crescimento da produção primária no meio aquático está relacionada a utilização e conversão de nutrientes inorgânicos em orgânicos por meio do processo de fotossíntese do vegetação aquática. Buscou-se na referida pesquisa, por meio de coletas de água do Rio Paraíba do Meio, analisar em laboratório a concentração de Fósforo e Nitrogênio. Segundo Barreto et al. (2013, p. 2166)

O nitrogênio e o fósforo presentes nos rios e lagos são nutrientes de grande importância à cadeia alimentar, entretanto, quando descarregados em altas concentrações em águas superficiais e associados às boas condições de luminosidade provocam o enriquecimento do meio, fenômeno este denominado eutrofização. (BARRETO et al., 2013, p. 2166)

Levando em consideração tais nutrientes, ou seja, Nitrogênio e Fósforo, é preciso apontar o conceito de fator limitante de produtividade em um ecossistema aquático. Para Smith, Marie-Hélène e Tusseau-Vuillein (2001) apud Rivera (2003, p. 07)

A eutrofização dos corpos d'água depende principalmente das suas cargas de nutrientes. O conceito de limitação de nutrientes pode ser considerado a

chave da pesquisa da eutrofização. Com efeito, isto implica: (a) que um nutriente chave será o principal fator limitante para o crescimento de plantas em um dado ecossistema, (b) o crescimento de plantas em um dado ecossistema será proporcional à razão de fornecimento do nutriente e (c) que o controle da eutrofização será associado por restrição da carga deste nutriente para o ecossistema. (SMITH, MARIE-HÉLÈNE e TUSSEAU-VUILLEIN, 2001) apud RIVERA, 2003, p. 07)

Colaborando com essa discussão, Esteves (1998, p. 85) frisa que “na maioria das águas continentais o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade. Além disso, tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial destes ecossistemas”.

É preciso acrescentar, diante do que já foi discutido até aqui que existem fatores externos que podem atuar como elemento controlador do fenômeno da eutrofização, como por exemplo, a radiação solar e a temperatura da água. Desse modo, Monteiro (2004) apud Santos (2014, p. 20) detalham que

A radiação solar constitui a principal fonte energética responsável pela eutrofização, pois esta fornece energia para as reações fotossintéticas. Com o aumento da temperatura, aliada ao nível de nutrientes em excesso, o fitoplâncton tem melhores condições para o seu crescimento. Como resultado desse crescimento o nível de nutrientes baixa. Este mecanismo continua até que os nutrientes atingem um nível em que já não conseguem sustentar o crescimento do fitoplâncton. Nesta altura o crescimento do fitoplâncton cessa e observa-se um declínio, devido à ação predadora do zooplâncton. (MONTEIRO, 2004 apud SANTOS, 2014, p. 20).

Ainda contribuindo para questão dos fatores que contribuem para eutrofização, Reynolds (1998, p. 64) diz que “nem sempre a relação do estado trófico pode ser relacionada apenas com a disponibilidade de nutrientes, mas também a outros fatores, como morfometria e dinâmica da coluna d’água”.

Outro aspecto relacionado a eutrofização refere-se ao processo de decomposição da matéria orgânica que, devido ao excesso na superfície da água do meio aquático, ficando submersa na coluna d’água e não recebendo luz solar para realizar a fotossíntese, tais plantas aquáticas morrem e em seu processo de decomposição acabam por consumir significativa porcentagem de oxigênio dissolvido (parâmetro químico estudado no estudo de caso) no ecossistema e implica em prejuízos ao meio aquático. Acerca dessa questão, Santos (2014, p. 21) infere que

Essa matéria orgânica sofre um processo de decomposição que implica no consumo do oxigênio presente no meio, gerando um aumento da DBO. Esse processo libera nutrientes para o ambiente aquático, que são utilizados pelo fitoplâncton para o seu crescimento. A proliferação destes organismos forma uma camada densa na superfície (“tapetes verdes”) que impossibilita a entrada de luz na água e impede a realização da fotossíntese pelos

organismos presentes nas camadas mais profundas. Isso ocasiona a morte das algas que se encontram a uma maior profundidade, levando a uma nova proliferação de bactérias decompositoras e a um novo aumento do consumo de oxigênio por estes organismos. O esgotamento do oxigênio leva à morte por asfixia de peixes e outros organismos aeróbios. Enquanto isso, as bactérias recorrem à fermentação e respiração anaeróbia, produzindo gases tóxicos. Por fim, a mortandade dos organismos leva a uma nova inserção de matéria orgânica no ecossistema. (SANTOS, 2014, p. 21)

Contribuindo para esse aspecto discutido, Macedo e Tavares (2010, p. 150) dizem que a “taxa de decomposição e consumo de oxigênio pelos organismos podem ocasionar produção de metano e gás sulfídrico no sedimento. Entretanto, os nutrientes disponibilizados na coluna d’água contribuirão novamente para a produção fitoplanctônica”.

Souza, Mello e Seixas Filho (2014, p. 46) argumentam que o aumento da turbidez (parâmetro físico estudado na presente pesquisa) da água é também uma consequência do crescimento e multiplicação fitoplâncton:

O aumento da concentração de nutrientes favorece o crescimento e a multiplicação do fitoplâncton, o que provoca o aumento da turbidez da água. Por este motivo, a luz solar não chega às plantas que se encontram submersas, não ocorrendo fotossíntese. O desaparecimento da vegetação aquática submersa acarreta, então, a perda de alimento, habitats e oxigênio dissolvido. (SOUZA, MELLO e SEIXAS FILHO, 2014, p. 46)

Ainda sobre a turbidez e diminuição da concentração de oxigênio no ecossistema aquático, Oliveira (2004) apud Almada (2018, p. 15) infere que

O aumento da produtividade e da biomassa fitoplanctônica e de macrófitas aquáticas, levando à maior turbidez da água e à diminuição da diversidade específica. Outro agravante é o aumento da concentração de matéria orgânica morta que se deposita no fundo e promove o consumo excessivo de oxigênio devido à ação de organismos heterotróficos, o que pode resultar em condições de anaerobiose dos corpos hídricos (OLIVEIRA, 2004 apud ALMADA, 2018, p. 15).

Um elemento importante que deve ser levado em consideração frente a questão do enriquecimento de fósforo e nitrogênio deve ser a influência da precipitação pluviométrica nas cargas supracitadas. Para Santos (2014, p. 20) “em relação às condições hidrológicas, em períodos de chuvas os corpos d’água registram volumes maiores e, portanto tem maior potencial de diluir eventuais cargas”. É neste sentido que a presente pesquisa traz uma série histórica de vazão do Rio Paraíba do Meio para se poder compreender o papel desempenhado pela pluviosidade no estado trófico do rio.

A presente pesquisa também traz em seus resultados uma discussão relacionada a influência que os efluentes domésticos possuem no processo de eutrofização do Rio Paraíba do Meio e para isso contribui detalhando a situação do esgotamento sanitário dos municípios

que fazem parte da bacia e mostrando a ineficiência do poder público no que se refere ao saneamento básico do meio urbano, visto que os esgotos domésticos e industriais são a principal fonte de fósforo. Essa questão é interessante porque o crescimento desordenado, sem planejamento das cidades brasileiras levam inevitavelmente a esse patamar. Para se ter uma ideia, Barreto et al. (2013, p. 2176) destaca que

De norte a sul do Brasil são observados inúmeros casos de rios com altos níveis de trofia, o que ocorre principalmente devido aos lançamentos de esgotos domésticos e às águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas, que provocam a entrada excessiva de fósforo em águas naturais. Além do esgoto sanitário, outros tipos de efluentes industriais como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, podem ser responsáveis pela alta quantidade de fósforo em corpos de água. (BARRETO et al., 2013, p. 2176)

Ainda sobre esse aspecto Neto e Ferreira (2007, p. 46) continua dizendo que

O crescimento populacional e as atividades humanas têm se despontado como os maiores responsáveis pela poluição do meio aquático. Os rios se tornaram ao longo dos anos depositários de rejeitos e resíduos de diversas formas: os esgotos domésticos e as águas residuárias provenientes de atividades pecuárias contribuem com elevadas cargas orgânicas; as indústrias com uma série de compostos sintéticos e elementos químicos potencialmente tóxicos; e as atividades agrícolas com a contaminação por pesticidas e fertilizantes ricos em sais minerais. (NETO e FERREIRA, 2007, p. 46)

Portanto, o fenômeno da eutrofização é uma realidade preocupante e é necessário envolvimento de pesquisadores e agentes do poder público no intuito de tomar medidas preventivas e corretivas, via processo de gerenciamento dos recursos hídricos. O gerenciamento deve evitar, por exemplo, que um determinado rio chegue em estágio avançado de eutrofização onde há o aumento dos custos para tratamento. Esteves (1998, p. 215) pontua que “o estágio final do processo de eutrofização artificial é praticamente irreversível e, somente com o emprego de muita energia e capital, será evitado que o ecossistema se torne inútil para o homem”.

Variados problemas indesejáveis são provocados em um rio pelo fenômeno da eutrofização. Entre eles pode-se citar: problemas estéticos e recreacionais; condições anaeróbicas no meio aquático; eventuais mortandades de peixes ou diminuição da quantidade de biota aquática; significativa dificuldade e elevação nos custos de tratamento da água; redução da capacidade de navegação e transporte; dentre outros.

2.3.1 Modelo TRIX e sua importância na determinação do Estado Trófico

Existe na literatura científica vários modelos para se determinar o Estado Trófico de um ecossistema aquático. Por exemplo: Modelo Assets (metodologia integrada desenvolvida pela United States National Estuarine Eutrophication Assessment (NEEA) a qual combina esforços da National Oceanic and Atmospheric Administration dos Estados Unidos (NOAA) e o Instituto Português IMAR; Índice O' Boyle, Modelo TRIX.

Índices de estado trófico estabelecem critérios, numéricos ou normativos, auxiliando no estabelecimento de políticas de gerenciamento de corpos hídricos (LAMPARELLI, 2004). De acordo com USEPA (2000), critérios numéricos são vantajosos pelo fato de serem simples e objetivos e de mais fácil acompanhamento em programas ambientais de qualidade da água. A adoção de um índice para classificar o corpo d'água deve, ao máximo, contemplar os parâmetros que mais refletem a situação real do sistema. (SANTOS, 2015, p. 25)

Levando em consideração a importância de ferramentas de análise no processo de estudo do fenômeno de eutrofização, Painting *et al* (2007) apud Santos (2015, p. 25) discorre que

Em virtude da variabilidade sazonal dos processos ambientais que têm influência sobre o grau de eutrofização de um corpo hídrico, o processo de eutrofização pode apresentar variações no decorrer do ano, havendo épocas em que se desenvolve de forma mais intensa e outras em que pode ser mais limitado. Nesse contexto, ferramentas de análise são importantes para a preservação e gerenciamento dos recursos naturais, pois fornecem indicativos para a racionalização do seu uso e manejo. A análise ambiental a partir de ferramentas de avaliação ressalta a importância de se estabelecer relações entre fatores causais (nutrientes) e os efeitos diretos e indiretos da eutrofização (PAINTING *et al.*, 2007 apud SANTOS, 2015, p. 25).

O modelo TRIX é utilizado na referida pesquisa e aplicado em estudos relacionados ao processo de eutrofização no rio Paraíba do Meio. O mesmo foi proposto por Vollenweider *et al.* (1998). Ele se utilizou de uma série temporal que vai de 1982 a 1993, de dados coletados no Mar Adriático com o intuito de avaliar o estado trófico de águas marinhas. Os dados coletados em questão refletem um elenco de situações tróficas. Estas vão desde um ambiente eutrófico a um ambiente oligotrófico.

Um fator importante da escolha do Modelo TRIX é que ele objetiva uniformizar os critérios de classificação do referido grau de enriquecimento de nutrientes em ecossistemas marinhos e estuarinos e, sobretudo, evitar um erro muito comum: ambiguidades de terminologia.

O índice TRIX utiliza uma metodologia baseada em quatro parâmetros:

- Clorofila-a ($\mu\text{g.l}^{-1}$);
- Oxigênio dissolvido como desvio absoluto da saturação (aD%O);
- Nitrogênio inorgânico dissolvido ($\mu\text{g.l}^{-1}$);
- Fósforo inorgânico dissolvido ($\mu\text{g.l}^{-1}$).

Os dois primeiros refletem diretamente a produtividade (estado), enquanto os dois últimos são fatores nutricionais (pressão). Resumidamente, é considerado os seguintes componentes para o cálculo do índice trófico:

- Fatores que expressam diretamente a produção primária através da Clorofila-*a*: [mg.m^{-3}] e o oxigênio dissolvido como desvio absoluto [%] da saturação: [$\text{abs } |100 - \%O| = \text{aD}\%$].
- Fatores Nutricionais utilizando a variação do nitrogênio inorgânico dissolvido como N- ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$): [$\text{NID} = \text{mg.m}^{-3}$] e fósforo inorgânico dissolvido como P- PO_4 : [$\text{PO}_4 = \text{mg.m}^{-3}$].

Este índice trata-se de uma combinação linear logarítmica de quatro variáveis de estado onde agrega indicadores de pressão (nutrientes), resposta biológica (Cloro-*a* como proxy de biomassa fitoplanctônica) e distúrbio na qualidade da água (através do OD). (COTOVICZ JUNIOR, 2012, p. 56).

2.4 O estudo da concentração de carga de nutrientes

A presente pesquisa, como já foi abordado, tem como foco primordial o estudo da qualidade da água do Rio Paraíba do Meio. Os aspectos relacionados a concentração da carga de nutrientes é uma das ramificações desta pesquisa e, por sua vez, é fundamental destacar a importância do estudo dos aspectos supracitados.

Essa importância passa pela premissa de que os nutrientes, bem como os sedimentos em um ecossistema aquático, estão intimamente ligados à qualidade da água. O comportamento do fluxo de nutrientes tem relação não apenas com as dinâmicas hidrológicas, mas, sobretudo, com as atividades humanas.

Para Melo (2017, p. 32):

Os nutrientes de acordo com Chester & Riley (1989), são elementos envolvidos funcionalmente no processo de vida dos organismos, encontram-se dissolvidos na água e são considerados limitantes à produtividade primária. Entre os principais nutrientes inorgânicos dissolvidos presentes em corpos d'água destaca-se o nitrogênio (NID= amônio + nitrito + nitrato), fosfato e silicato, os quais possibilitam o desenvolvimento dos organismos fitoplanctônicos. (MELO, 2017, p. 32)

Segundo Troussellier et al. (2004) apud Melo (2017, p. 32),

Os nutrientes podem ser considerados como elementos importantes à manutenção da produtividade dos corpos hídricos, porém a origem (natural ou antrópica) e a quantidade de nutrientes carregados pelos rios influenciam na produção do ecossistema podendo acarretar severos processos de eutrofização (TROUSSELLIER et al., 2004 apud MELO, 2017, p. 32).

Eschrique (2011, p. 02) contribui falando do papel fundamental desempenhado pelos nutrientes no processo de formação de matéria orgânica nos seres vivos:

Os nutrientes principais são constituintes essenciais envolvidos no processo de formação de matéria orgânica nos seres vivos, iniciando-se nos produtores primários, no caso de sistemas aquáticos - o fitoplâncton, chegando até ao organismo de topo da cadeia alimentar. Ao longo desta cadeia há uma transferência de nutrientes no sentido dos produtores para os consumidores, sendo que este ciclo se fecha com o retorno dos nutrientes aos produtores, possibilitado pelos decompositores que transformam a matéria orgânica dos organismos mortos e de excrementos em compostos mais simples. (ESCHRIQUE, 2011, p. 02)

As alterações nos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes podem ser avaliadas pelo grande aporte de nutrientes ao sistema e pela distribuição de suas especiações químicas. Um aumento excessivo na disponibilidade dos nutrientes principais (N e P) pode provocar processos de eutrofização, comuns em muitas áreas costeiras atualmente. Porém, em alguns casos, os nutrientes podem ser aprisionados no compartimento sedimentar, de forma que a coluna de água não demonstre um impacto ambiental importante. (ESCHRIQUE, 2011, p. 02)

É nesse contexto que Magalhães (2017, p. 03) frisa que

A química da água e o fluxo de nutrientes refletem os processos hidrológicos e biogeoquímicos que ocorrem na bacia hidrográfica e no interior dos canais (Andrade et al., 2011) sofrendo também influência da variabilidade da paisagem, onde ações antrópicas, como na mudança do uso da terra, podem intensificar o fluxo e a concentração de sedimentos e nutrientes na água dos rios. (MAGALÃES, 2017, p. 03)

Portanto, estudar a concentração e fluxo de nutrientes é um importante elemento para se compreender a qualidade da água de um corpo d'água. Esta inferência é levada em consideração e, desse modo, a concentração e fluxo de nutrientes do Rio Paraíba do Meio é um dos vieses da presente pesquisa. Um aspecto relevante e que deve ser considerado refere-

se ao fato de compreender a importância dos nutrientes transportados por um rio no enriquecimento desses mesmos nutrientes para o ambiente costeiro. É neste sentido que esta pesquisa contribui para este debate científico, pois o Rio Paraíba do Meio desemboca no município de Pilar – Alagoas e, por conseguinte, no Complexo Lagunar Mundaú-Manguaba.

3 CARACTERIZAÇÃO DE ÁREA

3.1 Localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio

Seguindo a linha de raciocínio geográfico faz-se necessário realizar uma abordagem de localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio no contexto nacional-regional-estadual, isto é, valendo-se do conceito de Escala Geográfica, muito utilizado em pesquisas dentro do âmbito da Geografia. Desse modo, tem-se o fato de que o Brasil possui um total de 12 regiões hidrográficas em seu vasto território de 8.515.767,049 km² (IBGE), conforme figura 5 abaixo.

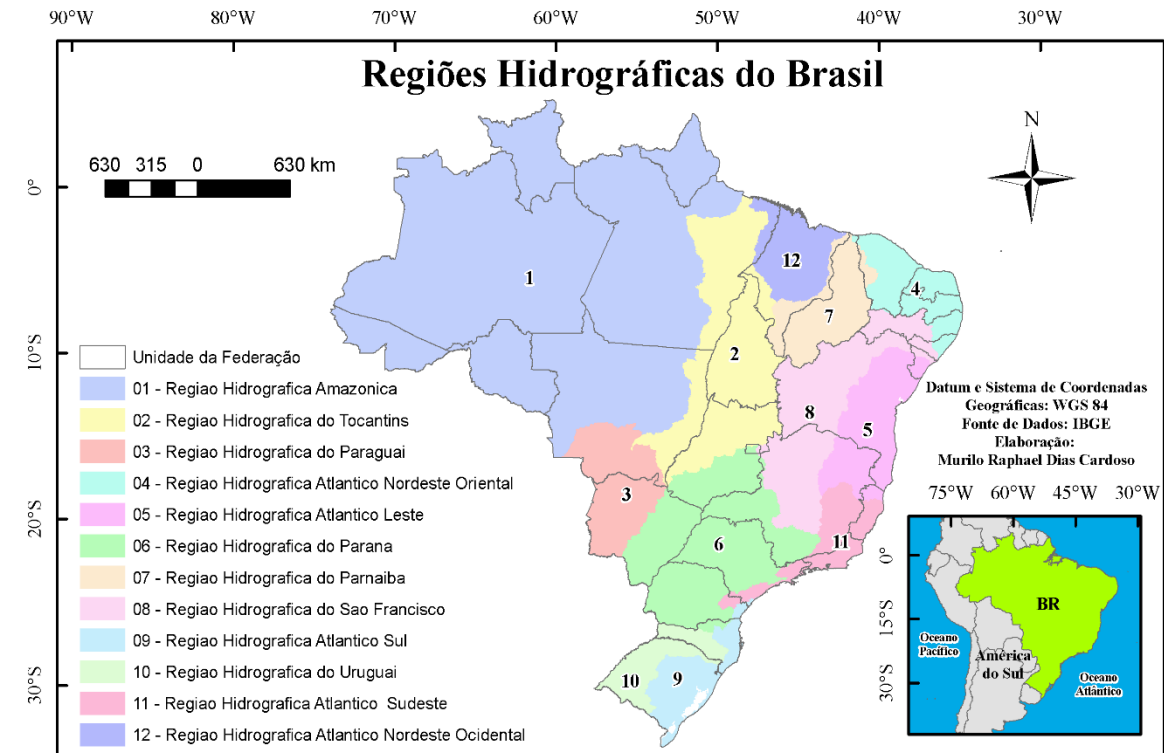


Figura 5 - Mapa das Regiões Hidrográficas do Brasil. Fonte: IBGE, 2015.

Dessas 12 regiões hidrográficas a bacia do Rio Paraíba do Meio faz parte da região conhecida como Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental – enumerada na figura acima como região 04. Segundo a ANA (2015) esta RH está dividida em treze unidades hidrográficas: Aracaú; Apodi Mossoró; Curu; Jaguaribe; Litorânea PE/PB/RN; Litorânea AL/PE; Litorânea CE; Litorânea CE/PI; Litorânea CE/RN; Litorânea PB/RN; Litorânea PE; Litorânea RN e Piranhas. Os principais rios da região são o Jaguaribe, Piranhas, Aracaú, Banabuiú, Paraíba, Ipojuca, Una, Apodi e Capibaribe. Os rios Jaguaribe e o Piranhas Açu abrigam os principais açudes da região.

Essa região possui uma área de cerca de 286.800 km² (3,4% do território nacional), abrangendo 874 municípios (destes, 739 possuem suas sedes na RH) e 6 Unidades da Federação: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas.

Segundo dados do Inmet, citados em um documento da ANA intitulado “Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial”, a precipitação média anual na RH é de 1.052 mm, abaixo da média nacional, de 1.761 mm. A disponibilidade hídrica superficial, considerando a vazão regularizada pelos reservatórios da região, é de 91,5 m³/s, o que corresponde a 0,1% da disponibilidade superficial do país (91.071 m³/s). A vazão média da RH é de 774 m³/s, correspondendo a 0,43% da vazão média nacional (179.516 m³/s) e a vazão de retirada (demanda total) é 262 m³/s (11% da demanda nacional). A RH possui uma vazão específica de 2,7 L/s/km² e um volume máximo de reservação per capita de 1.080 m³/hab., cerca de 3 vezes menor do que o volume máximo de reservação per capita para o país (3.607m³/hab.).

De acordo com seu Plano Diretor de Recursos Hídricos (PDRH) (1997), a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio possui uma área total de 3.127,83 km² e está compreendida nos Estados de Alagoas e Pernambuco, tendo um perímetro de 478 Km. Neste sentido, 37,6 % da bacia correspondente a 1.175,33 km² que se localizam no Estado de Pernambuco, e a maior parte da bacia se encontra no território alagoano com uma área correspondente a 1.952,5 km² (62% do total).

A localização geográfica (conforme figura 6) da bacia encontra-se entre os paralelos 08°44' e 09°39' de latitude Sul e entre os meridianos 35°45' e 36°45' de longitude Oeste de Greenwich.

Possui dentro de seu perímetro oito municípios Pernambucanos (Bom Conselho, Brejão, Terezinha, Paranatama, Caetés, Garanhuns, Saloá e Lagoa do Ouro) e oito alagoanos (Quebrangulo, Paulo Jacinto, Viçosa, Palmeira dos índios, Cajueiro, Capela, Atalaia e Pilar). Percorrendo seu percurso natural o Rio Paraíba do Meio deságua no Completo Lagunar Mundaú-Manguaba, no município de Pilar – Alagoas.

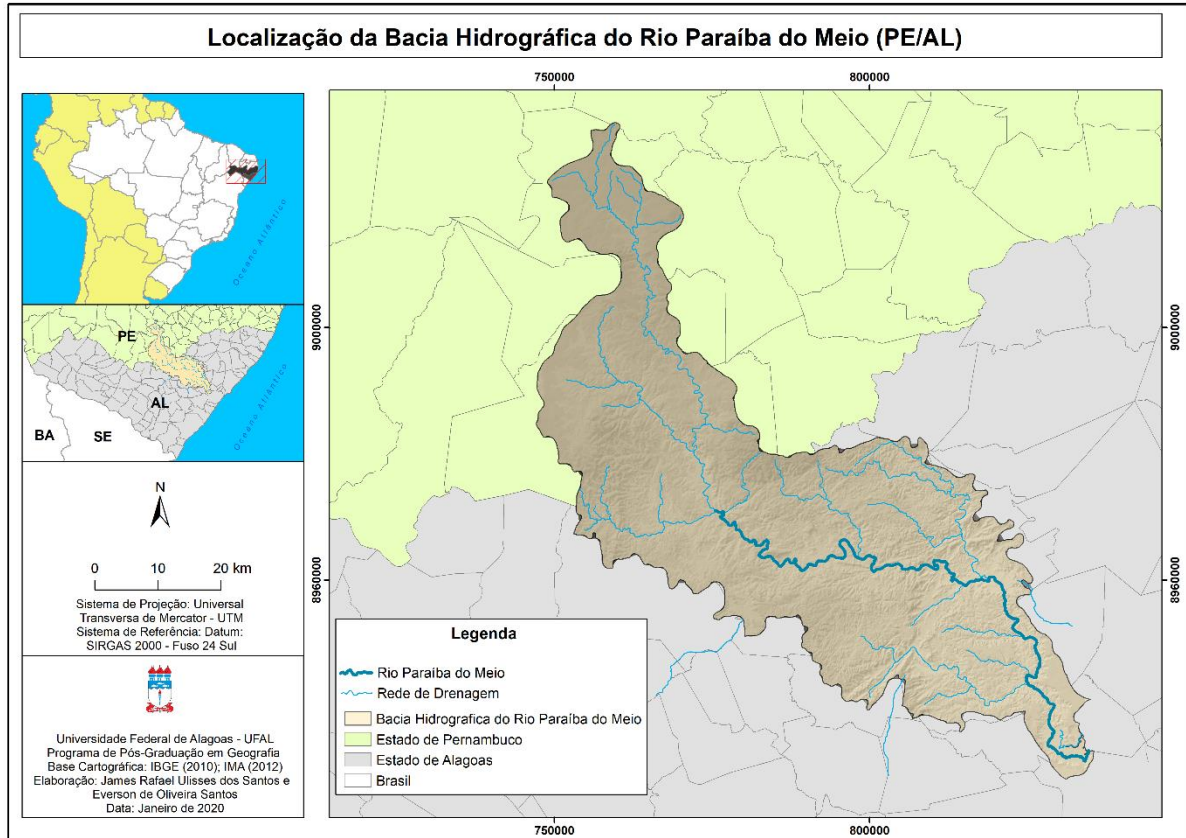


Figura 6 - Mapa de localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio. Elaboração: Santos e Santos, 2020. Fonte: IBGE (2010) e IMA (2012).

O norte da bacia tem como limite a Bacia do Rio Ipanema (Pernambuco), ao sul encontram-se as Bacias dos Rios São Miguel e Sumaúma. Na orientação leste o limite fica com a Bacia do Rio Mundaú e, por fim, a oeste com as bacias dos Rios Traipú e Coruripe.

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio não possui de maneira homogênea o mesmo regime fluvial ao longo dos seus 171,98 km, pois a porção da bacia localizada no Estado de Pernambuco é de regime fluvial intermitente, compreendendo 45,41 km. Logo, a porção localizada no Estado de Alagoas é de regime fluvial perene, compreendendo 126,57 km. A discrepância climática existente entre os dois estados, geograficamente falando, contribui significativamente para esse distinto tipo de regime em uma mesma bacia.

A tabela 2 traz uma caracterização dos aspectos físicos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio.

Tabela 2 - Aspectos físicos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio.

Aspectos físicos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio (PDRH, 2001)			
Área Total	3.127,83 km ²	Coefficiente de Compacidade Kc	2.30
Perímetro Total	459,60 km	Fator de Forma Kf	0,106
Área em Alagoas	1952,5 km ²	Densidade de Drenagem	0,63 km / km ²
Área em Pernambuco	1175,33 km ²	Densidade dos rios Dr	0,437 km/ km ²
Extensão total	171,98 km	Extensão Média de Escoamento Superficial E	0,397 km
Extensão total de todos os rios	1983,95 km	Razão de Bifurcação Rb	4
Ordem da bacia	5º ordem	Declividade Média da Bacia Imed	16,77 m / km = 1,67 %

Fonte: PDRH, 1997.

Segundo Gama (2011, p. 36), os principais rios que contribuem para o canal principal são riacho Bálamo e o riacho Seco na margem direita, correspondente ao Estado de Pernambuco. No território alagoano tem-se o rio Quebrangulinho, riacho Lunga, riacho do Canto, riacho Pedra de Fogo, riacho Riachão, riacho Itapicuru, riacho Isabel, riacho do Carapa e Rio Porongaba.

Em função dos tipos de rochas e das estruturas geológicas presentes no substrato da área que representa a bacia hidrográfica do RPM é possível, a partir do arranjo de drenagem e levando em consideração como base sua geometria, classificar o padrão de drenagem do rio em questão, segundo Ramos et al (2017, p. 05), como do tipo dendrítico. O referido autor determinou em seu trabalho esse padrão de drenagem por meio do Sensoriamento Remoto. E mais, a análise morfométrica foi realizada levando em consideração uma série de equações definidas por Cristofolletti (1980). De acordo com Riccomini et al (2009, p. 310) o padrão dendrítico “é o mais comum, no qual o arranjo da drenagem assemelha-se à distribuição dos galhos de uma árvore e ocorre quando a rocha do substrato é homogênea, formada apenas por granito, por exemplo, ou ainda no caso de rochas sedimentares com estratos horizontais”. A figura 7 mostra a rede de drenagem do Rio Paraíba do Meio.

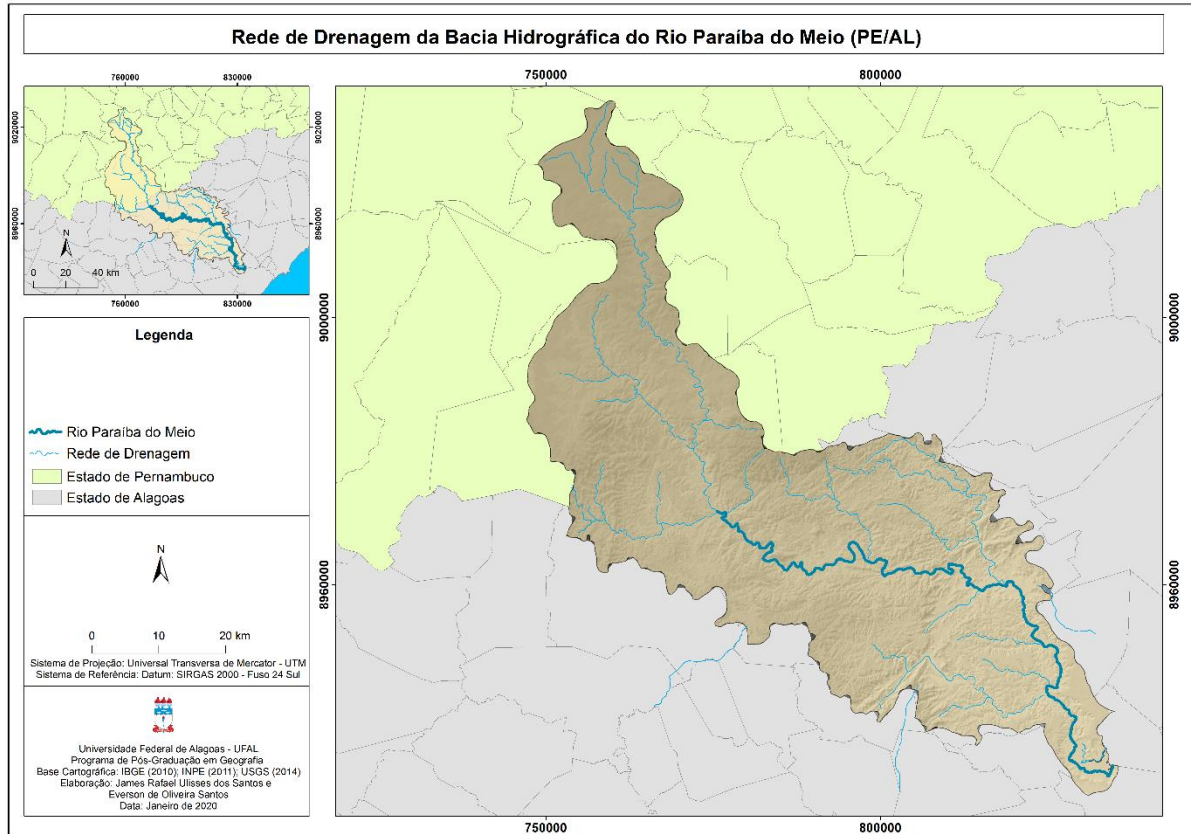


Figura 7 - Mapa da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio. Elaboração: Santos e Santos, 2020. Fonte: IBGE (2011) e IMA (2014).

Levando em consideração os aspectos de hierarquia fluvial, altimetria e declividade é possível analisar tais elementos no mapa da figura 8 abaixo. No mapa A tem-se a altimetria da bacia. No mapa B é representada a declividade em graus da bacia. No mapa C tem-se a hierarquia fluvial chegando até 6ª ordem.

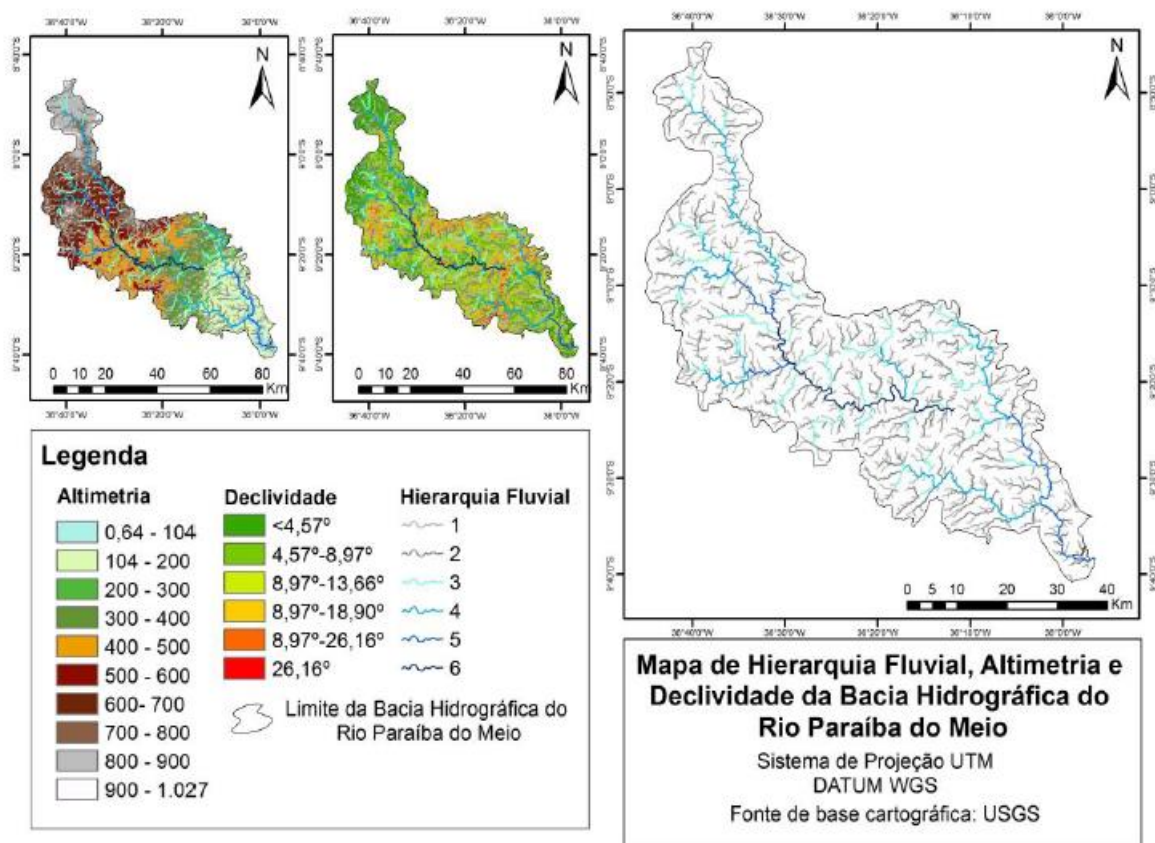


Figura 8 - Mapa de hierarquia fluvial, declividade e altimetria. Fonte: Ramos et al, 2017.

Abaixo tem-se especificamente os mapas de declividade (figura 9) e altimetria (figura 10) mais detalhados:

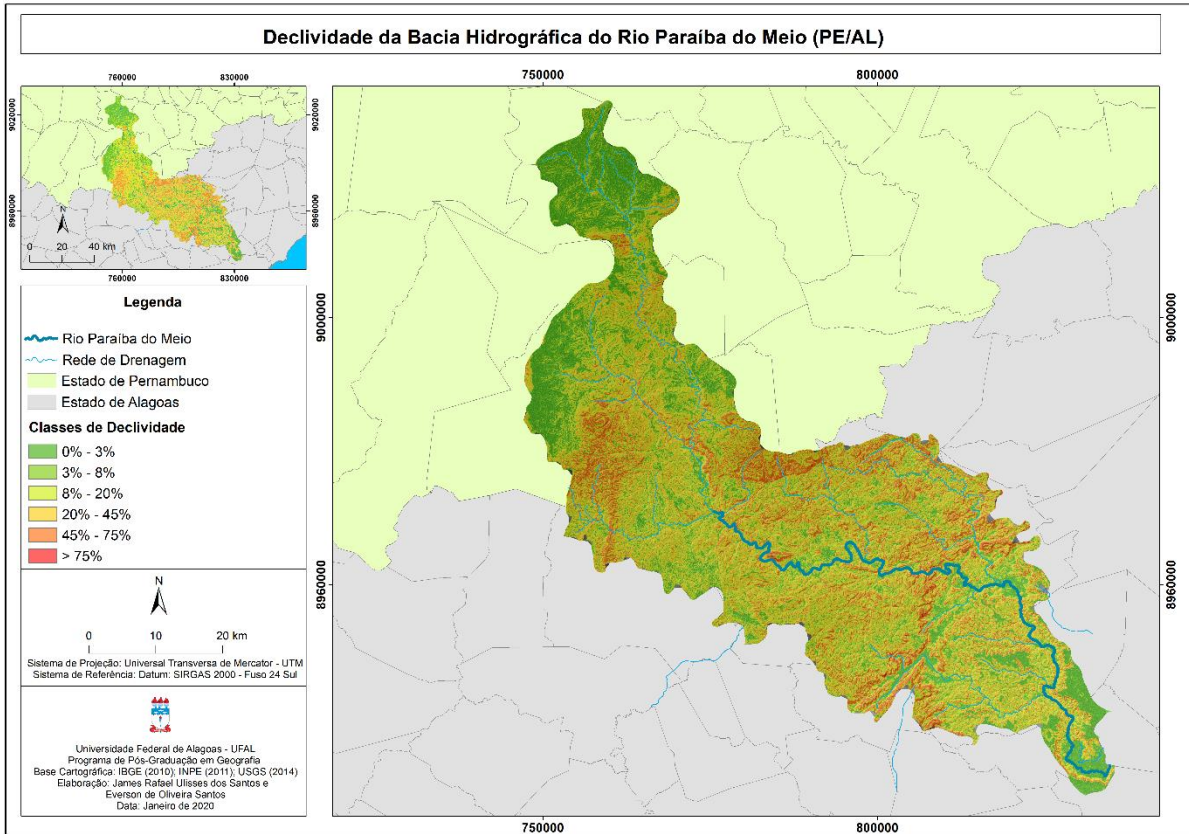


Figura 9 - Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio. Elaboração: Santos e Santos, 2020. Fonte: IBGE (2011) e IMA (2014).

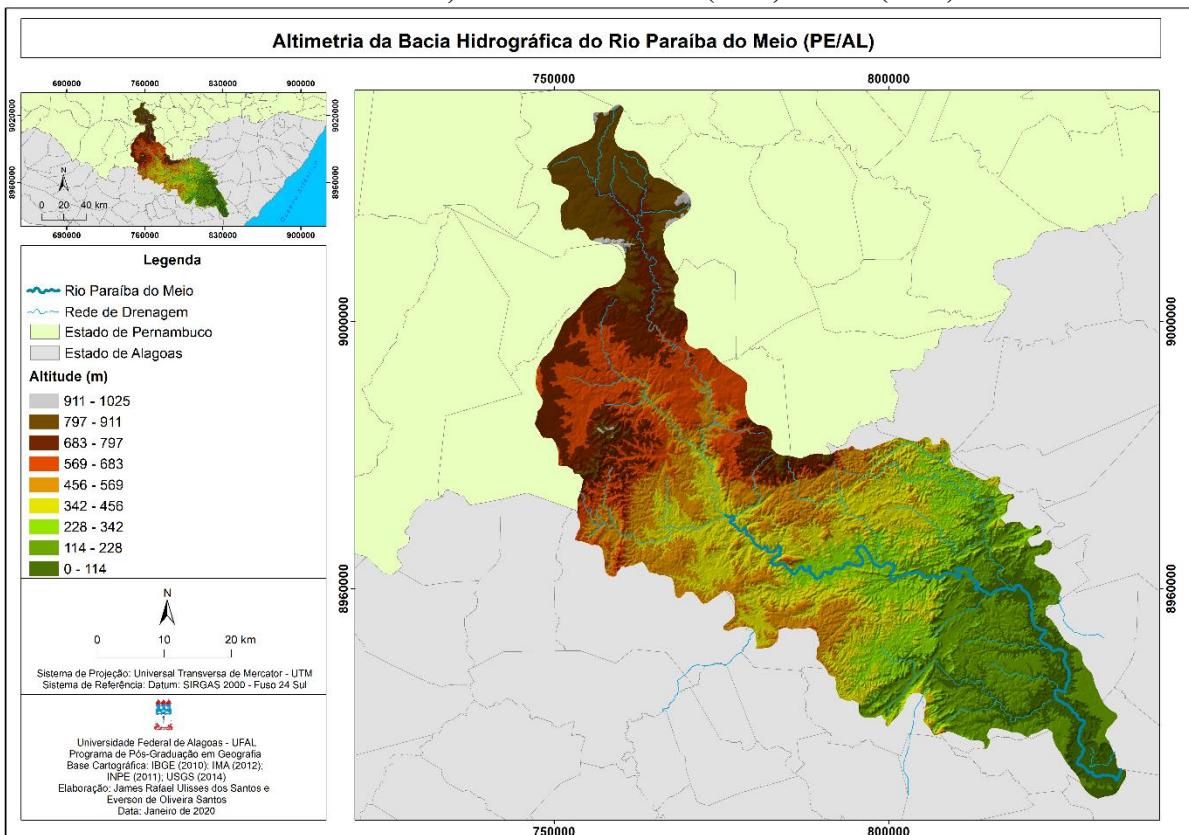


Figura 10 - Mapa de altimetria da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio. Elaboração: Santos e Santos. Fonte: IBGE (2010), IMA (2012), INPE (2011) e USGS (2014).

A localização dos pontos de coletas de amostras para análise em laboratório foram realizadas na região da ponte rodoviária (BR-316) situada sob o rio Paraíba do Meio no município de Atalaia-AL (este antecede o município de Pilar-AL, onde no mesmo está situada a foz do rio Paraíba do Meio direcionada para o Complexo Lagunar Mundaú-Manguaba), sendo tal localização das coletas extremamente importante para compreensão do fluxo de nutrientes que chegam ao Complexo Lagunar Mundaú-Manguaba. Trata-se, naturalmente, em um local considerado metodologicamente estratégico em relação a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio, isso no que se refere ao fluxo de nutrientes que a bacia contribui para o Complexo – há pouco monitoramento no que se refere ao processo de contribuição. Sendo assim, vale indicar a localização geográfica do Complexo Lagunar Mundaú-Manguaba, conforme figura 11.

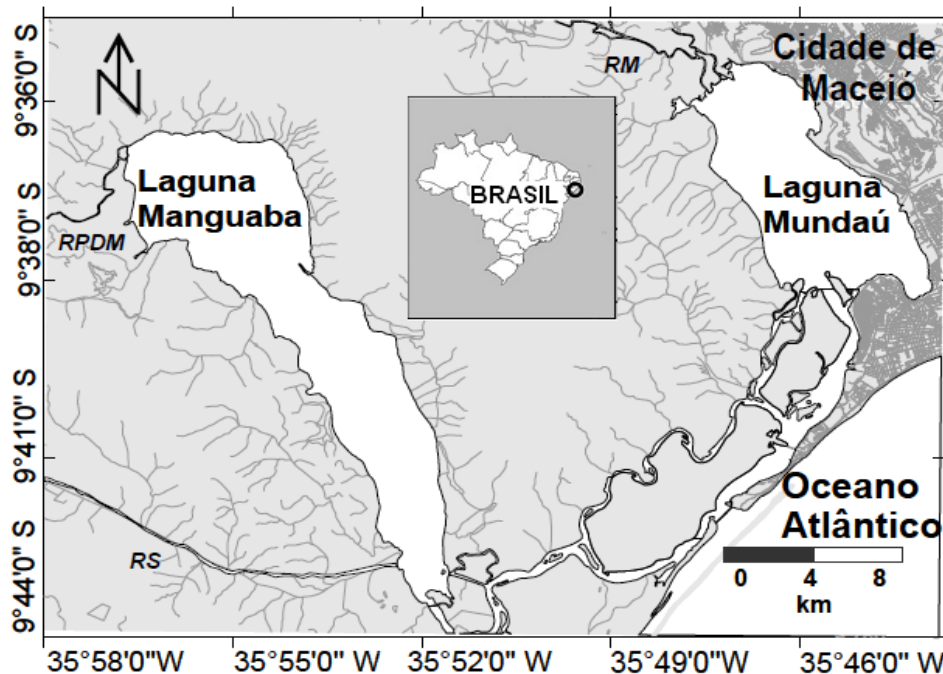


Figura 11 - Mapa do Sistema Estuarino-Lagunar-Mundaú-Manguaba (CELMM), mostrando a localização das lagoas, da cidade de Maceió, do oceano adjacente, e dos rios Paraíba do Meio (RPDM), Sumaúma (RS) e Mundaú (RM). Fonte: Cotovicz Júnior et al, 2012.

3.2 Aspectos climáticos

A porção da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio que está situada em Alagoas é caracterizada como uma região de clima tropical quente e chuvoso, tendo o verão seco do tipo As', conforme classificação de Köppen. A pluviosidade média anual nessa parte da bacia é de 1600 mm, segundo dados obtidos por Gama (2011) no posto da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE).

De acordo com Gama (2011, p. 36, “as temperaturas são bastantes elevadas com exceção das regiões serranas, onde, evidentemente, por efeito de altitude, tornam-se mais amenas. A média anual é em torno de 25 °C, a temperatura média mensal mais elevada chega a atingir os 30 °C”.

Os aspectos climáticos são evidenciados no mapa da figura 12.

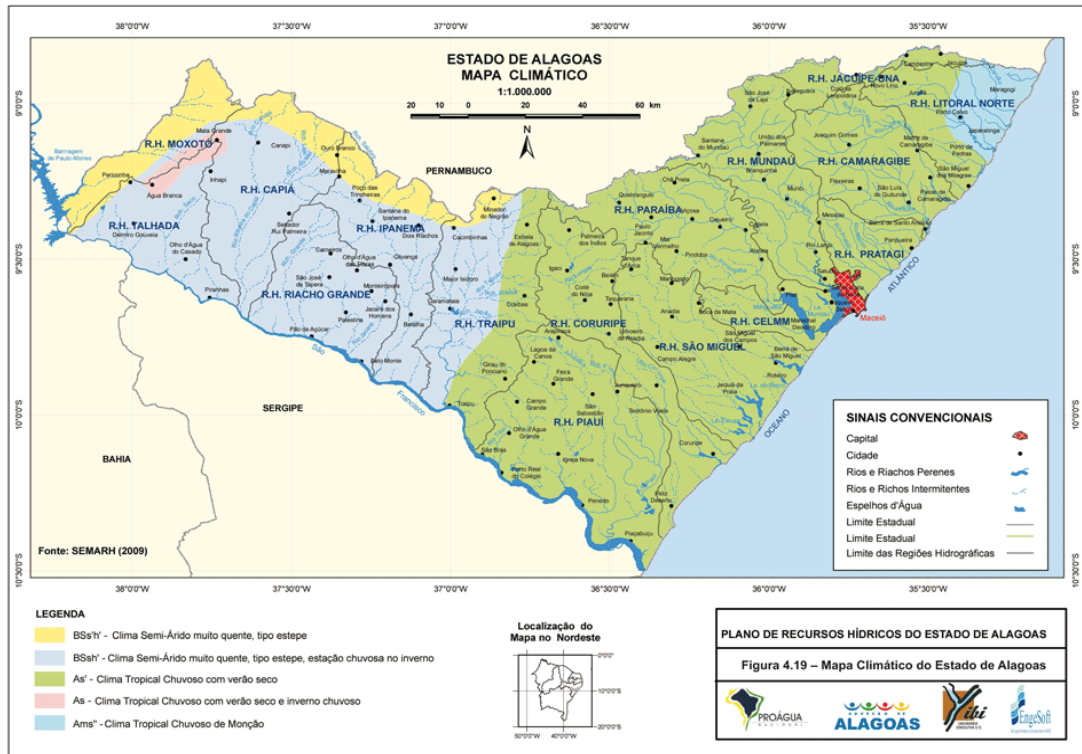


Figura 12 - Mapa Climático do Estado de Alagoas. Fonte: Governo do Estado de Alagoas.

A porção da bacia que está situada no Estado de Pernambuco, segundo Gama (2011, p. 37) “o clima é classificado como subúmido, com curto período chuvoso (outono-inverno, correspondendo aos meses de março e setembro), segundo a classificação de Köppen, BShs'. As temperaturas são elevadas com média anual de 25 °C, e a pluviosidade média anual é de 750 mm”.

3.3 Aspectos pedológicos

Em relação aos solos que caracterizam a área da bacia do Rio Paraíba do Meio é fundamental destacar que os mesmos ocorrem com propriedades muito diferenciadas. Desse modo, tem-se os seguintes tipos: Argissolos, Regossolos, Planossolos, Latossolo Vermelho Amarelo, Solos Aluviais e Gleyssolos. Abaixo é possível visualizar a distribuição espacial

destes tipos de solos em toda bacia. Abaixo a figura 13 traz a distribuição de solos na bacia hidrográfica do referido estudo.

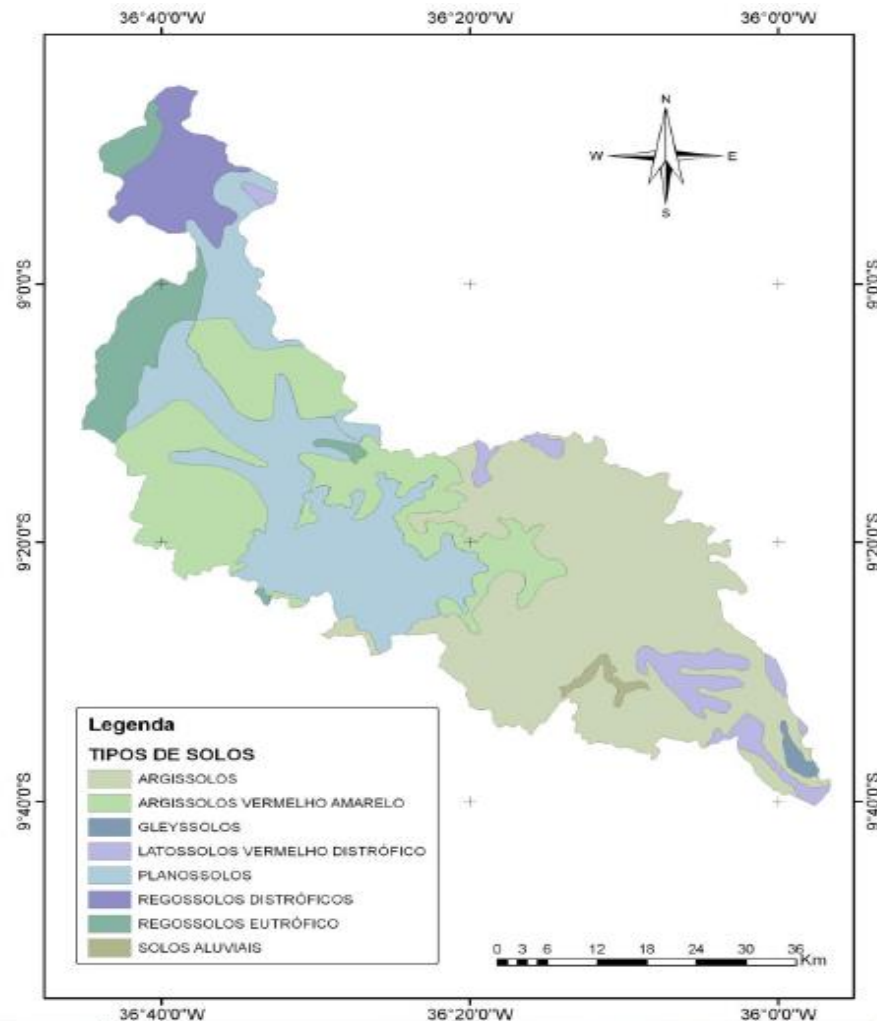


Figura 13 - Mapa de Solos da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio. Fonte: Gama, 2011. Adaptado de SEPLAN, 1997.

É importante trazer aqui uma abordagem de caracterização pedológica que detalhe essa ocorrência de solo na bacia em estudo. Os nomes dos tipos de solo elencados anteriormente no mapa serão levados em consideração como tópicos, no entanto, os aspectos pedológicos serão detalhados tomando como base as proposições de Lepsch (2010) e Gama (2011). Então, alguns nomes de tipos de solos estão em desuso pela ciência do solo (o mapa é adaptado de SEPLAN em 1997), mas em contrapartida é trazida aqui uma atualização conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) que também está ligado a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Argissolos – nas classificações mais antigas do Brasil era chamado de “Podzólicos Vermelho-Amarelos”, “Podzólicos Vermelho-Escuros”, Podzólicos Amarelos”, “Alissolos” ou

Rubrozems”. São bastante intemperizados, no entanto, ao contrário dos Latossolos, apresentam marcante diferenciação de horizontes, com um B de acúmulo de argila. Desenvolvem-se em ambientes de clima tropical úmido. Segundo o SiBCS, eles são definidos por um horizonte B textural imediatamente abaixo de um horizonte A ou E. O B textural deve apresentar argila de atividade baixa ou, excepcionalmente, alta, caso haja associação com alta presença de alumínio. É um tipo de solo que pertence a uma classe relativamente heterogênea e que possui em comum o aumento de argila em profundidade. Depois dos Latossolos, a ordem Argissolos é a mais extensa no Brasil, pois ocupa cerca de 20% do território nacional e talvez seja a mais heterogênea, pois podem ser rasos ou muito profundos, possuir alta ou baixa saturação por bases; ser arenosos ou argilosos em superfície, dentre outros aspectos. Possuem condições físicas favoráveis. São porosos e bem drenados e são os que vem fazendo parte do cultivo da cana de açúcar na zona costeira por um longo tempo.

Regossolos – atualmente são conhecidos como neossolos, mas antes eram identificados como “Regossolos”, “Areias Quartzosas”, “Litossolos”, “Solos Litólicos” ou “Solos Aluviais”. São solos com pouca ou nenhuma evidência de horizontes pedogenéticos subsuperficiais. Segundo o SiBCS, eles são definidos pelo material mineral ou orgânico que os constitui, com menos de 20 cm de espessura, sem qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Eles se formam em materiais praticamente inertes, sem argilas, e são bastante resistentes ao intemperismo ou estão tão pouco e recentemente expostos aos processos pedológicos.

Planossolos – Em classificações mais antigas do Brasil denominavam este tipo de solo como “Solonetz Solodizado” e “Hidromórficos Cizentos com mudança textural abrupta”. Esses solos possuem horizontes superficiais de textura mais arenosa sobre um horizonte subsuperficial, com uma constituição bem mais argilosa e adensada. De acordo com o SiBCS, eles são definidos pelo horizonte A ou E, em seguida, vem um B plântico e que, por sua vez, não é coincidente com horizonte plântico ou glei. Outro ponto fundamental é que eles são divididos em duas subordens: Planossolos Nátricos e Háplicos. A maior parte dos Planossolos possuem limitações físicas para a agricultura e, no caso dos Nátricos (com ocorrência na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio) têm alta saturação por sódio e isso dispersa as argilas, diminui a permeabilidade à água e dificulta a penetração de raízes.

Latossolo Vermelho Amarelo – são solos muito intemperizados, com pequena diferenciação de horizontes. Em sua maior parte não possuem agregados nítidos no horizonte B. De acordo com o SiBCS, eles são definidos pelo horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer horizonte diagnóstico superficial, exceto horizonte hístico, e desenvolvem-se em marcantes e prolongadas condições de ambientes tropicais quentes e úmidos. Os perfis de Latossolos

considerados mais típicos apresentam horizonte A pouco espesso e com transição difusa para um B latossólico muito espesso, com consistência muito friável, alta porosidade e colorações que varia de avermelhadas a amareladas. Por causa do intemperismo intenso e duradouro, a maioria dos Latossolos é muito pobre em nutrientes vegetais. São os solos de maior representação geográfica no Brasil. No SiBCS, eles estão subdivididos em quatro subordens: Latossolo Bruno, Amarelo, Vermelho-Amarelo e Vermelho. No caso da área da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio tem-se os Vermelho-Amarelos, estes estão em muitas áreas ocupadas pela mata atlântica, isto é, grande parte da costa brasileira.

Neossolos – este tipo de solo era antes conhecido como “Regossolos”, “Areias Quartzosas”, “Litossolos”, “Solos Litólicos” e “Solos aluviais”. São solos com pouca ou nenhuma evidência de horizontes pedogenéticos subsuperficiais. Segundo o SiBCS, eles são definidos pelo material mineral ou orgânico que os constitui, com menos de 20 cm de espessura, sem qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Eles se formam em materiais praticamente inertes, sem argilas, e são extremamente resistentes ao intemperismo (como areias de quartzo) ou estão tão pouco e recentemente expostos aos processos pedológicos em que os típicos horizontes diagnósticos estão ausentes. No Estado de Alagoas eles podem ser distróficos ou eutróficos, na sequência o horizonte A, quando fraco, tem espessura entre 8 cm e 15 cm, enquanto o A moderado, mais frequente, tem espessura compreendida entre 15 cm e 25 cm. Na bacia do rio Paraíba do Meio, encontra-se o Solo Aluvial Distrófico e Eutrófico no Estado de Alagoas, entre os municípios de Pindoba e Maribondo.

Gleissolos – são comuns nas baixadas úmidas, saturadas com água por períodos suficientes para que o ferro seja reduzido, removido, e o solo torne-se descolorido, com padrões acinzentados característicos. Segundo o SiBCS, eles são definidos pelo material constitutivo, predominantemente mineral, com um horizonte glei nos primeiros 150 cm e com menos de 50% de plintita, abaixo de um horizonte A ou de um H pouco espesso. Dois são os perfis mais típicos: de horizonte superficial espesso e escurecido (húmico e/ou hístico) e de A moderado. Ambos têm um horizonte subsuperficial acinzentado que, por sua vez, apresentam mosqueados na zona de oscilação do lençol freático.

3.4 Aspectos geomorfológicos

Levando em consideração, para caracterizar as formas de relevo da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio, Gama (2011, p. 38) fala que a área da bacia em questão é “definida no alto curso por uma superfície aplanada, com relevo ondulado com altitude entre 600 e 800 m.

O médio curso caracteriza-se pela presença de formas estruturais e de dissecação homogênea e o baixo curso por uma superfície sedimentar dissecada em interflúvios tubuliformes e colinas”. A figura 14 mostra o mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio.

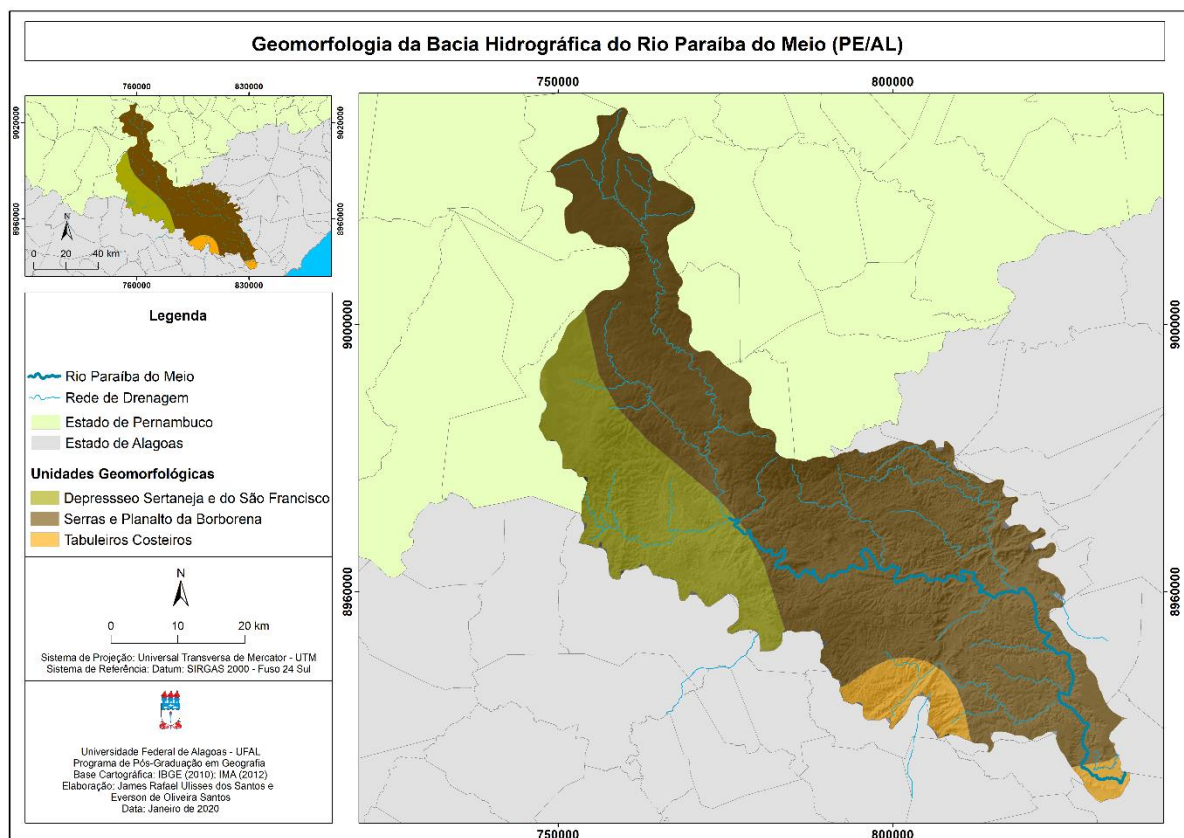


Figura 14 - Mapa geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio. Elaboração: Santos e Santos, 2020. Fonte: IBGE (2010) e IMA (2012).

Ainda de acordo com Gama (2011, p. 38) possuindo um vale em “V” em todo alto curso (ainda em Pernambuco), até confluir com o rio Paraibinha a montante do município de Capela - Alagoas, o rio Paraíba do Meio se encrava entre encostas erodidas que acabam por formar colinas, serras e cristas. No trecho a montante de Capela-Alagoas a bacia do Paraíba do Meio é caracterizada por uma superfície dissecada em três níveis distintos, a saber: 600 m – 700 m, 450 m – 550 m e 230 m – 350 m, que formam degraus de acesso aos níveis mais elevados do maciço.

Antes de alcançar os terrenos sedimentares, forma o cânion da Serra dos Dois Irmãos em Viçosa – Alagoas. Na confluência com o rio Paraibinha aparecem platôs cristalinos capeados por sedimentos do Grupo Barreiras. Já no município de Atalaia - Alagoas, o rio Paraíba do Meio adentra pelos Tabuleiros, perpassando por colinas e interflúvios tabulares, colúvios e leques aluviais até chegar à jusante, próximo do município de Pilar – Alagoas. Neste município tem-se a desembocadura do Paraíba do meio na Laguna Manguaba.

3.5 Aspectos geológicos

A Bacia do Rio Paraíba, no Estado de Pernambuco, é caracterizada por rochas do embasamento cristalino, de Idade Pré-Cambriana, compreendendo tanto o Pré-cambriano Superior (Unidade Quartzítica da Região de Garanhuns) como o Pré-cambriano Indiviso (Complexo Migmatítico-Granitóide e Complexo Gnáissico Migmatítico). Os terrenos cristalinos da Bacia do Rio Paraíba em Alagoas, como pertencentes ao Proterozóico Inferior, estando representados pelos Complexos Migmatítico-Granítico e Gnaissico-Migmatítico. Os terrenos sedimentares Terciários estão representados pela Formação Barreiras e os sedimentos Holocênicos incluídos na unidade Quaternária indiferenciado. (GAMA 2011, p. 38)

3.6 Aspectos de vegetação

Ainda de acordo com Gama (2011), no Alto e no Médio Vale é caracterizado pela Mata Tropical de encosta do tipo subperenifólio e subcaducifólio. No Baixo Vale é perceptível a Mata de Tabuleiro que, por sua vez, possui manchas do Bioma de Cerrado. E mais, na Baixada Litorânea tem-se a Vegetação de Restinga (Francês, Taperaguá e Massagueira) um pouco conservada. Na planície lagunar aparecem os mangues dos solos salobros e nos mais arenosos tem-se o mangue de porte lenhoso. No entanto, nas áreas menos úmidas dos municípios pernambucanos, a saber: Bom Conselho, Terezinha, Saloá e Garanhuns, apresenta o predomínio da vegetação de Caatinga do tipo hipo e hiperxerófila de espécies decíduas, variando de arbórea a arbustiva, dotadas de espinhos e com abundância de cactáceas e bromeliáceas (subzonas do Agreste e Sertão de Pernambuco).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise e estudo do Estado Trófico e cargas de nutrientes do Rio Paraíba do Meio, a realização das atividades metodológicas do presente trabalho são classificadas, quanto aos procedimentos, no contexto de pesquisa científica, como sendo uma pesquisa bibliográfica, pois busca explicar um problema a partir de referências teóricas ou fonte de dados publicadas em documentos.

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem porém pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta (FONSECA, 2002, apud GERHARDT e SILVEIRA, 2009, p. 32).

Ainda quanto aos procedimentos, vale salientar que esta tipologia de pesquisa, a saber, a pesquisa bibliográfica, complementa outro tipo de pesquisa que faz parte do contexto científico aqui trabalhado, ou seja, também é inserido a pesquisa descritiva. Como será detalhado mais adiante, levando em consideração a questão de que o presente trabalho tem como base o conjunto de informações do banco de dados do Laboratório de Geoquímica Ambiental (IGDEMA/UFAL), a pesquisa descritiva vem nortear as atividades, pois há no processo de estudo a observação, registro, análise e correlação de fatos ou fenômenos (variáveis) sem manipulá-los. A pesquisa descritiva procura classificar, explicar e interpretar os fenômenos que ocorrem.

Outro ponto fundamental que deve ser frisado é que a pesquisa é caracterizada, quanto a abordagem, como do tipo qualitativa e quantitativa. Para Gerhardt e Silveira (2009, p. 32), “a pesquisa qualitativa preocupa-se, portanto, com aspectos da realidade que não podem ser quantificados, centrando-se na compreensão e explicação da dinâmica das relações sociais”. Logo,

Diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados. Como as amostras geralmente são grandes e consideradas representativas da população, os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa. A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher

mais informações do que se poderia conseguir isoladamente. (FONSECA, 2002, apud GERHARDT e SILVEIRA, 2009, p. 20).

Desse modo, é fundamental explicitar que se trata de um trabalho de gabinete que se estrutura a partir de dados obtidos por meio de consulta ao banco de dados do Laboratório de Geoquímica Ambiental (IGDEMA/UFAL), bem como de downloads de dados digitais diretamente do site da ANA por intermédio do programa HidroWeb, este sendo uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Outra atividade é o levantamento de documentos cartográficos pertinentes para pesquisa.

4.1 Aquisição dos dados e Amostragem

Para realização da pesquisa foram tomados como base os dados disponíveis no Banco de Dados do Laboratório de Geoquímica Ambiental (IGDEMA-UFAL). Estes dados são referentes aos seguintes parâmetros geoquímicos: Nitrito, Amônia, Nitrato, Fósforo Dissolvido, Oxigênio Dissolvido, Saturação de Oxigênio, Temperatura da água e Clorofila a. Os dados de vazão foram obtidos no site da ANA, por intermédio do Hidroweb (ferramenta integrante do SNIRH). Os dados de precipitação foram obtidos junto a SEMARH.

Em relação ao dados de vazão faz-se necessário detalhar algumas informações importantes. O local de coleta de amostras para análise em laboratório, conforme detalhado no item 4.1.2, ocorreu na região da ponte rodoviária (BR-316) no município de Atalaia-Alagoas, com coordenada geográfica decimal -9,596568 e -36,007742. Logo, o local de medição de vazão não é o mesmo do local de coletas, pois o mesmo está situado na Estação Fluviométrica (Código 39870000) da ANA com coordenada geográfica de Lat. -9,51 e Long. -36,02. Na figura 15 abaixo é possível visualizar os referidos pontos supracitados.

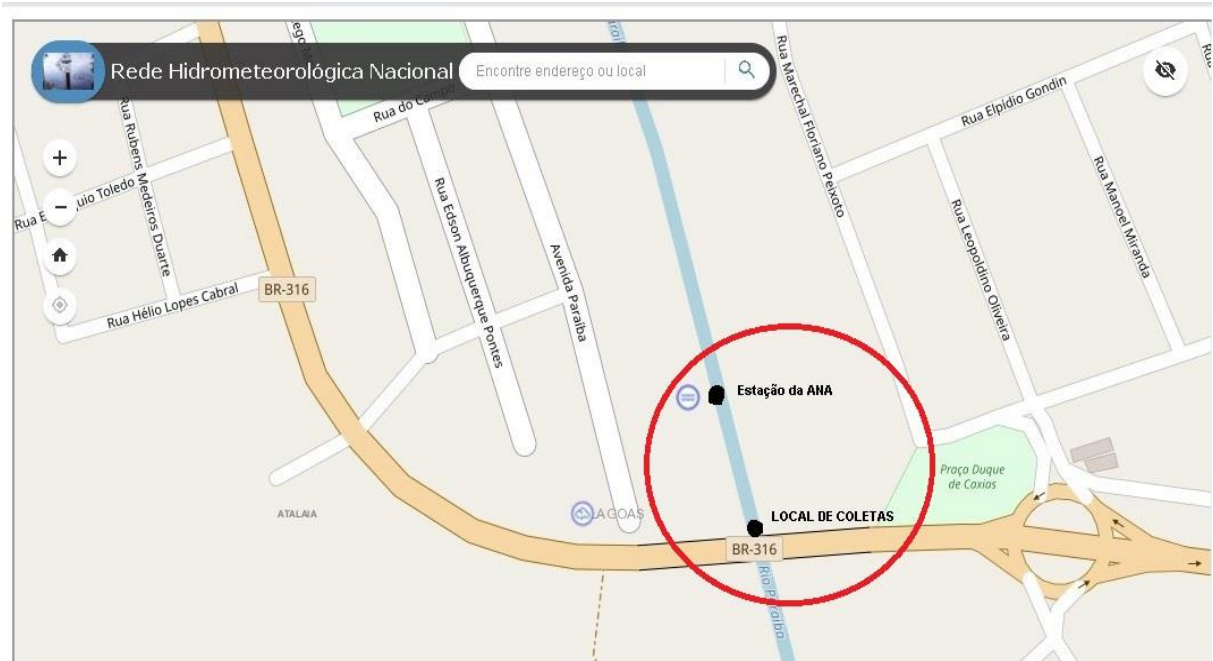


Figura 15 - Mapa de localização geográfica dos pontos de coleta e de vazão. Fonte: HidroWeb/ANA, 2020. Adaptação: Santos, 2020.

Para o ano de 2013 a vazão média, conforme dados da Estação Fluviométrica da ANA, foi de $21,13 \text{ m}^3/\text{s}$. Como são pontos em locais diferentes surgiu a necessidade de se ter uma noção da vazão no ponto de coleta de amostras, já que não houve medição de vazão no mesmo local de coleta de amostras e sim em um ponto diferente. Neste sentido, utilizando-se do aplicativo Google Maps (conforme figura 16) buscou-se determinar a distância aproximada entre os dois pontos, em linha reta, sendo a mesma de $69,82 \text{ m}$. Levando em consideração esta distância e as características de declividade e geologia desse pequeno trecho em que estão situados os dois pontos, não há diferença significativa no valor de vazão.

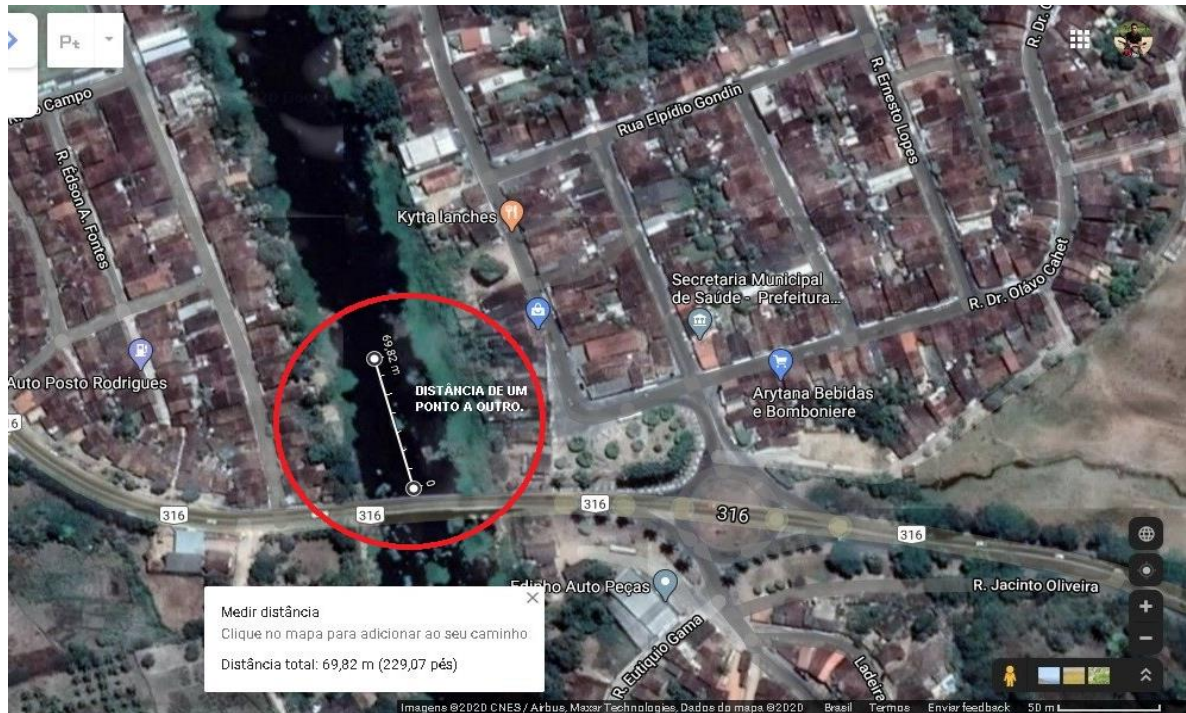


Figura 16 - Mapa de medição de distância entre o ponto de coleta e de vazão. Fonte: Google Maps, 2020. Adaptação: Santos, 2020.

4.1.1 Plano de Amostragem

Os materiais e métodos utilizados na formação do banco de dados são caracterizados da seguinte maneira:

As amostras para análises de nutrientes, clorofila e material em suspensão foram coletadas em frascos plásticos com volume de 5 litros. Tais amostras sendo coletadas com garrafa de coleta tipo Van Dorn de acrílico em sub-superfície, em torno de 30 centímetros abaixo da linha de água. Após a coleta as amostras foram acondicionadas em um isopor e refrigeradas, para serem transportadas até o laboratório.

As medidas In Situ de temperatura, condutividade elétrica, salinidade, pH e oxigênio dissolvido foram realizadas com Sonda Multiparamétrica YSI-6600. A figura 17 mostra o tipo de equipamento utilizado para medições dos parâmetros supracitados.



Figura 17 - Sonda Multiparamétrica YSI 6600 V2 utilizada para realizar as medições in situ.

4.1.2 Determinação do período de Amostragem

As campanhas realizadas para obtenção dos dados e assim posterior integração ao banco de dados do Laboratório de Geoquímica Ambiental (IGDEMA/UFAL) foram realizadas mensalmente durante o ano de 2013, sendo, tais campanhas realizadas de maneira paralela às coletas para determinação da carga referente ao fluxo de Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos, bem como da concentração de Nitrito, Amônia, Nitrato, Fósforo Dissolvido, Oxigênio Dissolvido, Saturação de Oxigênio, Temperatura da água e Clorofila a.

4.1.3 Análises laboratoriais

Os nutrientes inorgânicos dissolvidos (Amônia, Nitrito, Nitrato, Fosfato e Silicato) e o Fósforo Total foram determinados segundo Carmouze (1994). O fluxo de nutrientes e materiais em suspensão foi determinado segundo Medeiros (2007). O pigmento autotrófico Clorofila a e o material em suspensão (MS) foram determinados conforme Strickland e Parsons (1972).

Em se tratando do fluxo de carga de fósforo dissolvido o mesmo foi determinado levando em consideração a seguinte metodologia: a determinação do fluxo de material em suspensão e nutrientes foi segundo Medeiros et al. (2007).

$$F_m = Q C_i$$

Onde:

F_m = fluxo momentâneo dos nutrientes ou material em suspensão i;

Q = vazão (m^3/s);

C_i = concentração do material em suspensão ou nutrientes.

Determinado o fluxo momentâneo (F_m) do material m, foram estimadas as cargas diárias do material em suspensão e nutrientes, segundo $Q_m = 0,0864 F_m$, onde Q_m é a carga diária expressa em toneladas. A carga total mensal foi obtida pela multiplicação da carga diária Q_m pelo número de dias do mês em questão.

Metodologia aplicada para determinar a carga de fósforo:

CTm = carga de fósforo dissolvido (T/ano)

Q = vazão do rio (m^3/s)

Cm = Concentração individual de cada média mensal de fósforo ($\mu g/l$).

O método de Strickland e Parsons (1972) foi utilizado para o cálculo das concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos (fósforo dissolvido, etc) baseando-se na diferença (em μg) entre o peso corrigido do filtro com a amostra e o peso do filtro vazio dividido pelo volume de amostra filtrada.

O teste de Spearman (ZAR, 1972; NAGHETTINI & PINTO, 2007) é baseado no coeficiente de correlação entre as ordens de classificação da sequência de variáveis e os índices de tempo. O coeficiente ρ de Spearman varia entre -1 e 1. Quanto mais próximo estiver destes extremos, maior será a associação entre as variáveis. O sinal negativo da correlação significa que as variáveis variam em sentido contrário, isto é, as categorias mais elevadas de uma variável estão associadas a categorias mais baixas da outra variável. (SILVA, 2018, p. 59)

Os resultados da correlação da ordem de classificação de Spearman foram empregados para explicar a relação entre os nutrientes, vazão e precipitação.

Para calcular a carga anual do composto pela área da bacia hidrográfica utilizou-se o cálculo de Rendimento Yield. A carga anual é dividida pela área da bacia hidrográfica. O resultado mostra o rendimento Yield dessa mesma carga de nutrientes. Os nutrientes utilizados para tal foram: Amônio, Nitrito, Nitrato, Fósforo Orto e Fósforo Total.

4.2 Índice de Estado Trófico e o Modelo TRIX

O Modelo TRIX tem como equação:

$$X_c = \frac{1}{n} \sum_1^{i=n} \left[\frac{(M - L)}{(U - L)} \right]^i$$

A equação é aplicada a um conjunto de n parâmetros, sendo eles: clorofila a , oxigênio como desvio absoluto da saturação, e nitrogênio e fósforo (inorgânicos ou totais). M é o valor medido de cada um dos parâmetros e U e L os limites de confiança (superior e inferior, respectivamente) de cada parâmetro, determinados como sendo a média $\pm 2,5$ x desvio padrão. Os valores devem ser transformados (aplicando logaritmos) de modo a normalizar a distribuição. (BERTOLDI, 2014, p. 36)

Foi necessário haver uma adaptação da fórmula ao Sistema Brasileiro e nesse processo foi reescrita como:

$$TRIX = \frac{[\log_{10}(Chla * aD\%O * NID * PT) + k]}{m}$$

$Chla$ equivale a concentração de clorofila a ; $aD\%O$ consiste no desvio absoluto da porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido; NID , concentração de nitrogênio inorgânico dissolvido e PT , concentração de fósforo total. Já os parâmetros $k = 1,5$ e $m = 1,2$ são coeficientes escalares que foram propostos por Giovanardi e Vollenweider (2004), introduzidos para fixar o limite mínimo do índice e a extensão da escala trófica entre 0 e 10. (BERTOLDI, 2014, p. 36)

Levando em consideração os resultados dos cálculos desse índice, os mesmos são classificados da seguinte forma, conforme tabela 3:

Tabela 3 - Classificação do Estado Trófico para águas estuarinas de acordo com Modelo TRIX.

TRIX	Condições	Estado Trófico
<2	Muito pobremente produtivo e estado trófico muito baixo	Excelente (Ultra-Oligotrófico)
2-4	Pobremente produtivo e estado trófico baixo	Alto (Oligotrófico)
4-5	Moderadamente produtivo e estado trófico mediano	Bom (Mesotrófico)
5-6	Moderado a altamente produtivo e alto estado trófico	Moderado (Mesotrófico a Eutrófico)
6-8	Altamente produtivo e maior estado trófico	Pobre (Eutrófico)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Atividades socioambientais e econômicos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio em Alagoas

Este tópico traz uma abordagem socioambiental e econômica em relação a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio justamente pelo fato de que, como afirma Marx apud Casseti (1991, p. 53) “a natureza separada da sociedade não possui significado. A natureza sempre é relacionada material e idealmente com a atividade social”.

É importante frisar que a sociedade, ao longo de sua história evolutiva, tem aperfeiçoado, por meio do trabalho, seus instrumentos e técnicas para se relacionar com a natureza e, sobretudo, transformá-la. Isso significa que cada vez mais ela aumentou seu poder de transformação do meio natural.

Essa transformação da paisagem, tem inserida na mesma um recurso de relevância social, econômica, ambiental e, sobretudo, vital: os recursos hídricos do rio Paraíba Meio. O processo de apropriação e uso do rio para atender às necessidades da população ao longo da bacia hidrográfica ocorreu de maneira histórica e sem preocupação com a degradação ambiental gerada e o elenco de problemas ambientais.

De acordo com uma pesquisa científica de Santos, Medeiros e Santos (2018), publicada na Revista Geonorte, intitulada “Implicações socioambientais do processo de apropriação e uso do Rio Paraíba do Meio em Viçosa (AL)”, foram identificadas a existência de diversas atividades socioeconômicas, tais como a pesca (atualmente mais escassa), retirada de areia do leito do rio para construção civil, instalação de bombas de água para irrigação de atividade de agricultura nas proximidades da planície de inundação, atividades agrícolas baseadas na produção mercantil simples (plantio de macaxeira, batata, cana-de-açúcar, alface, coentro, milho, feijão, etc) e a pecuária simples. Tais atividades então indicadas têm de maneira significativa contribuído para degradação dos recursos hídricos. Salientando que tal problemática não é uma situação endêmica a determinado município alagoano, pois essa realidade se repete semelhantemente nos diversos municípios da porção alagoana da bacia.

5.1.1 O processo de urbanização desordenado e o dilema do Plano Diretor

Levando em consideração que, segundo Santos e Santos (2017, p. 113), “desde os primórdios dos tempos a humanidade desenvolveu e expandiu o urbano nas proximidades de rios, os quais tiveram, e em alguns casos ainda têm, importância fundamental no

desenvolvimento econômico das cidades”, é relevante trazer aqui discussões de como o processo de urbanização sem planejamento e desordenado (sem controle pelo poder público) contribuiu para degradação dos recursos hídricos do Rio Paraíba do Meio.

Ainda sobre o estudo de Santos, Medeiros e Santos (2018, p.62), já é apontada, em relação a temática deste subtópico, que “a grande problemática em relação a isso se deve ao fato de que, principalmente no Brasil, essa expansão ocorreu de maneira desordenada e sem planejamento. O resultado é ocupação irregular na planície de inundação do rio e o conseqüente desmatamento da mata ciliar”.

Visando o fato de que as problemáticas que envolvem a expansão urbana sem planejamento podem provocar, tem sido instituído um importante instrumento da política urbana: o Plano Diretor. Este sendo um mecanismo legal que visa orientar a ocupação e uso do solo urbano e, sobretudo, sanar os problemas existentes, inclusive, os de ordem ambiental.

Bem, que o crescimento das cidades tem relação com a degradação dos recursos hídricos, isso já ficou claro, mas, o que tem haver a expansão urbana desordenada com a expressão “dilema do Plano Diretor”? Pois bem, o Plano Diretor se torna um dilema porque mesmo existindo e vinculado a Lei Orgânica dos municípios com mais de 20 000 mil habitantes, o mesmo não tem efeito prático, pois como serão demonstrados aqui, municípios como Viçosa (AL), Palmeira dos Índios (AL), Cajueiro (AL), Atalaia (AL), Pilar (AL), Bom Conselho (PE), Caetés (PE) e Garanhuns (PE), com uma significativa ocupação irregular nas margens do rio Paraíba do Meio não só acabou por influenciar na alteração da qualidade da água, como será evidenciado mais adiante, mas também a existência de uma lei não foi capaz de orientar e responsabilizar o poder público e a população ribeirinha.

É neste sentido, que se buscou trazer aqui uma caracterização do Esgotamento Sanitário Adequado nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio. A presente pesquisa, por meio dos resultados, constatou alterações em parâmetros como Fósforo Total, Turbidez, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido, estando tais alterações fora dos padrões estabelecidos pelo CONAMA. O indicativo é que estão ligadas a introdução e descarga de substâncias, por meio de efluentes domésticos e/ou industriais, diretamente no Rio Paraíba do Meio.

Neste sentido, buscou-se um caminho para compreender toda estruturação de Esgotamento Sanitário Adequado nos municípios que fazem parte da bacia hidrográfica do Rio e a porcentagem de Esgotamento Sanitário Adequado existente e efetivada pelo poder público. Os dados utilizados aqui para discussão foram obtidos junto ao IBGE, conforme dados do

último Censo (2010), atendendo a caracterização da realidade do recorte temporal dessa pesquisa que é o ano de 2013.

Um Sistema de Esgotamento Sanitário Adequado é definido como um conjunto engenhoso de obras e instalações voltadas a assegurar a coleta, transporte, afastamento, tratamento e disposição final do esgoto estruturado para atender a comunidade, e isso deve ser de forma adequada ao padrão sanitário. Isso envolve esgoto doméstico, industrial e pluvial.

Acontece que toda essa exigência de “padrão sanitário” praticamente é deficitária de maneira significativa no municípios brasileiros e isso está relacionado a falta de planejamento urbano e, sobretudo, a não existência ou não aplicabilidade prática, por exemplo, do Plano Diretor Participativo para que atenda a realidade de crescimento urbano desordenado. Visto que quase em sua totalidade, as cidades se desenvolveram às margens do Rio Paraíba do Meio e isso por si só já é um indicativo da necessidade de efetivação de esgotamento adequado.

A tabela 4 traz um detalhamento de cada município do Estado de Pernambuco em variados aspectos, como sua População Absoluta, Densidade Demográfica, Esgotamento Sanitário e, sobretudo, uma projeção do aumento populacional em estimativa para o ano de 2019.

Tabela 4 - Dados demográficos e de Esgotamento Sanitário dos municípios pernambucanos da BHRPM.

DADOS DEMOGRÁFICOS E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DOS MUNICÍPIOS PERNAMBUCANOS DA BHRPM					
PERNAMBUCO	POP. CENSO 2010	POP. EST. 2019	DENS. DEMOG.	ÁREA TERRIT.	ESGOT. SANIT.
MUNICÍPIO	Hab.	Hab.	Hab./km²	km²	%
Bom Conselho	45503	48554	57,44	792,185	54,4
Brejão	8844	8993	55,35	159,786	29,8
Terezinha	6737	7169	44,48	151,450	56,3
Paranatama	11001	11523	47,65	185,371	4,6
Caetés	26577	28739	80,66	294,946	24,4
Garanhuns	129408	139788	282,21	458,552	52,1
Saloá	15309	15843	60,73	251,549	36,4
Lagoa do Ouro	12132	13145	61,04	198,762	52,3

Fonte: IBGE, 2019. Elaboração: Autor, 2019.

A figura 18 tem um gráfico que resume e associa especificamente os dados de Densidade Demográfica e Esgotamento Sanitário Adequado de cada município de Pernambuco.

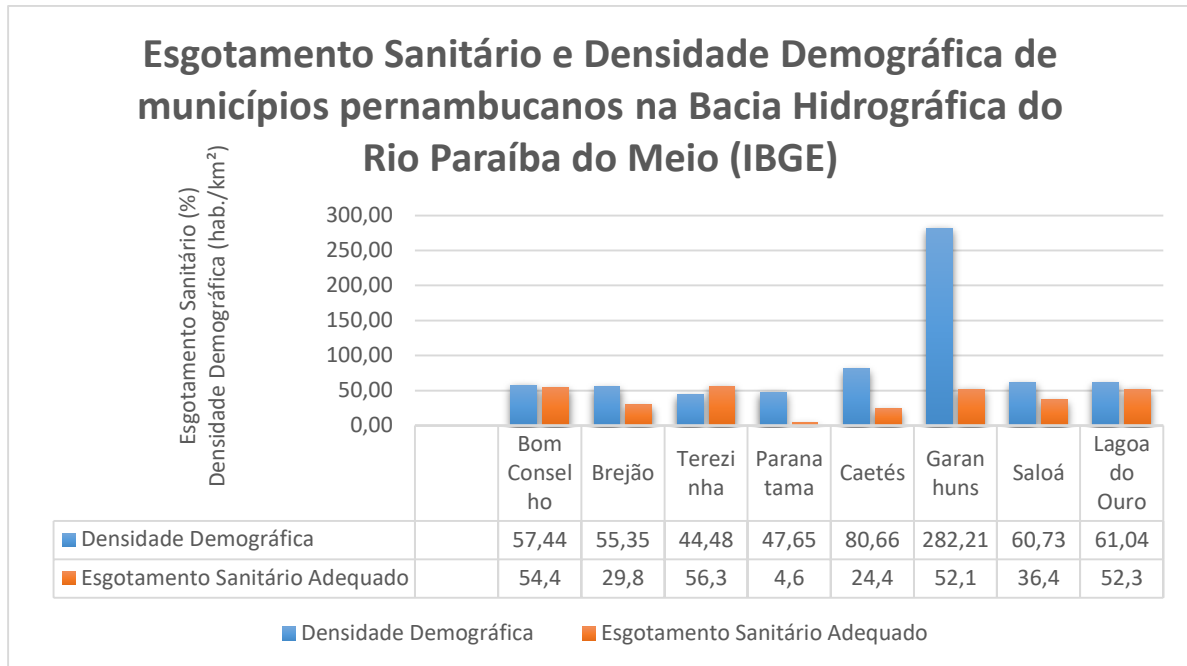


Figura 18 - Gráfico de Esgotamento Sanitário e Densidade Demográfica de municípios pernambucanos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio (IBGE). Elaboração: Autor, 2019. Fonte: IBGE, 2019.

Os municípios pernambucanos representam, praticamente, os que fazem parte da área montante do Rio Paraíba do Meio. Constatou-se, por meio da tabela e do gráfico acima, que apenas quatro municípios possuem a partir de 50 % de Esgotamento Sanitário Adequado realizado nas áreas que necessitam de tais obras de engenharia, em sua totalidade. São eles: Bom Conselho (54,4%), Terezinha (56,3%), Garanhuns (52,1%) e Lagoa do Ouro (52,3%). Os demais municípios, a saber, Brejão, Paratama, Caetés e Saloá nem 50% de Esgotamento Sanitário foi realizado, o que configura, conseqüentemente, em uma significativa quantidade de efluentes que estão despejando diretamente no rio.

Nesse contexto, é interessante trazer em discussão o caso de Garanhuns, pois o mesmo tem a maior Densidade Demográfica (282,21 hab./km²) e isso acaba por indicar que apesar de se ter 52,1% de esgotamento sanitário, esta porcentagem é muito baixa quando comparada a quantidade de habitantes por km² que existem em sua área territorial. Tem também o caso de Paratama que apresenta o menor e mais alarmante porcentagem de esgotamento, isto é, 4,6% da área necessária recebeu obras de adequação. E mais, de acordo com a tabela há uma projeção de aumento populacional de 11.001 hab (Censo 2010) para 11.523 hab. em 2019. Este aumento populacional vai acarretar também na elevação da Densidade Demográfica e, por conseguinte, em maiores prejuízos para o rio devido a quantidade de efluentes domésticos.

Em se tratando do Estado de Alagoas, abaixo a tabela 5 demonstra um detalhamento de cada município em variados aspectos, como sua População Absoluta, Densidade Demográfica,

Esgotamento Sanitário, bem como uma projeção do aumento populacional em estimativa para o ano de 2019.

Tabela 5 - Dados demográficos e de Esgotamento Sanitário dos municípios alagoanos da BHRPM.

DADOS DEMOGRÁFICOS E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DOS MUNICÍPIOS ALAGOANOS DA BHRPM					
ALAGOAS	POP. CENSO 2010	POP. EST. 2019	DENS. DEMOG.	ÁREA TERRIT.	ESGOT. SANIT.
MUNICÍPIO	Hab.	Hab.	Hab./km²	km²	%
VIÇOSA	25407	25733	74,00	371,612	31,7
QUEBRANGULO	11480	11294	35,89	319,829	11,7
PAULO JACINTO	7426	7564	62,69	118,457	12,6
PALMEIRA DOS ÍNDIOS	70368	73218	155,44	450,958	13,6
CAJUEIRO	20409	21264	164,24	94,357	9,2
CAPELA	17077	17053	70,39	257,561	55,3
ATALAIA	44322	47185	83,82	533,258	23,2
PILAR	33305	35111	133,37	251,066	26,3

Fonte: IBGE, 2019. Elaboração: Autor, 2019.

O gráfico da figura 19 resume e associa especificamente os dados de Densidade Demográfica e Esgotamento Sanitário Adequado de cada município de Alagoas.

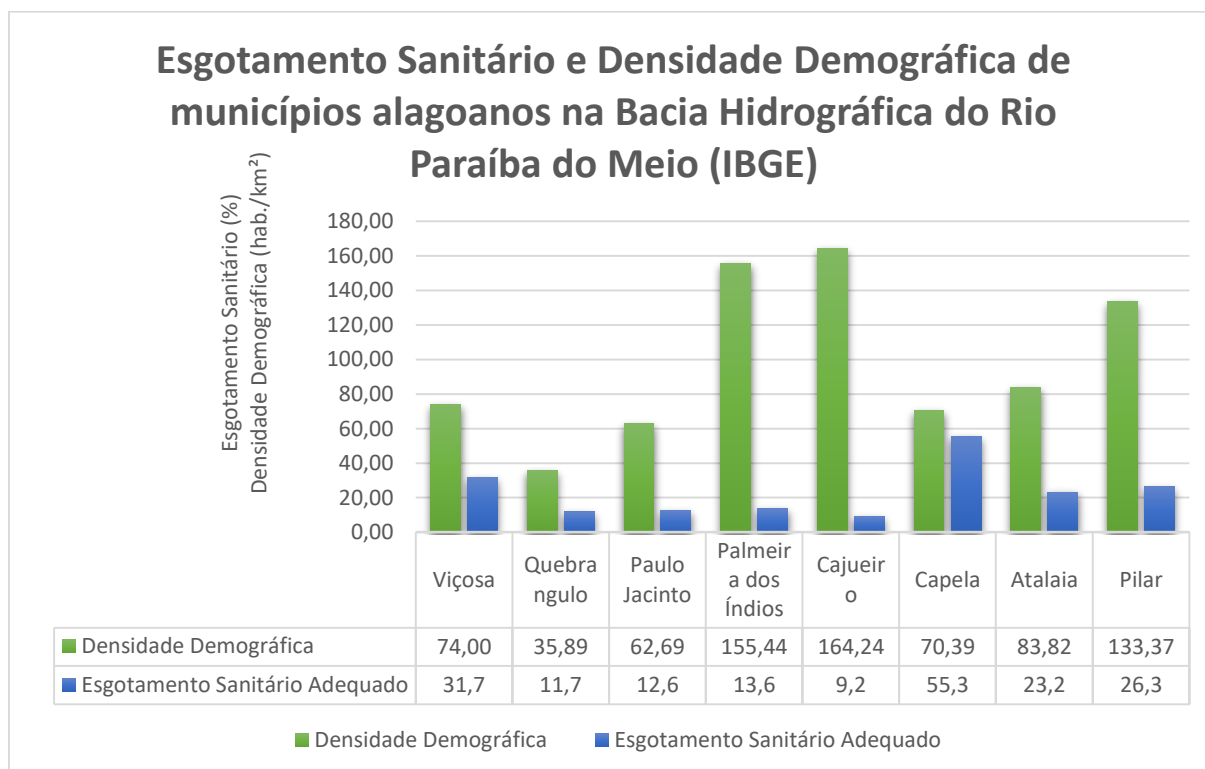


Figura 19 - Gráfico de Esgotamento Sanitário e Densidade Demográfica de municípios alagoanos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio (IBGE). Elaboração: Autor, 2019. Fonte: IBGE, 2019.

Os municípios do Estado de Alagoas acabam por representar a área de jusante do Rio Paraíba do Meio. Foi verificado que a situação de esgotamento sanitário em Alagoas é a mais deficitária do conjunto de toda bacia hidrográfica. Não há uma preocupação por parte do poder público estadual e municipal no sentido de dar uma estruturação adequada, necessária e de direito a população, principalmente no que se refere ao melhor gerenciamento e preservação dos recursos hídricos.

Nesse sentido, o único município que tem mais de 50% de esgotamento sanitário é Capela (55,3%). Os demais possuem uma porcentagem de esgotamento relativamente baixa e a atenção aqui dada é justamente a municípios que possuem uma considerável Densidade Demográfica, como Palmeira dos Índios (155,44 hab./km²), Cajueiro (164,24 hab./km²) e Pilar (133,37 hab./km²), com apenas 13,6%, 9,2% e 26,3% de esgotamento em áreas necessárias, respectivamente.

Os dados do IBGE expressos na tabela e gráfico acima chamam atenção para o município de Cajueiro que possui uma elevada Densidade Demográfica (164,24 hab./km²) e com o menor valor de esgotamento: 9,2%. E mais, há uma projeção de aumento populacional significativo de 20.409 hab. (Censo 2010) para 21.264 hab. Para 2019. Se não houver uma atenção maior por parte do poder público no sentido de realizar as obras de esgotamento necessárias para atender a essa demanda populacional, os impactos serão ainda maiores no que se refere a introdução de substâncias por meio de efluentes domésticos no Rio Paraíba do Meio.

Portanto, dos 16 municípios integrantes da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio, apenas 5 conseguiram atingir um percentual de esgotamento sanitário adequado, ou seja, 68,75% dos municípios não chegam nem a atingir metade da área total que necessita de obras de esgotamento.

5.1.2 Degradação dos recursos naturais da Bacia e sua relação com a qualidade da água

As atividades socioeconômicas elencadas aqui como elementos que fazem parte da realidade dos municípios que compõem a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio em Alagoas tem, ao longo do tempo, ocasionado variados problemas ambientais que tem de maneira expressiva contribuído para alteração da qualidade da água.

Um deles é um desmatamento da mata ciliar. A mesma possui uma importância fundamental na proteção de nascentes e margens de rios que, por sua vez, sua retirada é proibida por essas áreas serem consideradas Área de Proteção Permanente (APP), conforme Código Florestal, Lei Nº 12.651/2012. A retirada dessa vegetação influi no aumento dos processos

erosivos fluviais e, por conseguinte no alarguemento da área de drenagem, diminuição da lâmina de água do rio e aumento da turbidez.

A presença de matas ciliares é de extrema importância para, além da manutenção do equilíbrio natural (ciclo hidrológico, diversidade de espécies, evitar o assoreamento dos corpos d'água, etc.), ajuda na preservação da qualidade hídrica diretamente, servindo como barreira para materiais provenientes de lixiviação. (MORAIS e SAIS, 2016, p. 34).

Segundo Santos, Medeiros e Santos (2018, p. 60), em um dos municípios alagoanos (Viçosa), e, já salientando que é uma realidade que se repete em vários outros municípios,

Deve-se considerar que a erosão provocada pela retirada da mata ciliar induziu o aparecimento ao longo do leito do rio de bancos de areia, indicando o assoreamento que o mesmo está submetido. Essa degradação tornou ao longo dos anos o rio impróprio para navegação de pequenos barcos, o que em outrora já foi possível, segundo relatos dos moradores. (SANTOS, MEDEIROS E SANTOS, 2018, p. 60)

O assoreamento vem ocorrendo no leito do rio justamente porque a lâmina de água diminuiu, já que os processos erosivos devido a retirada da mata ciliar tornaram a área de drenagem do rio maior. Daí, entra em foco outro problema: a dragagem não supervisionada tecnicamente. Tem sido comum moradores retirarem os sedimentos de areia nos bancos que se formam ao longo do curso do rio e, tal retirada é para aproveitamento para construção civil. Essa atividade econômica contribui para renda de muitas famílias ribeirinhas. Segundo Santos, Medeiros e Santos (2018, p. 61), a “retirada inapropriada dos sedimentos acaba por provocar uma alteração no regime natural de concentração de nutrientes e sedimentos que, por sua vez, influi no Complexo Lagunar Mundaú-Manguaba em Alagoas”.

No entanto, como se trata de uma fonte de renda, quando os bancos de areia acabam, o processo de dragagem continua e isso tem provocado alterações no equilíbrio do fluxo e transporte de sedimentos do rio, principalmente por acontecer sem supervisão técnica.

A existência de efluentes domésticos em variados trechos da bacia do rio Paraíba do Meio tem contribuído para contaminação da água. E mais, a população de variados municípios joga lixo orgânico e inorgânico diretamente no rio. Algo a se pontuar é que esse e outros problemas ambientais aqui descritos também influenciam na diminuição da acentuada da biodiversidade aquática.

5.2 Análise de série histórica de precipitação pluviométrica (2005 a 2013) com variabilidade mensal e anual

Para compreender melhor os resultados de fluxo de carga de nutrientes e as alterações fora do padrão do CONAMA de alguns parâmetros físicos e químicos estudados na presente pesquisa é de fundamental importância se ter uma noção temporal da variação, mensal e anual, das chuvas na região (município de Atalaia-Alagoas) onde se deu a coleta de amostras que acabou por ser utilizada na determinação dos parâmetros físicos e químicos.

Sendo assim, são detalhados dados de precipitação desde o ano de 2005 até o ano de 2019, trazendo dados mensais e as médias anuais em um período de 19 anos. Tais dados foram obtidos junto ao Banco de Dados Hidrometeorológicos da SEMARH. As coordenadas geográficas do posto de medição é Lat. -9.5100 e Log. -36.0100 (Posto 7 / Atalaia-AL/ ANA).

- Análise da variabilidade de dados mensais

Desse modo, tem-se o ano de 2005 sendo representado no gráfico abaixo. Uma observação importante é que os dados obtidos caracterizam apenas quatro meses, não houve medição nos demais meses, conforme figura 20.

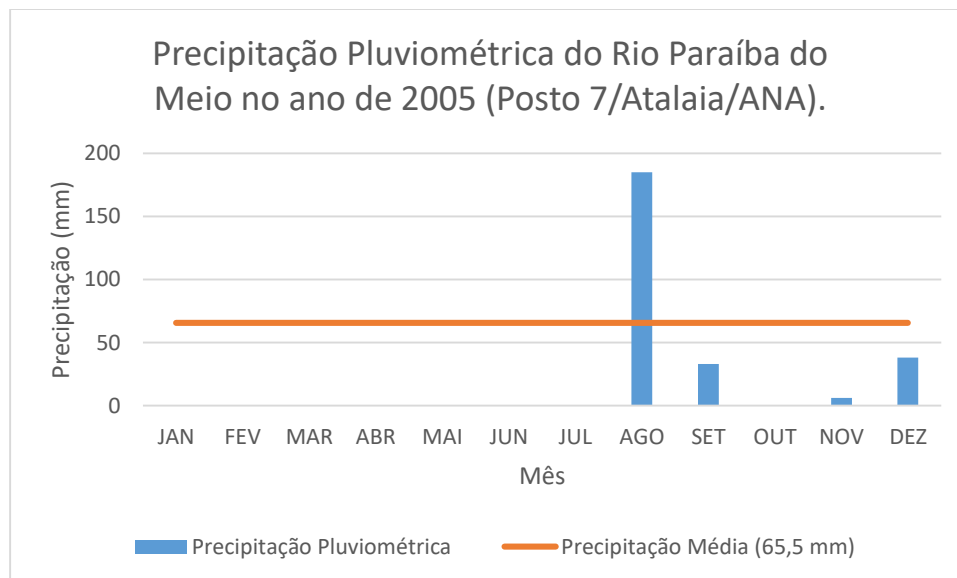


Figura 20 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2005). Fonte: SEMARH, 2019.

É verificado que o mês de agosto apresenta a maior quantidade de precipitação, isto é, 185,0 mm e, sobretudo, é o que está bem acima da Precipitação Média (65,5 mm). Essa

quantidade de pluviosidade está relacionada ao período de inverno que, por sua vez, pode também ter alta precipitação em mm nos meses de junho e julho.

Para dar um embasamento melhor a compreensão dos dados de 2005, será feita aqui uma associação do comportamento dos dados de precipitação do mesmo período de 2005 com o ano de 2007 (ano que será discutido de maneira mais aprofundada mais a frente). Sendo assim, foi verificado que o comportamento da variabilidade de chuvas em 2005 pode ser considerado dentro de uma lógica comportamental, pois em 2007 a sequência de pluviosidade foi de 158,0 mm em Agosto, 70,0 mm em Setembro, 22,0 mm em Novembro e 31,0 mm em Dezembro. Não há uma mudança atípica quando comparados esses dados com os de 2005, para o mesmo período.

A precipitação máxima diária registrada entre os quatro meses representados no gráfico foi de 31,0 mm no mês de Agosto. A precipitação média para 2005, levando em consideração os meses do gráfico, foi de 65,5 mm.

O ano de 2006 está sendo representado pelo gráfico da figura 21. Também só houve registo de apenas dois meses (Janeiro e Fevereiro).

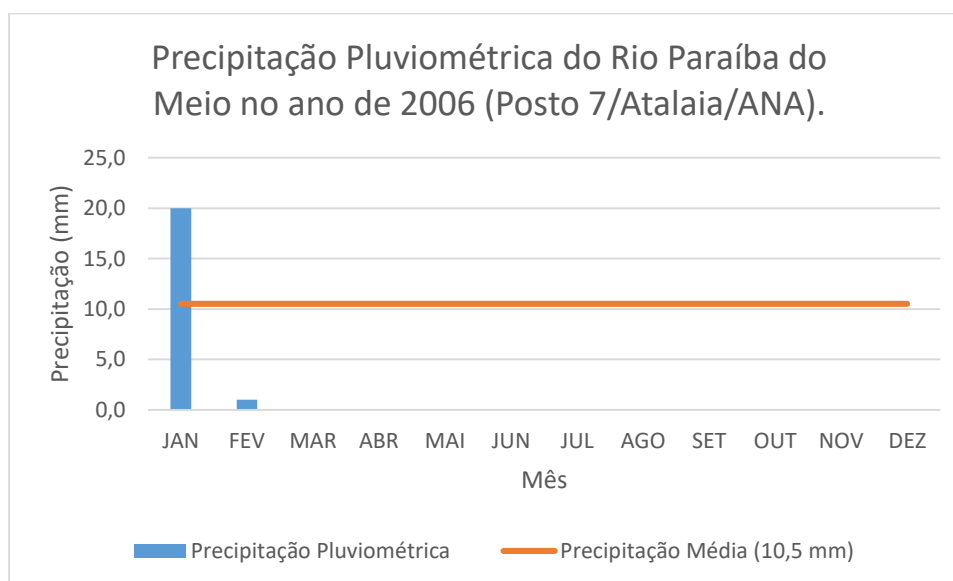


Figura 21 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2006).
Fonte: SEMARH, 2019.

O mês de janeiro apresenta precipitação de 20,0 mm (estando bem acima da Precipitação Média), seguido de uma queda para 1,0 mm em fevereiro. Analisando esse primeiro bimestre de 2006 com outros anos próximos que se seguiram, foi verificado a seguinte situação: ano de 2008 (39,0 mm em janeiro e 66,0 mm em fevereiro); ano de 2009 (21,0 mm em janeiro e 146,0 mm em fevereiro); ano de 2010 (98,0 mm em janeiro e 114,0 mm em fevereiro). Apesar de tais

anos mostrarem não apenas maiores índices de pluviosidade, mas também uma situação inversa, isto é, onde o mês de fevereiro é que vai apresentar uma quantidade de chuva maior que janeiro, essa situação do ano de 2006 aparece novamente no ano de 2017 (22,2 mm em janeiro e 6,8 mm em fevereiro).

A precipitação máxima diária registrada entre os dois meses representados no gráfico foi de 10,0 mm no mês de janeiro. A precipitação média para 2006, levando em consideração os meses do gráfico, foi de 10,0 mm.

Abaixo tem-se o ano de 2007 na figura 22. Os dados de medição são apenas para os meses que vão de agosto a dezembro.

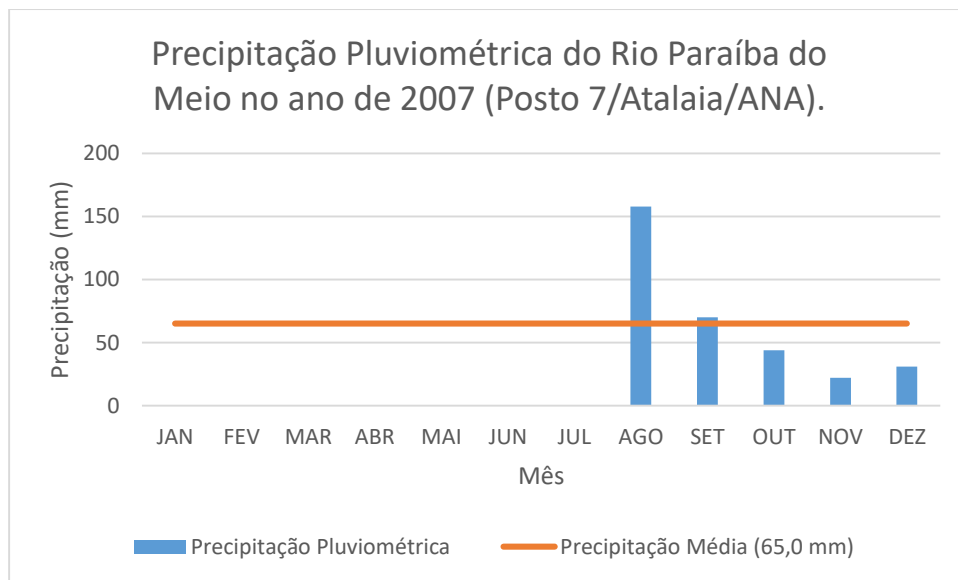


Figura 22 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2007). Fonte: SEMARH, 2019.

Verifica-se que assim como no ano de 2005, o mês de agosto (158,0 mm) tem a maior precipitação a partir desse período do ano e, por sua vez, é seguida de uma baixa de chuvas até novembro (variando de 158,0 mm a 22,0 mm), quando, em dezembro, ocorre uma leve alta na pluviosidade. Salientando que os meses de Agosto e Setembro são os únicos que apresentam valores de precipitação acima da Precipitação Média (65,0 mm)

A precipitação máxima diária registrada também ocorre no mês de agosto, com 22,0 mm. A precipitação média calculada levando em consideração os meses representados no gráfico é de 65,0 mm.

Para o ano de 2008 tem-se o gráfico abaixo, conforme figura 23:

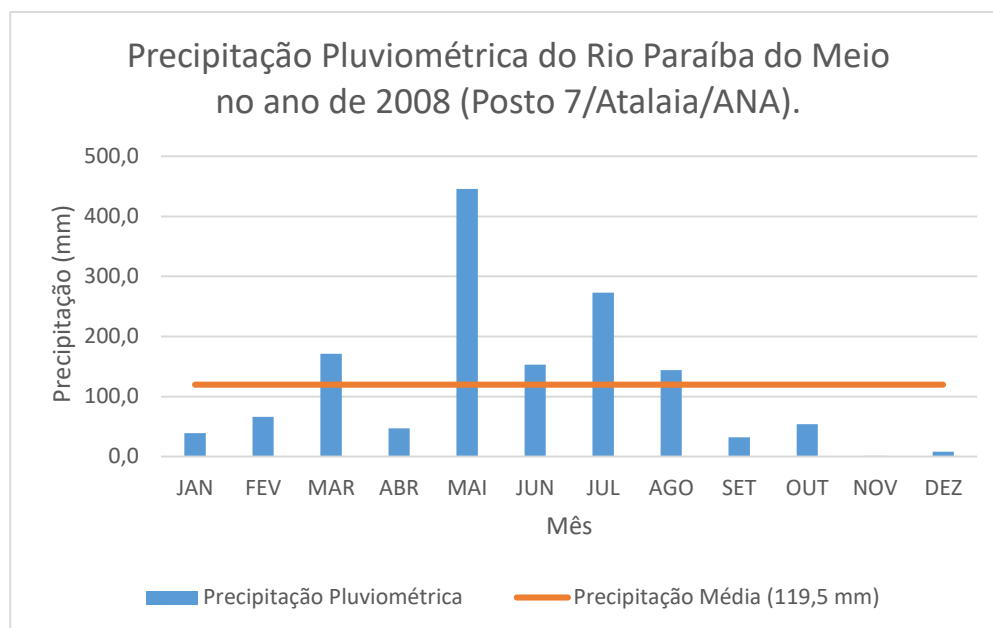


Figura 23 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2008). Fonte: SEMARH, 2019.

Observa-se que o período chuvoso anual é compreendido entre maio e agosto – inclusive é nesse período que ocorre uma concentração de precipitações acima da média anual (119,5 mm). O mês com maior precipitação é o mês de maio com 446,0 mm e o mês de novembro com o menor valor, 1,0 mm. Vale ressaltar que de janeiro a março ocorre um leve aumento progressivo da precipitação, variando de 39,0 mm a 171,0 mm. O período com os menores valores de precipitação está compreendido entre setembro e dezembro.

A precipitação máxima diária registrada foi no mês de maio (91,0 mm). A precipitação média para o ano de 2008 foi de 119,5 mm.

Abaixo tem-se os dados de precipitação de 2009 na figura 24:

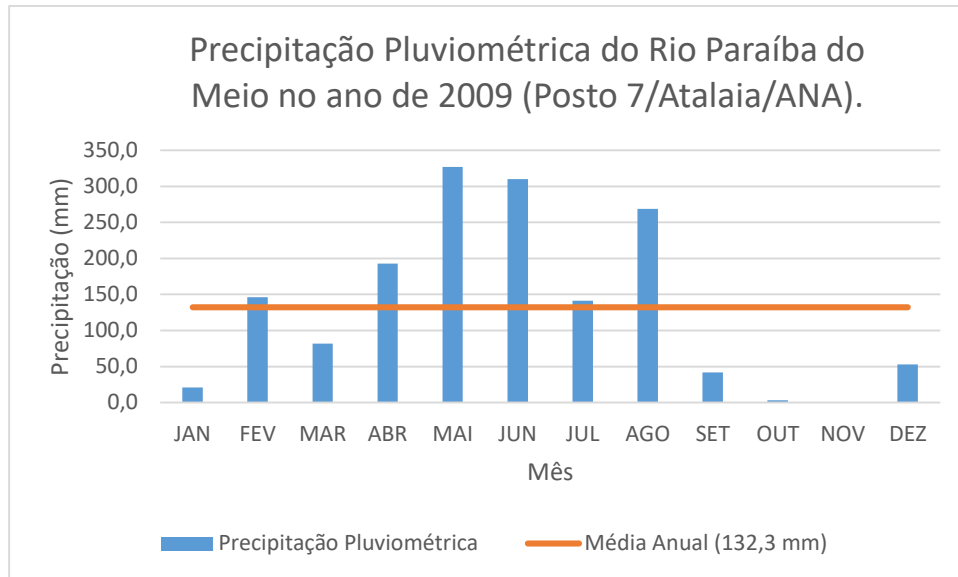


Figura 24 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2009). Fonte: SEMARH, 2019.

Conforme o gráfico acima, é possível identificar que o período chuvoso é compreendido entre os meses de fevereiro a agosto, tal período possui uma flutuação de 82,0 mm a 327,0 mm – esse período é caracterizado também pela incidência de valores de precipitação cima da média anual (132,3 mm). O mês com maior valor de precipitação é o mês de maio, com 327,0 mm. O menor valor de precipitação é outubro, com 3,0 mm. Em linhas gerais é demonstrado no gráfico a presença de oscilações constantes nos valores de precipitação para o período chuvoso.

O período com os menores valores de precipitação está compreendido entre setembro e novembro. A precipitação máxima diária registrada foi no mês de junho (109,0 mm). A precipitação média para o ano de 2009 foi de 132,3 mm.

Segue o ano de 2010 na figura 25 com dados de precipitação que vai de janeiro a maio. Os demais meses não possuem dados de medição.

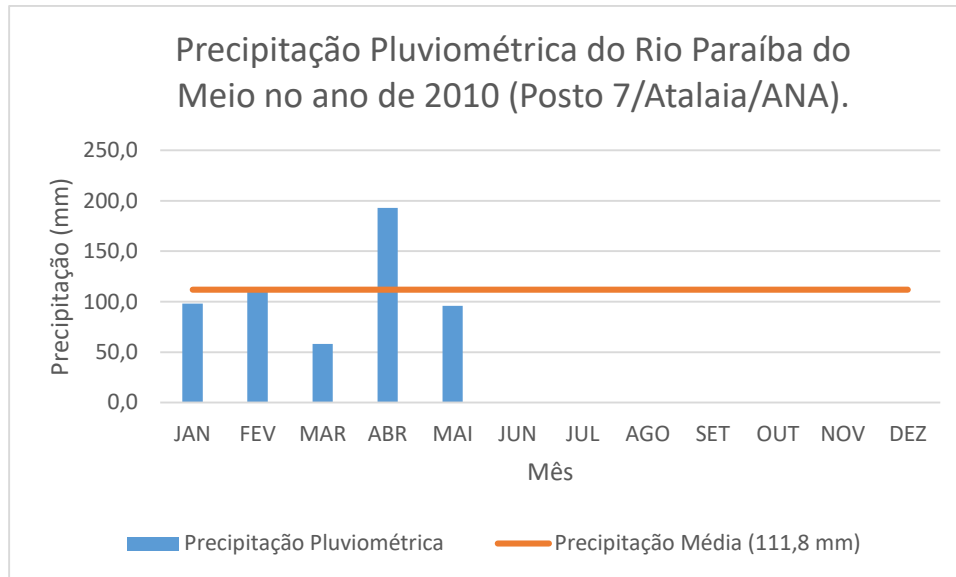


Figura 25 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2010). Fonte: SEMARH, 2019.

Seguindo a linha de raciocínio e análise adotada nesta pesquisa diante da falta de dados de precipitação para alguns meses, o período recorte apresentado no gráfico será associado ao mesmo período do ano de 2009. Em 2009 há uma disparidade considerável entre o mês de janeiro e fevereiro, logo em 2010 isso não se repete, pois a pluviosidade em janeiro foi de 98,0 mm e em fevereiro de 114,0 mm. Um ponto que foi observado é que em 2010 a precipitação no mês de maio foi de 96,0 mm, quando em 2009, foi de 327,0 mm.

Nos meses indicados no gráfico o maior valor de precipitação foi de 193,0 mm para o mês de abril (sendo único mês que está acima da precipitação média) e o menor valor foi de 58,0 mm para o mês de março. Há uma oscilação entre 58,0 mm e 193,0 mm no período recorte representado no gráfico.

A precipitação máxima diária registrada foi no mês de janeiro (49,0 mm). A precipitação média para o ano de 2010 foi de 111,8 mm.

Os dados de precipitação para o ano de 2011 seguem no gráfico da figura 26:

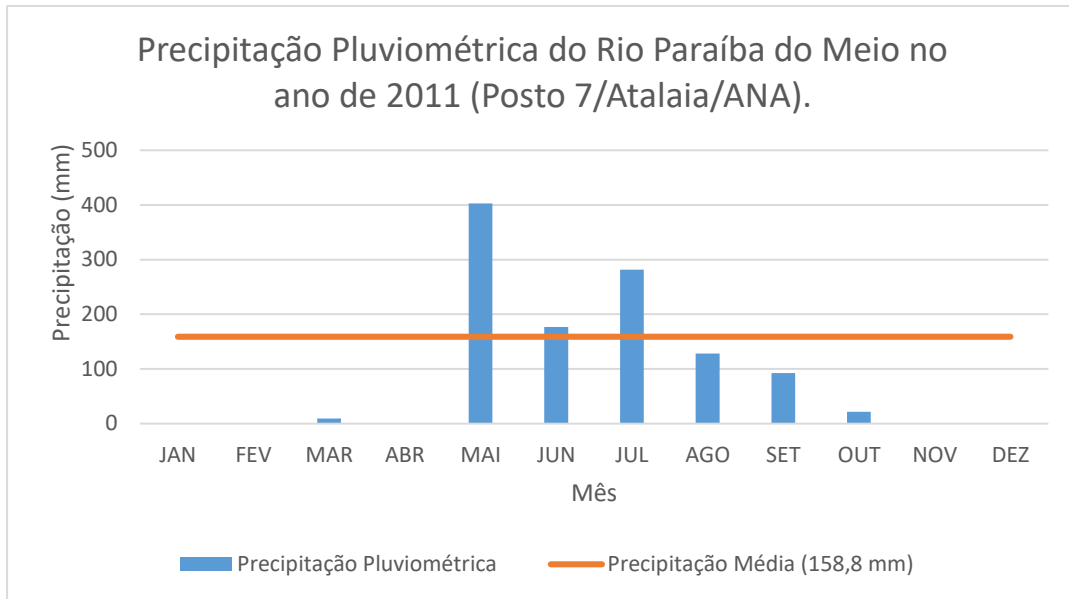


Figura 26 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2011). Fonte: SEMARH, 2019.

Devido alguns meses não possuírem dados de precipitação, o foco de análise será o período compreendido entre maio e outubro. Devido ao baixo valor de precipitação para o mês de março (9,2 mm), acredita-se que o período chuvoso do ano de 2010 vai de Maio a Setembro, variando de 92,2 mm a 402,9 mm. Assim como em outros anos da série temporal aqui apresentada, o mês de maio possui o maior valor de precipitação (402,9 mm). Tal período chuvoso possui valores acima da precipitação média anual (158,8 mm).

A precipitação máxima diária registrada foi no mês de maio (402,9 mm). A precipitação média para o ano de 2011 foi de 158,8 mm.

Em relação ao ano de 2012, os dados de precipitação mensal são detalhados na figura 27:

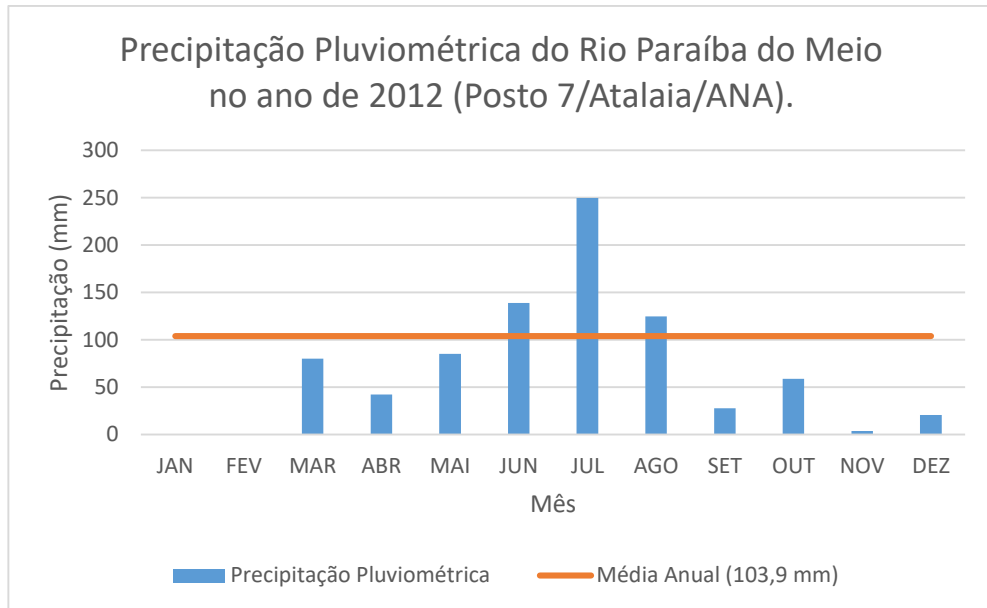


Figura 27 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2012). Fonte: SEMARH, 2019.

O período chuvoso se inicia no mês de maio até agosto, fluando entre 85,2 mm e 249,6 mm – nesse período incidem valores de precipitação acima da média anual. O mês de julho é o que possui maior valor de precipitação: 249,6 mm. O período com os menores valores de precipitação vão de setembro a dezembro (variam de 3,6 mm a 58,8 mm), assim como se tem observado nos anos antecedentes. O menor valor de precipitação é do mês de novembro, com 3,6 mm.

A precipitação máxima diária registrada foi no mês de julho (249,6 mm). A precipitação média para o ano de 2012 foi de 103,9 mm.

Abaixo seguem os dados de precipitação para o ano de 2013, conforme figura 28:

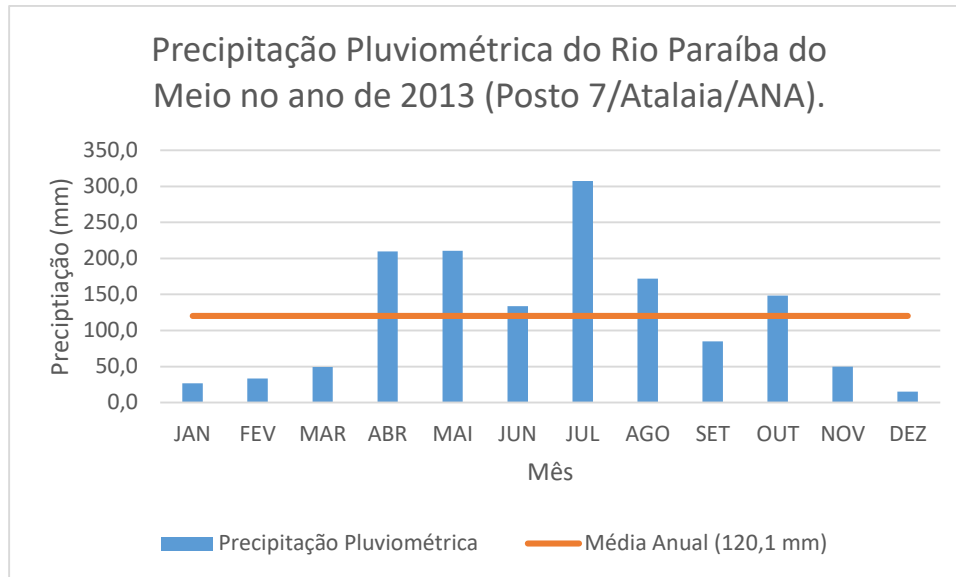


Figura 28 - Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2013). Fonte: SEMARH, 2019.

De acordo com os dados do gráfico acima o mês com maior valor de precipitação é julho, com 307,4 mm, logo o menor valor é do mês de janeiro, com 26,8 mm. O período chuvoso vai do mês de abril até outubro, variando entre 84,7 mm e 307,4 mm (tais flutuações estão acima da precipitação média anual). Após outubro há uma tendência de queda nos valores de precipitação. O período com menores valores de precipitação vão de janeiro a março, variando de 26,8 mm a 49,4 mm. A precipitação máxima diária registrada foi no mês de julho (84,0 mm). A precipitação média para o ano de 2013 foi de 120,1 mm.

- Variabilidade da média anual em correlação com a média da série histórica

Dando continuidade a essa análise da variabilidade mensal e poder compreender o comportamento da precipitação entre 2005 e 2019 em Atalaia – Alagoas, se faz necessário trazer as médias anuais e correlacionar as mesmas com a média da série histórica. Observe o gráfico da figura 29:

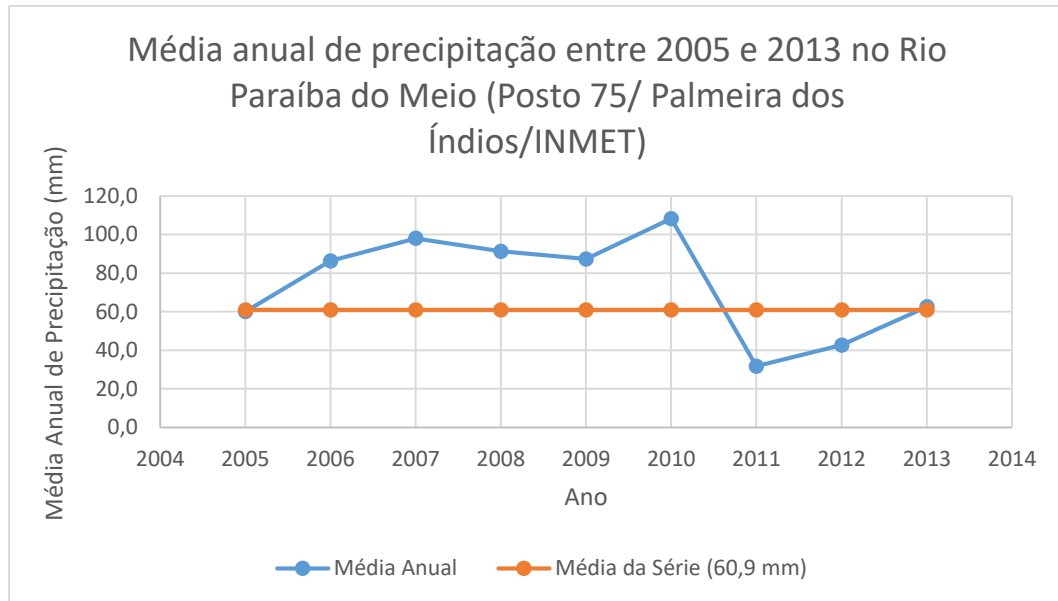


Figura 29 - Gráfico da Média Anual de precipitação (2005-2013) no Rio Paraíba do Meio. Fonte: SEMARH, 2019.

É possível verificar no gráfico que ao decorrer da série histórica, que possui uma média de 60,9 mm, as médias anuais vão elevando seus valores acima da média histórica do ano de 2005 a 2010. Após 2010 ocorre uma queda exponencial no valor de precipitação média anual de 108,2 mm em 2010 para 31,7 mm em 2011, ficando abaixo da média da série histórica e continua abaixo dessa média, com pontuais oscilações, até atingir um valor acima da média da série no ano de 2013.

- Precipitação média mensal e Desvio Padrão

Abaixo tem-se um gráfico na figura 30 que detalha o comportamento da precipitação média mensal dentre 2005 e 2019, sendo que o mesmo traz os meses agrupados em mesmo período, isto é, todos os janeiros, todos os fevereiros, etc. de toda série histórica. Neste sentido, foi trabalhado em cima desses dados o parâmetro estatístico Desvio Padrão.

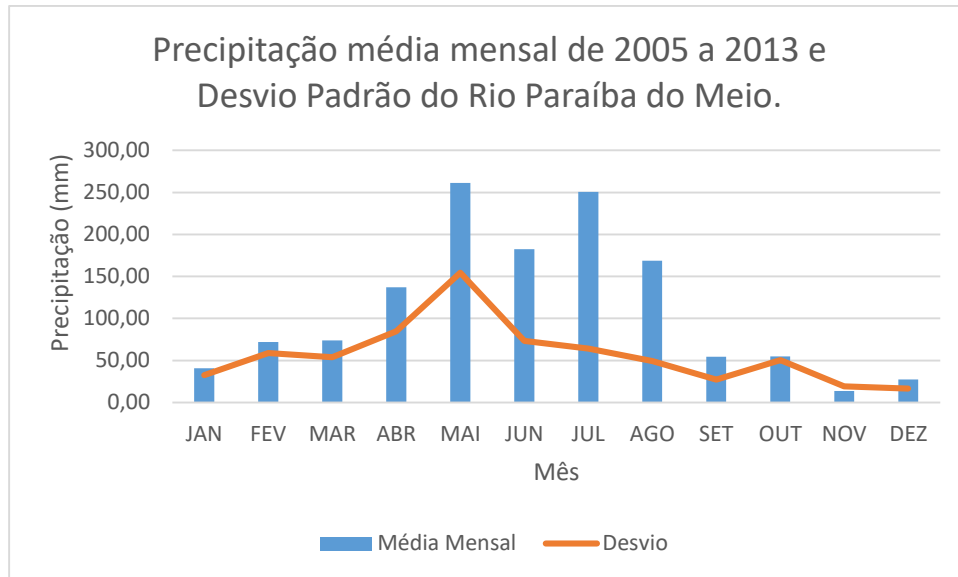


Figura 30 - Gráfico de Precipitação Média Mensal (2005-2013) e Desvio Padrão do Rio Paraíba do Meio. Fonte: SEMARH, 2019.

No referido gráfico é possível identificar que de Janeiro a Abril a elevação da média mensal de precipitação não é alta, quando comparada aos valores de Desvio Padrão, mesmo estando acima do Desvio. No entanto, os meses de Maio, Junho, Julho e Agosto são caracterizados como os meses onde os valores da média mensal de precipitação são bem superiores aos de Desvio e isso coincide com o período chuvoso. Em toda série histórica verificou-se que apenas o mês de Novembro possui valor de precipitação mensal média abaixo do Desvio Padrão.

5.3 Estudo de série histórica de vazão (1989 a 2013)

No intuito de trazer uma compreensão mais abrangente acerca da vazão do Rio Paraíba do Meio, visto que a mesma teve, nos presentes resultados aqui obtidos para o ano de 2013, papel importante nas alterações de alguns parâmetros químicos e físicos, é trazido nesta parte do trabalho toda uma análise do comportamento da vazão entre 1989 e 2013.

Os dados que serviram de base para elaboração desta série histórica foram obtidos por meio da ferramenta Hidroweb, a mesma integra o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). A Estação Fluviométrica utilizada foi a de Atalaia – Alagoas (Código39870000 – ANA), visto que foi nesse município que ocorreram as coletas de amostras para análise em laboratório.

- Análise da vazão média anual com média da série histórica

O gráfico da figura 31 mostra o comportamento da vazão média anual, isto é, desde 1989 a 2013, bem como traz a média histórica.

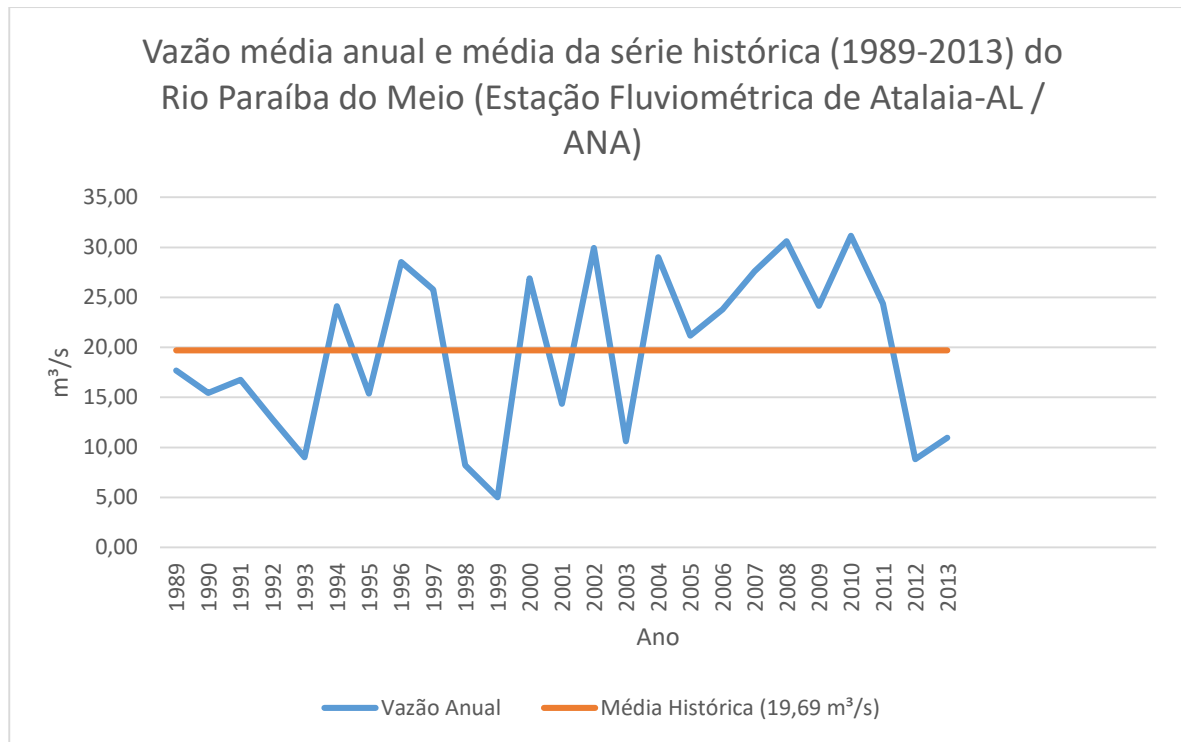


Figura 31 - Gráfico da vazão média anual com média da série histórica (1989-2013) do Rio Paraíba do Meio. Fonte: SEMARH, 2019.

Como pode ser observado ao longo da série histórica ocorrem oscilações significativas tanto acima como abaixo da média histórica (19,69 m³/s). De 1989 a 1993 há uma queda acentuada da vazão e tal situação ocorre abaixo da média histórica. A partir de 1993 ocorre uma elevação na vazão até 1994, depois ocorre outra baixa na vazão e abaixo da média histórica. Esse comportamento se repete ao longo da série, no entanto, cabe destacar situações específicas, como por exemplo, o período de 2005 a 2011 é considerado o que ficou por mais tempo com elevados e crescidos valores de vazão, sobretudo acima da média histórica. Outra inferência se refere ao fato de que no período de 2012 a 2013 os valores de vazão tornam a ficar a baixo da média histórica.

- Análise das médias mensais e desvio padrão histórico

O gráfico da figura 32 traz os dados de média mensal para série histórica, sendo todos os anos representados da seguinte maneira: todos os janeiros da série, todos os fevereiros da série, etc. Nesse contexto, é inserido o parâmetro estatístico Desvio Padrão.

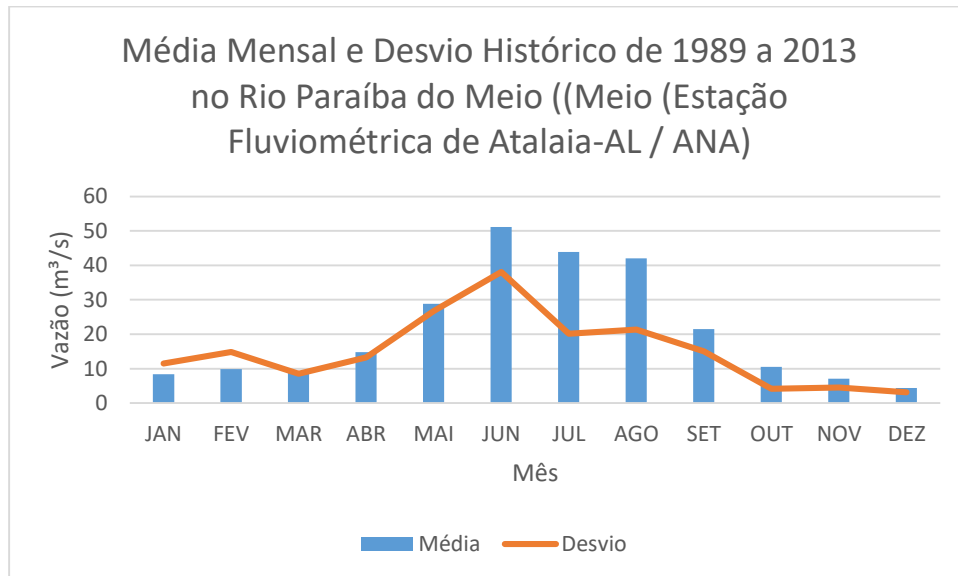


Figura 32 - Gráfico da Média Mensal e Desvio Histórico (1989-2013) do Rio Paraíba do Meio. Fonte: SEMARH, 2019.

O gráfico evidencia que em muitos recortes temporais ocorre de os valores de vazão estarem abaixo do valor de desvio, como nos janeiros e fevereiros da série. Logo, em outros recortes tem-se o contrário, como nos setembros. Vale salientar também que no período chuvoso da série é que ocorre uma extrapolação considerável dos valores de vazão acima do desvio, cabendo destaque para os junhos, julhos, agostos e setembros.

5.4 Caracterização da concentração e carga de nutrientes

Nitrogênio:

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Esta importância deve-se principalmente à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. Quando presente em baixas concentrações, pode atuar como fator limitante na produção primária de ecossistemas aquáticos. (Esteves, 1998, p. 72)

O nitrogênio está presente nos ambientes aquáticos sob várias formas, por exemplo: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O), nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, aminas, aminoácidos, etc.), nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos), etc. (Esteves, 1998, p. 72)

É importante destacar que o nitrogênio é encontrado na forma de N_2 na atmosfera e é o principal componente do ar, sendo assim, o mesmo constitui cerca de 78% de sua composição. Um aspecto a ser pontuado é que uma quantidade pequena de espécies são capazes de utilizá-lo dessa forma. Desse modo, apenas alguns tipos de bactérias e cianobactérias conseguem. Em se tratando de componentes vivos, o nitrogênio tem importância salutar, isso porque faz parte da constituição de proteínas e ácidos nucleicos.

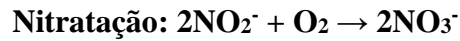
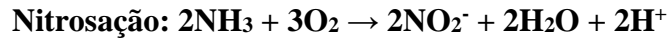
Neste sentido, é primordial compreender como se desencadeia o Ciclo do Nitrogênio. Segundo Esteves (1998, p. 79)

Em nenhum ciclo biogeoquímico os microorganismos têm maior participação do que no ciclo do nitrogênio. Neste ciclo podemos encontrar representantes de praticamente todos os grupos fisiológicos (autotróficos, heterotróficos, aeróbios, anaeróbios, etc.), que tomam parte em quatro processos básicos: amonificação, nitrificação, desnitrificação e amonificação do nitrato. (ESTEVES, 1998, p. 79)

Resumidamente, o Nitrogênio (N_2) presente na atmosfera, estando em estado gasoso, passa pelo processo denominado de Fixação (pode ser físico, industrial ou biológico). Trata-se na verdade na transformação de N_2 em outros compostos nitrogenados. Sendo assim, ainda falando do processo de Fixação, os organismos (bactérias) retiram do ar o N_2 para formar Amônia. Esta, é tóxica e o nível aceitável é zero.

O nitrogênio está suscetível também a ser oxidado em nitrito e nitrato. O processo pelo qual ocorre essa transformação é chamado de nitrificação. Trata-se da ação de bactérias nitrificantes (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*), que, por sua vez, se utilizam da Amônia em evidência, e transformam-na em Nitrito (NO_2^-). Este, consideravelmente mais tóxico que a própria Amônia.

Existem duas etapas básicas que caracterizam o processo de nitrificação: a nitrosação, em que atua a bactéria do gênero *Nitrosomonas*, e a nitratação, em que atua a bactéria do gênero *Nitrobacter*. Na **Nitrosação**, a amônia é convertida em Nitrito (NO_2^-); na **Nitratação**, os íons Nitrito são transformados em Nitrato (NO_3^-), conforme é detalhado abaixo.



Na figura 33 segue um esquema que demonstra todo processo do Ciclo do Nitrogênio:

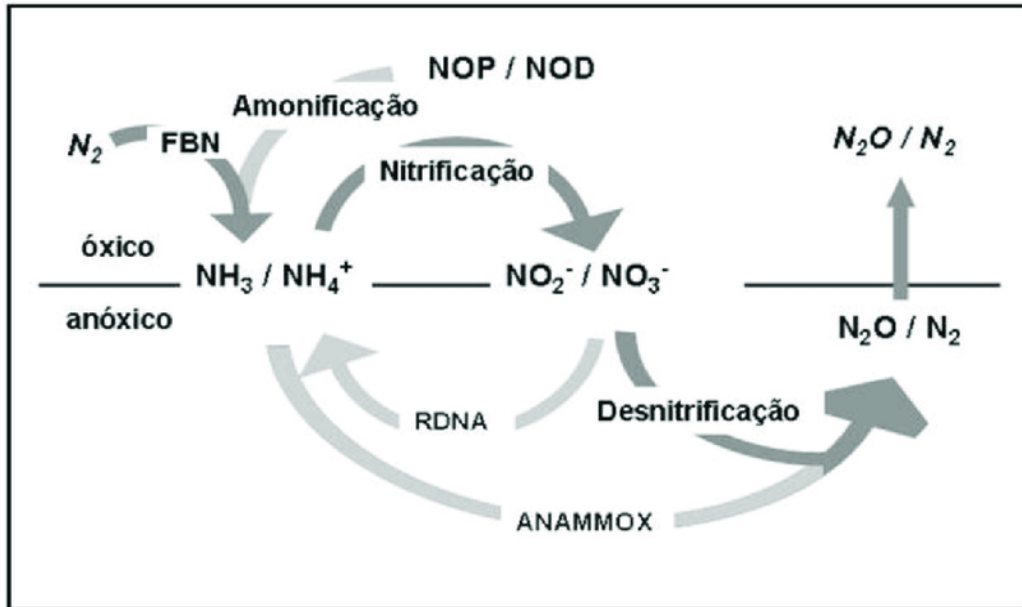


Figura 33 - Esquema simplificado do Ciclo do Nitrogênio em ecossistemas aquáticos.

Nitrogênio em forma de Amônio:

Geralmente apresenta-se dissociada, na dependência do pH, sob a forma iônica (NH_4^+). A amônia (NH_3), juntamente com a sua forma dissociada (NH_4^+), representa a primeira fase de oxidação da matéria orgânica nitrogenada. É também, a forma de assimilação de nitrogênio, preferida pelo fitoplâncton, em razão de não haver necessidade de sua redução, como ocorre no caso do nitrato. (MEDEIROS et al, 2003, p. 12)

O CONAMA, em seu Art. 14 do CONAMA, estabelece como valores padrões para Amônio levando em conta outro parâmetro, isto é, o pH. Desse modo, para pH menor ou igual a 7,5 deve se ter uma valor máximo de 3,7 mg/L N; para pH maior que 7,5 e menor ou igual a 8,0 deve haver um valor máximo de 2,0 mg/L N; para pH maior que 8,0 e menor ou igual a 8,5, o valor máximo deve ser de 1,0 mg/L N; logo pH maior que 8,5, o valor máximo estabelecido é de 0,5 mg/L N.

Tomando como base os valores máximos padrões anteriormente evidenciados, é possível verificar na tabela 6 que não há estrapolação da quantidade de Amônio e, por

consequente, está dentro dos padrões. Ocorre uma variação na concentração de Amônio que vai de 0,02 mg/L N a 0,19 mg/L N. Logo, o pH varia de 6,93 a 8,16.

Tabela 6 - Dados de Nitrogênio (Amônio), pH e Vazão.

Mês	Nitrogênio Amônio	Nitrogênio Amônio	pH	Vazão
	$\mu\text{g L}^{-1} \text{N.NH}_4^+$	mg/L		
Janeiro	30,30	0,03	7,02	8,007174
Fevereiro	24,89	0,02	7,08	10,70012
Março	38,39	0,04	6,93	14,48065
Abril	45,99	0,05	7,59	17,48992
Mai	135,00	0,14	7,54	26,36765
Junho	55,69	0,06	7,77	38,81649
Julho	137,11	0,14	7,33	53,60183
Agosto	154,41	0,15	7,28	36,65847
Setembro	94,50	0,09	7,88	20,94183
Outubro	186,05	0,19	7,83	12,33625
Novembro	42,19	0,04	8,16	7,979072
Dezembro	43,03	0,04	7,22	6,157419

Fonte: LABMAR, 2019.

No gráfico (figura 34) tem-se uma demonstração da relação da variação da quantidade de Amônio em relação a Nitrito e Nitrato. E, por sua vez, a Amônia é o segundo composto químico ligado ao Nitrogênio que mais possui valores variantes e altos ao longo do ano de 2013.

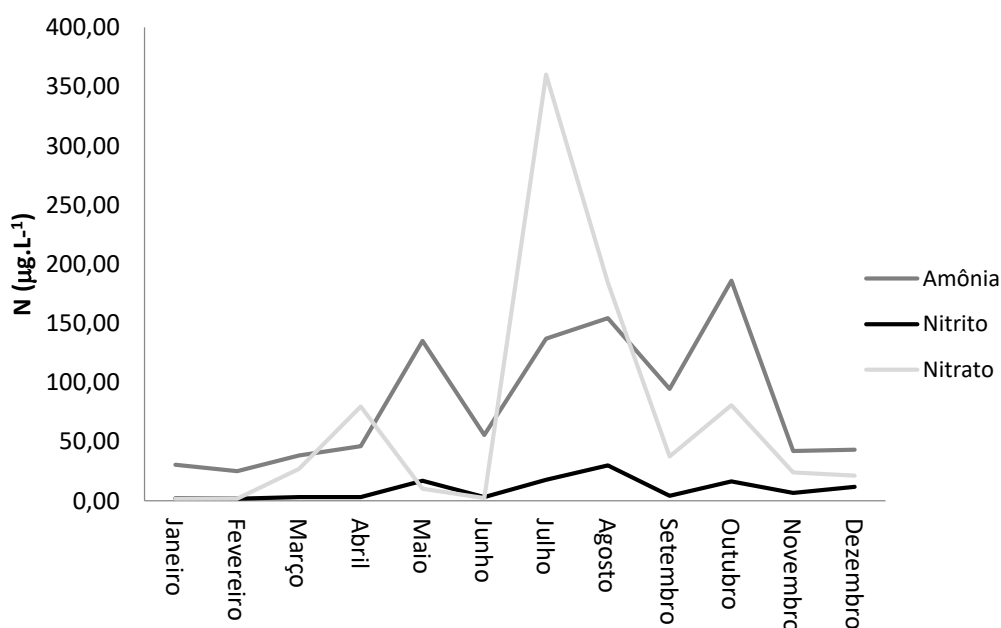


Figura 34 - Gráfico da variação de Amônia, Nitrito e Nitrato no ano hidrológico de 2013. Fonte: LABMAR, 2019.

Fazendo uma correlação do gráfico anterior com o gráfico (figura 35) de vazão abaixo, onde o mesmo demonstra uma elevação significativa da vazão no período que vai de Abril (2013), com aproximadamente 17 m³/s, a Julho (2013), com aproximadamente 53,60 m³/s, é possível evidenciar que neste mesmo período (caracterizado pela chegada do inverno e consequente aumento da vazão devido o Rio Paraíba do Meio ser de Regime Pluvial) também ocorre uma elevação considerável de Nitrato e Amônia, essencialmente nesta ordem.

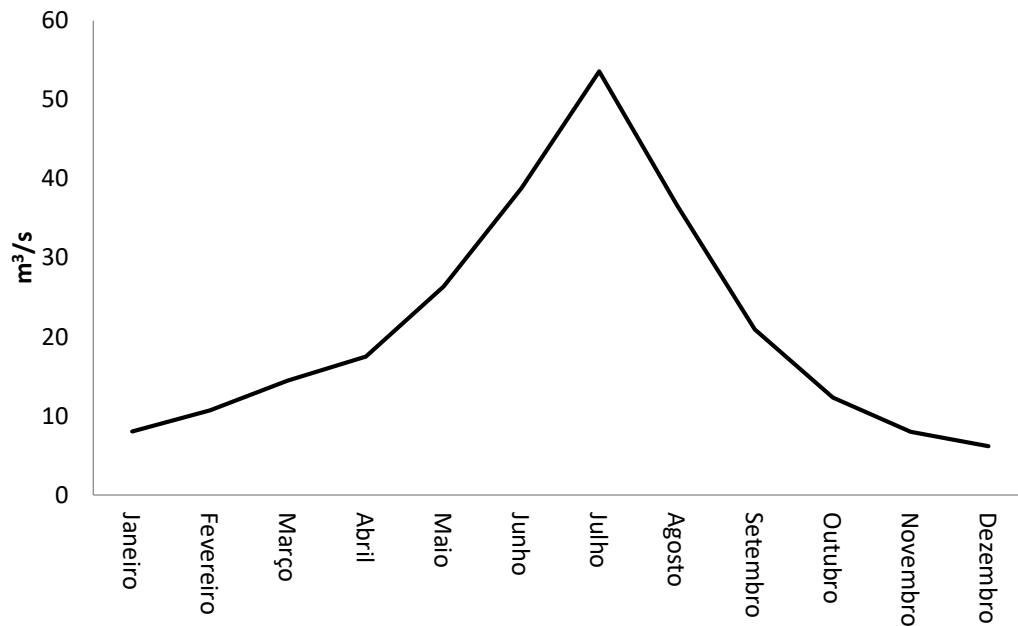


Figura 35 - Gráfico do comportamento da vazão no Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013. Fonte: LABMAR, 2019.

Abaixo é demonstrado na tabela 7 o Fluxo Momentâneo, diário e mensal de Amônio no Rio Paraíba do Meio. E mais, a Média Anual e Carga Anual de Amônio.

Tabela 7 - Tabela de fluxos e cargas de Nitrogênio Amônio.

	N(Kg/L)	Fluxo Momentâneo (KG/S)	Fluxo diário	Dias do Mês	Fluxo mensal (Kg)	Média anual Kg
Janeiro	3,03E-08	0,000242617	20,96214118	31	649,8263767	5642,570451
Fevereiro	2,49E-08	0,000266341	23,01188031	28	644,3326485	5642,570451
Março	3,84E-08	0,000555939	48,03313449	31	1489,027169	5642,570451
Abril	4,6E-08	0,000804289	69,49057687	30	2084,717306	5642,570451
Mai	1,35E-07	0,003559747	307,5621527	31	9534,426735	5642,570451
Junho	5,57E-08	0,002161663	186,7676449	30	5603,029346	5642,570451
Julho	1,37E-07	0,00734955	635,0010865	31	19685,03368	5642,570451
Agosto	1,54E-07	0,005660478	489,065326	31	15161,02511	5642,570451
Setembro	9,45E-08	0,001979067	170,9913678	30	5129,741033	5642,570451
Outubro	1,86E-07	0,002295195	198,3048687	31	6147,450929	5642,570451
Novembro	4,22E-08	0,000336628	29,08465045	30	872,5395134	5642,570451
Dezembro	4,3E-08	0,00026497	22,89340531	31	709,6955647	5642,570451
					5642,570451	Média anual
					67710,84541	Carga anual

Fonte: LABMAR, 2019.

No gráfico (figura 36) abaixo que traz uma associação entre a Média Mensal e a Média Anual de Amônio no Rio Paraíba do Meio, avalia-se que nos meses de Maio (9534,42 Kg de Fluxo Mensal), Julho (19685,03 Kg de Fluxo Mensal), Agosto (15161,02 Kg de Fluxo Mensal) e Outubro (6147,45 Kg de Fluxo Mensal) ocorre uma elevação de Amônio acima da Média Anual (5642,57 Kg). E mais, é especificamente durante o período do inverno que ocorre essas estrapolações acima da Média Anual. O que, por sua vez, possibilita inferir que o aumento de vazão (devido o inverno) influenciou na elevação da Carga Mensal acima da Média Anual.

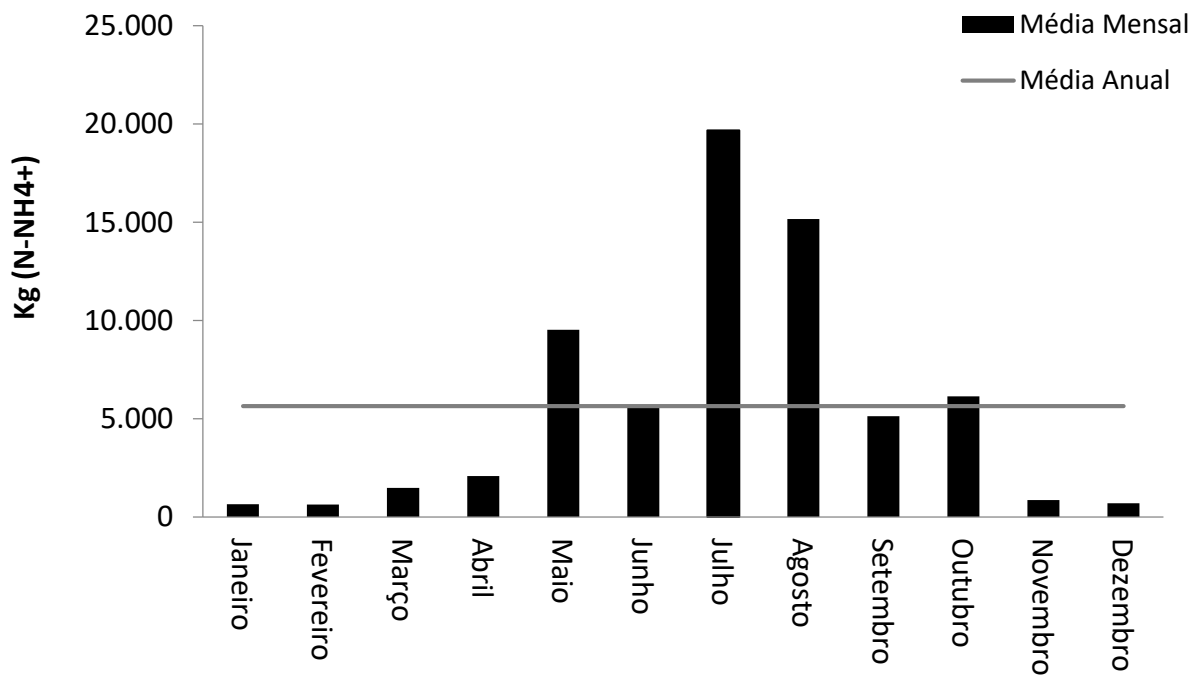


Figura 36 - Gráfico que mostra o comportamento da concentração e fluxo de Amônio no Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013. Fonte: LABMAR, 2019.

Nitrogênio em forma de Nitrito:

O nitrito possui importante papel, como passo intermediário na oxidação da amônia a nitrato. Já dentro do balanço geral dos nitrogenados dissolvidos, em função de sua instabilidade química, geralmente são encontrados em baixas concentrações, notadamente em ambientes oxigenados. (MEDEIROS et al, 2003, p. 12)

O CONAMA, em seu Art. 14 estabelece o valor máximo de 1,0 mg/L N. Conforme é demonstrado na tabela 8, em todo o ano de 2013 avaliou-se baixas concentrações de Nitrito, caracterizando o ecossistema aquático do estudo de caso como ambiente oxigenado. E mais, as variações nos valores de Nitrito foram bem irrisórias. Há uma variação da concentração de Nitrito que vai de 0,001 mg/L N a 0,030 mg/L N.

Tabela 8 - Dados de Nitrogênio (Nitrito) e Vazão.

Mês	Nitrogênio Nitrito	Nitrogênio Nitrito	Vazão
	$\mu\text{g L}^{-1} \text{N.NO}_2^-$	mg/L	m^3/s
Janeiro	1,92	0,001	8,007174
Fevereiro	1,68	0,001	10,70012
Março	3,17	0,003	14,48065
Abril	2,98	0,002	17,48992
Mai	16,76	0,017	26,36765
Junho	3,17	0,003	38,81649
Julho	17,69	0,018	53,60183
Agosto	29,99	0,030	36,65847
Setembro	4,28	0,004	20,94183
Outubro	16,39	0,016	12,33625
Novembro	6,52	0,007	7,979072
Dezembro	11,73	0,012	6,157419

Fonte: LABMAR, 2019.

Na tabela 9 é demonstrado o Fluxo Momentâneo, diário e mensal de Nitrito no Rio Paraíba do Meio. E mais, a Média Anual e Carga Anual de Amônio.

Tabela 9 - Fluxos e cargas de Nitrogênio (Nitrito) no ano hidrológico de 2013.

	N(Kg/L)	Fluxo		Dias do Mês	Fluxo mensal (Kg)	Média anual Kg
		Momentâneo (KG/S)	Fluxo diário			
Janeiro	1,92E-09	1,53337E-05	1,324834996	31	41,06988486	702,6702307
Fevereiro	1,68E-09	1,7937E-05	1,54975429	28	43,39312013	702,6702307
Março	3,17E-09	4,58516E-05	3,961582462	31	122,8090563	702,6702307
Abril	2,98E-09	5,21226E-05	4,503390888	30	135,1017267	702,6702307
Mai	1,68E-08	0,00044201	38,18964895	31	1183,879118	702,6702307
Junho	3,17E-09	0,000122909	10,6193241	30	318,5797231	702,6702307
Julho	1,77E-08	0,000948465	81,94735789	31	2540,368095	702,6702307
Agosto	3E-08	0,001099305	94,97994348	31	2944,378248	702,6702307
Setembro	4,28E-09	8,97141E-05	7,751294668	30	232,53884	702,6702307
Outubro	1,64E-08	0,000202201	17,47019299	31	541,5759828	702,6702307
Novembro	6,52E-09	5,20162E-05	4,494197316	30	134,8259195	702,6702307
Dezembro	1,17E-08	7,22532E-05	6,242679202	31	193,5230553	702,6702307
					702,6702307	Média anual
					8432,042769	Carga anual

Fonte: LABMAR, 2019.

No gráfico (figura 37) abaixo que traz uma associação entre a Média Mensal e a Média Anual de Nitrito no Rio Paraíba do Meio, avalia-se que nos meses de Maio (1183,88 Kg de Fluxo Mensal), Julho (2540,37 Kg de Fluxo Mensal) e Agosto (2944,38 Kg de Fluxo Mensal)

ocorre uma elevação de Nitrito acima da Média Anual (702,67 Kg) – salientando também que os meses que isso ocorre são os mesmos relacionados a Amônia para a mesma avaliação em questão. E mais, é especificamente durante o período do inverno que ocorre duas das maiores estrapolações acima da Média Anual. O que, por sua vez, possibilita inferir que o aumento de vazão (devido o inverno) influenciou na elevação da Carga Mensal acima da Média Anual de Nitrito.

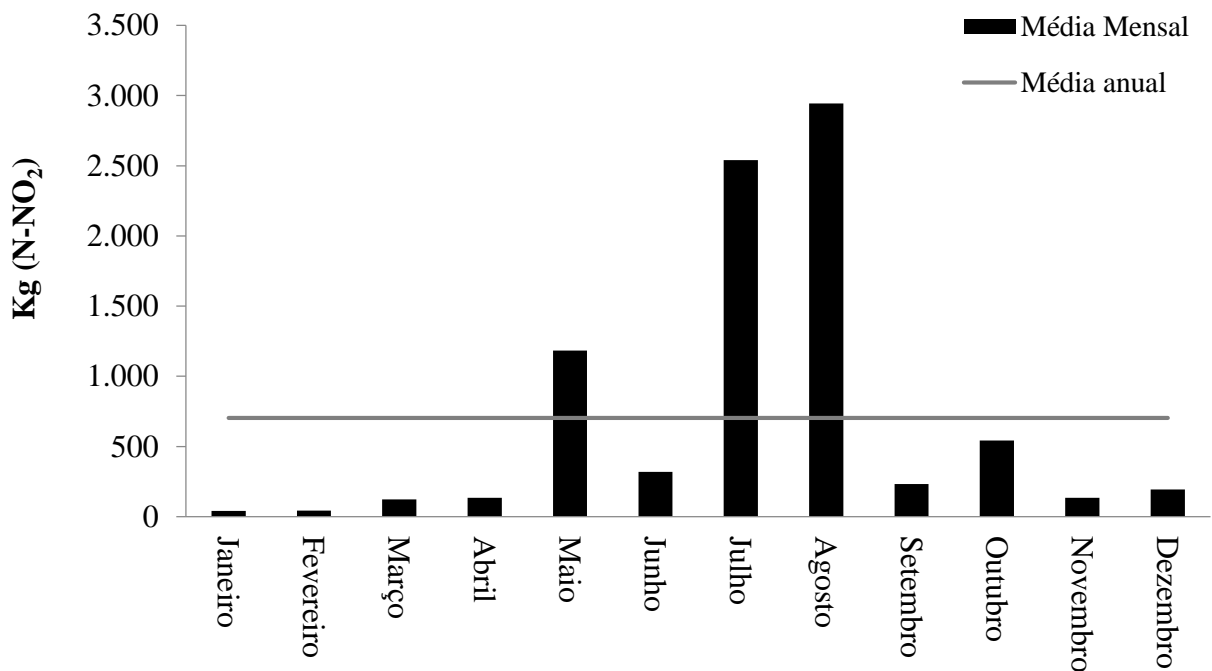


Figura 37 - Gráfico do comportamento e fluxo de Nitrito no Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013. Fonte: LABMAR, 2019.

Nitrogênio em forma de Nitrato:

O nitrato representa o último estágio da oxidação do nitrogênio, sendo também a sua forma de maior estabilidade química, sendo considerado o único estágio de oxidação estável termodinamicamente do nitrogênio na presença de oxigênio (Grasshoff, 1983), sua concentração depende da disponibilidade de oxigênio dissolvido, uma vez que os microorganismos que oxidam nitrito a nitrato são aeróbicos. Os nitratos juntamente com a amônia, são utilizados como nutrientes pelo fitoplâncton. Em alguns ecossistemas aquáticos o nitrato pode ser o fator limitante. (MEDEIROS et al, 2003, p. 12)

O CONAMA, em seu Art. 14, estabelece o valor máximo 10,0 mg/L N. Como pode ser observado na tabela 10 os valores que caracterizam a concentração de Nitrato no Rio Paraíba

do Meio são baixos e estão dentro do padrão estabelecido pelo CONAMA, pois há uma variação da concentração de Nitrato que vai de 0,002 mg/L N a 0,360 mg/L N. Outro fato importante é que, no que se refere ao fitoplâncton (este usa o Nitrato como nutrientes), há pouca concentração de Nitrato para utilização do mesmo como nutriente.

Tabela 10 - Dados de Nitrogênio (Nitrato), pH e Vazão.

Mês	Nitrogênio Nitrato	Nitrogênio Nitrato	pH	Vazão
	$\mu\text{g L}^{-1} \text{N.NO}_3$	mg/L		
Janeiro	1,70	0,002	7,02	8,007174
Fevereiro	1,65	0,002	7,08	10,70012
Março	26,99	0,027	6,93	14,48065
Abril	79,67	0,080	7,59	17,48992
Mai	10,07	0,010	7,54	26,36765
Junho	2,32	0,002	7,77	38,81649
Julho	360,29	0,360	7,33	53,60183
Agosto	184,47	0,184	7,28	36,65847
Setembro	37,43	0,037	7,88	20,94183
Outubro	80,75	0,081	7,83	12,33625
Novembro	24,03	0,024	8,16	7,979072
Dezembro	21,17	0,021	7,22	6,157419

Fonte: LABMAR, 2019.

Na tabela 11 é demonstrado o Fluxo Momentâneo, diário e mensal de Amônio no Rio Paraíba do Meio. E mais, a Média Anual e Carga Anual de Amônio.

Tabela 11 - Fluxos e cargas de Nitrogênio (Nitrato) do Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013.

	N(Kg/L)	Fluxo Momentâneo (KG/S)	Fluxo diário	Dias do Mês	Fluxo mensal (Kg)	Média anual Kg
Janeiro	1,7E-09	1,36122E-05	1,17609373	31	36,45890562	6755,515843
Fevereiro	1,65E-09	1,76882E-05	1,5282588	28	42,7912464	6755,515843
Março	2,7E-08	0,000390893	33,77318718	31	1046,968802	6755,515843
Abril	7,97E-08	0,001393382	120,3882341	30	3611,647023	6755,515843
Mai	1,01E-08	0,000265465	22,93620328	31	711,0223016	6755,515843
Junho	2,32E-09	8,99509E-05	7,771754006	30	233,1526202	6755,515843
Julho	3,6E-07	0,019312313	1668,583871	31	51726,09999	6755,515843
Agosto	1,84E-07	0,006762235	584,2570847	31	18111,96963	6755,515843
Setembro	3,74E-08	0,000783888	67,72789303	30	2031,836791	6755,515843
Outubro	8,07E-08	0,00099615	86,06736324	31	2668,08826	6755,515843
Novembro	2,4E-08	0,000191763	16,56830147	30	497,0490442	6755,515843
Dezembro	2,12E-08	0,000130341	11,26146787	31	349,1055038	6755,515843
					6755,515843	Média anual
					81066,19012	Carga anual

Fonte: LABMAR, 2019.

No gráfico (figura 38) abaixo que traz uma associação entre a Média Mensal e a Média Anual de Nitrato no Rio Paraíba do Meio, avalia-se que nos meses de Julho (51726,099 Kg de Fluxo Mensal) e Agosto (18111,97 Kg de Fluxo Mensal) ocorre uma elevação de Nitrato acima da Média Anual. É importante frisar também que dentre Amônio, Nitrito e Nitrato, este último apresenta a maior elevação de concentração no ecossistema aquático, ou seja, no mês de Julho (durante o inverno e com maior valor de vazão em 2013, a saber: aproximadamente 53,60 m³/s) tem-se uma concentração de Nitrato no valor de 51726,01 Kg de fluxo mensal.

É importante assinalar que é durante o período do inverno que ocorre as estrapolações acima da Média Anual. O que, por sua vez, possibilita inferir que o aumento de vazão (devido o inverno) influenciou na elevação da Carga Mensal acima da Média Anual.

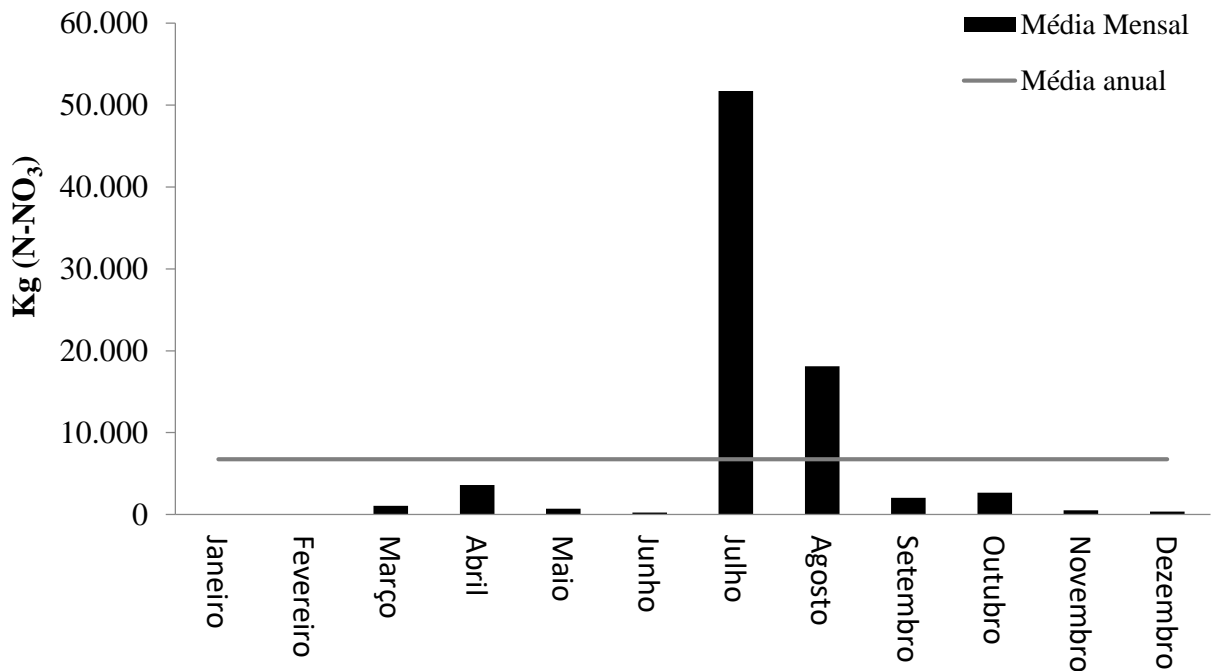


Figura 38 - Gráfico do comportamento e fluxo de Nitrato no ano hidrológico de 2013. Fonte: LABMAR, 2019.

Fósforo:

Segundo Esteves (1998, p. 85) “há muito é conhecida a importância do fósforo nos sistemas biológicos. Esta importância deve-se à participação deste elemento em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, tais como: armazenamento de energia (forma uma fração essencial da molécula de ATP) e estruturação da membrana celular (através dos fosfolipídios)”.

Outro ponto discutido por Esteves (1998, p. 85) é que “na maioria das águas continentais o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade. Além disso, tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial destes ecossistemas”.

Fósforo Orto e Fósforo Total:

Em se tratando do Fosfato Orto, Medeiros et al (2003, p. 13) enfatiza que o mesmo

Representa a principal forma de fosfato assimilada pelo fitoplâncton, sendo, portanto sua medição importante em estudos limnológicos. Podendo o íon ortofosfato (PO_4^{3-}) estar presente sob H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} ou na forma iônica propriamente dita (PO_4^{3-}). A presença e predominância das espécies químicas do íon fosfato anteriormente citadas, são uma função do pH do meio aquático. (MEDEIROS et al, 2003, p. 13)

Logo, no que se refere ao Fósforo Total, segundo Medeiros et al (2003, p. 13) “como o próprio nome sugere, é o somatório de todas as formas de fósforo encontrados no meio

aquático”. Desse modo, tem-se o Fósforo inorgânico particulado (mineral e adsorvidos a agregados inorgânicos); o Orgânico particulado (adsorvidos a agregados orgânicos e os da composição de organismos) e o Fósforo Total Dissolvido (ortofostato, colóides orgânicos e polifosfatos).

Lembrando que o P-Orto é o mais relevante por ser a principal forma de fosfato assimilada por vegetais aquáticos. Sua quantificação é indispensável em pesquisas. A presença de P-Orto depende da densidade e da atividade de organismos (fitoplanctônicos, macrófitas aquáticas, por exemplo), pois durante a fotossíntese podem assimilar grandes quantidades de íons. (ESTEVES, 1998, p. 86)

A resolução do CONAMA, nº 357, de 17 de março de 2005, no Artigo 2, denomina ambiente lântico aquele com água parada, com movimento lento ou estagnado. Logo, o denominado ambiente lótico refere-se aquele de águas continentais moventes. Dentro desse contexto o Rio Paraíba do Meio fica numa posição intermediária. Em seu Artigo 14, é estabelecido um valor máximo de fósforo total de 0,025 mg/L para ambientes intermediários (classe 1), com tempo de residência entre 2 e 40 dias e tributários diretos de ambiente lântico.

Desse modo, como foi avaliado e está descrito na tabela 12, todos os meses ocorreu que os valores de Fósforo Total ficaram fora do padrão (classe 1 de enquadramento) estabelecido pelo CONAMA (. A ocorrência da estapolação do padrão estabelecido é expressada pela variação entre 0,050 mg/L P e 0,250 mg/L P. Essa realidade indica que pode haver indícios de contribuição do Fósforo para enriquecimento de nutrientes que podem acarretar na Eutrofização Artificial. Outro aspecto é que indica que há uma gama de efluentes domésticos e/ou industriais sendo introduzidos diretamente no leito do rio – característica muito comum nas cidades inclusas na bacia hidrográfica do presente estudo.

Tabela 12 - Dados de Fosfato Orto, Fosfato Total e Vazão.

Mês	Fosfato Orto	Fosfato Total	P-Orto	P-Total	Vazão
	$\mu\text{g L}^{-1}$ P.PO ₄ ³	$\mu\text{g L}^{-1}$ P.HPO ₄ ²	mg/L	mg/L	m ³ /s
Janeiro	7,40	92,45	0,007	0,000	8,007174
Fevereiro	6,87	99,39	0,007	0,099	10,70012
Março	31,28	85,52	0,031	0,086	14,48065
Abril	43,49	95,54	0,043	0,096	17,48992
Mai	114,44	249,64	0,144	0,250	26,36765
Junho	137,32	214,20	0,137	0,214	38,81649
Julho	45,01	223,44	0,045	0,223	53,60183
Agosto	86,97	144,85	0,087	0,145	36,65847
Setembro	20,60	50,08	0,021	0,050	20,94183
Outubro	44,25	171,05	0,044	0,171	12,33625
Novembro	39,67	127,90	0,037	0,128	7,979072
Dezembro	46,54	135,61	0,047	0,136	6,157419

Fonte: LABMAR, 2019.

Conforme é mostrado no gráfico representado na figura 39, a partir de Abril ocorre uma elevação na concentração de Fósforo que, por sua vez, continua até o mês de Junho. Este é o mês em que ocorre a maior concentração de P, isto é, 13816,31 Kg.

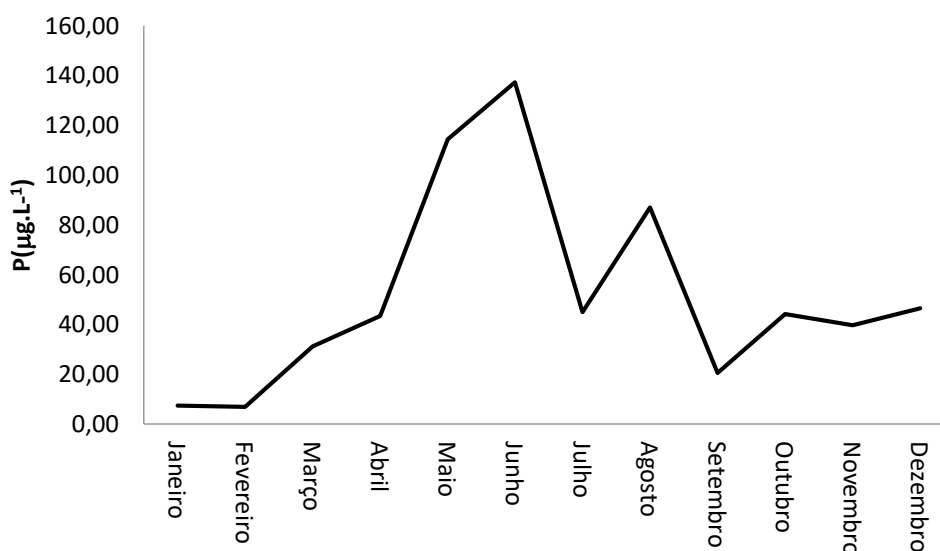


Figura 39 - Gráfico do comportamento da concentração de Fósforo no ano hidrológico de 2013.
Fonte: LABMAR, 2019.

Na tabela 13 é demonstrado o Fluxo Momentâneo, diário e mensal de Fósforo no Rio Paraíba do Meio. E mais, a Média Anual e Carga Anual de Amônio.

Tabela 13 - Fluxo e carga de Fosfato do Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013.

	Fluxo			Dias do Mês	Fluxo mensal (Kg)	Média anual Kg
	P(Kg/L)	Momentâneo (KG/S)	Fluxo diário			
Janeiro	7,4E-09	5,92531E-05	5,119466824	31	158,7034715	3715,713612
Fevereiro	6,87E-09	7,34682E-05	6,34765504	28	177,7343411	3715,713612
Março	3,13E-08	0,00045294	39,13398783	31	1213,153623	3715,713612
Abril	4,35E-08	0,000760556	65,71204572	30	1971,361372	3715,713612
Mai	1,14E-07	0,003017388	260,7023139	31	8081,77173	3715,713612
Junho	1,37E-07	0,005330368	460,5437886	30	13816,31366	3715,713612
Julho	4,5E-08	0,002412682	208,4557274	31	6462,127549	3715,713612
Agosto	8,7E-08	0,003188215	275,4617816	31	8539,315229	3715,713612
Setembro	2,06E-08	0,000431367	37,27010747	30	1118,103224	3715,713612
Outubro	4,42E-08	0,000545858	47,162139	31	1462,026309	3715,713612
Novembro	3,97E-08	0,000316537	27,3487767	30	820,4633009	3715,713612
Dezembro	4,65E-08	0,000286548	24,75772722	31	767,4895437	3715,713612
					3715,713612	Média anual
					44588,56335	Carga anual

Fonte: LABMAR, 2019

No gráfico (figura 40) abaixo que traz uma associação entre a Média Mensal e a Média Anual de Fósforo no Rio Paraíba do Meio, avalia-se que nos meses de Maio (8081,77 Kg de Fluxo Mensal), Junho (13816,31 Kg de Fluxo Mensal), Julho (6462,12 Kg de Fluxo Mensal) e Agosto (8539,31 Kg de Fluxo Mensal) ocorre uma elevação de Fósforo acima da Média Anual (3715,713612 Kg).

É importante assinalar que o período do inverno é onde ocorrem maiores concentrações de fósforo que e que estão acima da Média Anual.

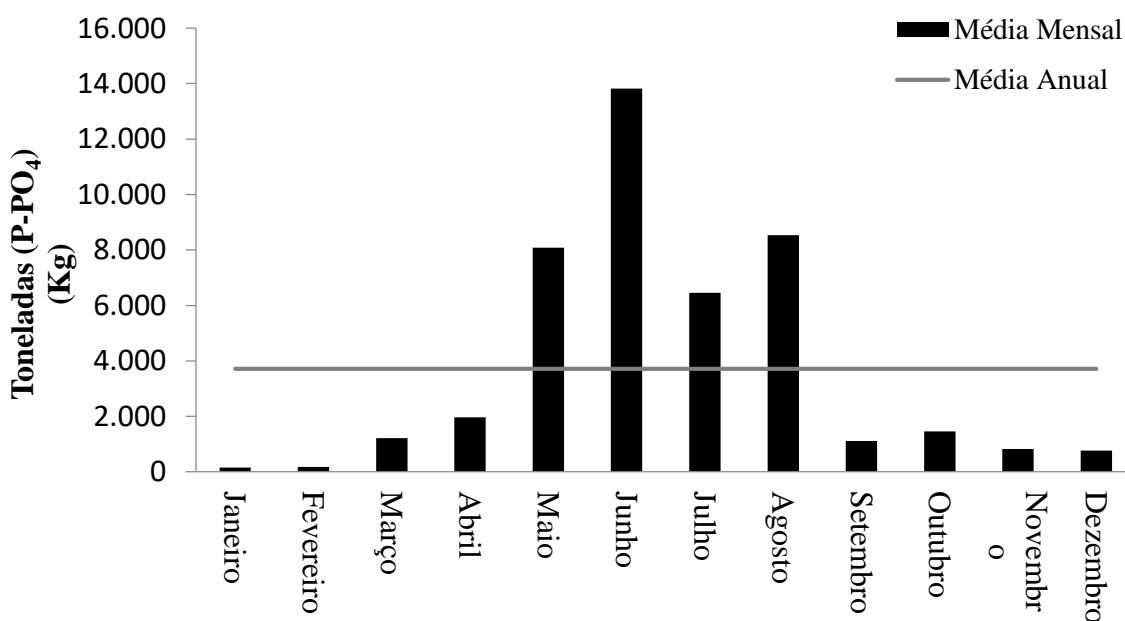


Figura 40 - Gráfico do comportamento e fluxo de Fósforo do Rio Paraíba do Meio no ano hidrológico de 2013. Fonte: LABMAR, 2019.

Carga anual de nutrientes:

A tabela 14 evidencia a concentração e carga anual de Amônio, Nitrato, Nitrito e Fósforo Orto. Será realizada uma comparação dos valores abaixo descritos com o de outras bacias hidrográficas para se ter uma panorama de compreensão maior dentro do contexto de estudo.

Tabela 14 - Resumo dos dados de Amônio, Nitrito, Nitrato e Fosfato Orto.

	Nitrogênio Amônio	Nitrogênio Nitrito	Nitrogênio Nitrato	Fosfato Orto
	µg L⁻¹ N.NH₄⁺	µg L⁻¹ N.NO₂⁻	µg L⁻¹ N.NO₃⁻	µg L⁻¹ P.PO₄³⁻
Janeiro	30,30	1,92	1,70	7,40
Fevereiro	24,89	1,68	1,65	6,87
Março	38,39	3,17	26,99	31,28
Abril	45,99	2,98	79,67	43,49
Mai	135,00	16,76	10,07	114,44
Junho	55,69	3,17	2,32	137,32
Julho	137,11	17,69	360,29	45,01
Agosto	154,41	29,99	184,47	86,97
Setembro	94,50	4,28	37,43	20,60
Outubro	186,05	16,39	80,75	44,25
Novembro	42,19	6,52	24,03	39,67
Dezembro	43,03	11,73	21,17	46,54
Média Anual	82,30	9,69	69,21	51,99

Fonte: LABMAR, 2019.

A tabela 15 detalha a carga anual de cada composto e o rendimento Yield, isto é, o resultado da divisão entre a carga anual de cada nutriente pelo área da bacia hidrográfica. A carga específica está relacionada à carga anual normalizada pela área da bacia de drenagem (carga anual/área da bacia = t/km²/ano). Esta reflete o rendimento ao longo do tempo do elemento para cada quilômetro quadrado da bacia (MEDEIROS et al., 2011). Trata-se de uma taxa importante, pois traz a possibilidade de comparação com os rendimentos de outras bacias, e mais, retira a influência do peso da área da bacia de drenagem a partir da carga do elemento em questão (MILLIMAN e MEADE, 1983).

Tabela 15 - Carga anual de nutrientes e Rendimento de Yield.

	Nitrogênio Amônio	Nitrogênio Nitrito	Nitrogênio Nitrato	Fosfato Orto	Fosfato Total
	µg L⁻¹ N.NH₄⁺	µg L⁻¹ N.NO₂⁻	µg L⁻¹ N.NO₃⁻	µg L⁻¹ P.PO₄³⁻	µg L⁻¹ P.HPO₄²⁻
Janeiro	30,30	1,92	1,70	7,40	0
Fevereiro	24,89	1,68	1,65	6,87	99,39353731
Março	38,39	3,17	26,99	31,28	85,52467164
Abril	45,99	2,98	79,67	43,49	95,54107463
Maio	135,00	16,76	10,07	114,44	249,6395821
Junho	55,69	3,17	2,32	137,32	214,1969254
Julho	137,11	17,69	360,29	45,01	223,4428358
Agosto	154,41	29,99	184,47	86,97	144,852597
Setembro	94,50	4,28	37,43	20,60	50,08201493
Outubro	186,05	16,39	80,75	44,25	171,0493433
Novembro	42,19	6,52	24,03	39,67	127,9017612
Dezembro	43,03	11,73	21,17	46,54	135,6066866
Carga Anual	987,57	116,28	830,54	623,82	1597,23
Rend. YIELD	0,315734912	0,037175363	0,265532608	0,19944319	0,510651484

Fonte: LABMAR, 2020.

Nitrogênio Amônio apresentou 0,315734912 t/km²/ano. Nitrato ficou com 0,265532608 t/km²/ano. Nitrito com 0,037175363 t/km²/ano. O valor para Fósforo Orto ficou de 0,037175363 t/km²/ano.

Comparando as cargas Yield de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido e Fósforo Inorgânico Dissolvido do Rio Paraíba do Meio com outros rios do Brasil e do mundo é possível verificar na tabela 16 que em alguns casos o Rio Paraíba do Meio possui uma carga em t/km²/ano maior que algumas outras bacias hidrográficas consideradas de maior área.

A produção de sedimentos e nutrientes em uma bacia não se resume ao tamanho da área da mesma, existem características inerentes a uma bacia que tem influência nessa produção. Características como clima, geologia, geomorfologia, vegetação e até ação antrópica tem relevância no processo de produção de sedimentos e nutrientes. Portanto, é preciso ressaltar que o rendimento de Yield não leva em consideração tais características.

Tabela 16 - Comparação das cargas específicas (Yield) de NID e PID.

Rio	Área da	Vazão	NID	PID	País
	Bacia	Anual	t/km ² /ano		
	10 ⁶ km ²	Km ³			
Purari	0,03	84	0,220	0,005	Papua
Paraíba do Sul	0,05	28	0,180	0,020	Brasil
Madalena	0,24	237	0,292	0,121	Colômbia
São Francisco (1)	0,64	100	0,110	—	Brasil
São Francisco (2)	0,64	52	0,006	0,002	Brasil
SF 2008	0,64	53	0,004	0,0009	Brasil
SF 2009	0,64	70	0,015	0,001	Brasil
SF 2010	0,64	45	0,007	0,0007	Brasil
Tocantins	0,76	372	0,074	0,001	Brasil
Orinoco	1,1	1135	0,119	0,010	Venezuela
Zambezi	1,33	106	0,010	0,001	Moçambique
Zaire	3,7	1200	0,031	0,008	Zaire
Amazonas	6,11	6590	0,173	0,024	Brasil

Fonte: Medeiros et al., 2011. Adaptação: Santos, (1) 1993; (2) 2001.

5.5 Implicações e descrição dos parâmetros físicos e químicos do Rio Paraíba do Meio

Clorofila a:

Consiste no principal indicador de estado trófico em ecossistemas aquáticos. Basicamente é um dos pigmentos de responsabilidade fundamental no processo de fotossíntese, considerando também os carotenoides e ficobilinas.

Para Medeiros et al (2003, p. 13) “Clorofila é um pigmento verde encontrado na maioria das plantas coloridas, ela dá suporte ao processo de fotossíntese. Clorofila é encontrada no citoplasma de algas verde-azuladas, e no cloroplasto das células de plantas superiores”.

A tabela 17 detalha os dados de Clorofila a, associando-os com os dados de pH e vazão.

Tabela 17 - Dados de Clorofila a, pH e Vazão.

	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>a</i>	pH	Vazão
	$\mu\text{g L}^{-1}$	mg/L		m^3/s
Mês				
Janeiro	49,00	0,049	7,02	8,007174
Fevereiro	54,06	0,054	7,08	10,70012
Março	2,74	0,003	6,93	14,48065
Abril	3,67	0,004	7,59	17,48992
Mai	19,36	0,019	7,54	26,36765
Junho	1,51	0,002	7,77	38,81649
Julho	4,80	0,005	7,33	53,60183
Agosto	9,67	0,010	7,28	36,65847
Setembro	0,39	0,000	7,88	20,94183
Outubro	2,55	0,003	7,83	12,33625
Novembro	3,39	0,003	8,16	7,979072
Dezembro	2,55	0,003	7,22	6,157419

Fonte: LABMAR, 2019.

Conforme Resolução nº 357 do CONAMA, em seu Art. 14, é estabelecido como valor padrão de Clorofila a em um ecossistema aquático de água doce o máximo de 10 mg/L.

Portanto, de acordo com os resultados obtidos, ao longo no ano hidrológico de 2013, houve uma variação de Clorofila a em um intervalo que vai de 0,002 mg/L a 0,054 mg/L, que por sua vez, caracteriza um ambiente dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA.

Silício:

De acordo com Esteves (1998, p. 88) “a sílica (SiO_2), presente no ambiente aquático é proveniente, principalmente da decomposição de minerais de silicato de alumínio (ex. feldspato), que são mais frequentes em rochas sedimentares do que magmáticas”.

Na água a sílica pode estar sob três formas principais:

- Solúvel na forma de íon SiO_4^{-4} ;
- Sílica coloidal;
- Sílica particulada, incorporada principalmente ao fitoplâncton (sílica biogênica ou SiO_2) ou aos detritos orgânicos, sob a forma de quartzo e minerais de silicatos em suspensão, e ainda, adsorvida a compostos orgânicos e inorgânicos.

A tabela 18 detalha os dados de Silício:

Tabela 18 - Dados de Silício e Vazão.

	Silício	Vazão
	mg L⁻¹	
	Si.SiO₂	m³/s
Mês		
Janeiro	1,88	8,007174
Fevereiro	1,94	10,70012
Março	2,50	14,48065
Abril	3,32	17,48992
Mai	3,00	26,36765
Junho	6,81	38,81649
Julho	3,48	53,60183
Agosto	5,59	36,65847
Setembro	1,90	20,94183
Outubro	5,05	12,33625
Novembro	5,65	7,979072
Dezembro	5,50	6,157419

Fonte: LABMAR, 2019.

Concentrações típicas de Sílica variam entre 1 e 30 mg/L. Desse modo, os valores assim obtidos inferem que há baixo teor de Sílica no Rio Paraíba do Meio. É observável também que a medida que a vazão no rio baixa, a concentração de Sílica aumenta e isso se deve ao fato de que com a vazão baixa há mais possibilidade de não haver o transporte da composição química da Sílica, daí o mesmo aumenta seu teor dissolvido.

Turbidez:

A turbidez da água é definida como sendo a medida de sua capacidade de dispersar a radiação (Esteves 1998). Ela é um parâmetro chave no monitoramento da qualidade de águas superficiais, devido à sua relação com a concentração de material em suspensão e sua influência na ecologia do ambiente aquático. (GÖRANSSON *et al.* 2013 apud MEDEIROS, SEGUNDO e MAGALHÃES, 2015, p. 36)

De acordo com Wetzel (2001) apud Medeiros, Segundo e Magalhães, 2015, p. 36), a “turbidez pode atenuar a penetração da luz na coluna d’água e, assim, reduzir a sua transparência, de modo a prejudicar a fotossíntese das algas e plantas aquáticas submersas”.

A erosão dos solos é a principal fonte de turbidez em um ambiente aquático, pois no período em que ocorrem as precipitações pluviométricas, o escoamento da água transporta uma quantidade significativa de material sólido para os corpos de água. É importante assinalar

também que atividades de mineração, efluentes domésticos e industriais também se configuram como elementos essenciais no processo de elevação da turbidez das águas.

Em se tratando das consequências ambientais devido o processo de elevação da turbidez, é possível inferir que a alta turbidez afeta a preservação de organismos aquáticos, o uso industrial e as atividades de recreação. Material em suspensão também influencia a turbidez.

De acordo com a Resolução nº 357 do CONAMA, em seu Art.14, é estabelecido um padrão de Turbidez de até 40 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT).

Levando em consideração os resultados obtidos e a Resolução do CONAMA é possível avaliar, conforme dados da tabela 19, que no mês de Julho e Outubro houve um aumento na turbidez, sendo de 75,00 UNT e 97,50 UNT, respectivamente. Como foram apenas dois meses que ocorreram alterações na turbidez, infere-se que nos demais o processo de fotossíntese de macrófitas aquáticas presentes no rio não é prejudicado.

Tabela 19 - Dados de Turbidez e Vazão.

Mês	Turbidez	Vazão
	UNT	m ³ /s
Janeiro	21,30	8,007174
Fevereiro	20,50	10,70012
Março	24,00	14,48065
Abril	32,50	17,48992
Maio	6,25	26,36765
Junho	17,85	38,81649
Julho	75,00	53,60183
Agosto	16,85	36,65847
Setembro	23,50	20,94183
Outubro	97,50	12,33625
Novembro	34,50	7,979072
Dezembro	30,00	6,157419

Fonte: LABMAR, 2019.

Contudo, levando em consideração os dois meses em que a turbidez está fora do padrão estabelecido pelo CONAMA, é importante ressaltar como essas alterações podem acarretar em problemas na preservação de organismos aquáticos. Durante alta na turbidez, os materiais que se sedimentam preenchem espaços entre pedras e pedregulhos no leito do rio, principalmente no talvegue; isso acaba por eliminar os locais desovas de peixes, bem como o habitat de muitos insetos aquáticos e outros invertebrados que, por sua vez, acaba por afetar a produtividade dos peixes.

Sendo assim, a retirada da mata ciliar da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio acabou por acarretar no aumento dos processos erosivos que, por sua vez, contribui de maneira significativa para a alta nos valores de turbidez. Lembrando também o fato de muitas cidades alagoanas estarem localizadas as margens do rio e isso tem caracterizado uma realidade com efluentes domésticos e esgotos da cidade estarem introduzidos material na lâmina de água do rio.

Em um estudo realizado por Medeiros, Segundo e Magalhães (2015), publicado na Revista Geochimica Brasiliensis, um dos aspectos estudados foi o comportamento da turbidez no Rio São Francisco (NE-Brasil). Neste artigo, como resultado, a turbidez apresentou valores no ano de 2001 de $2,7 \pm 2,0$ NTU, logo no ano de 2004 foi de $101,0 \pm 146,0$ NTU e no ano de 2007 foi de $17,0 \pm 22,7$ NTU. O Rio São Francisco é um rio de médio a grande porte e, levando em consideração esse aspecto e, por sua vez, trazendo em questão o Rio Paraíba do Meio que é de pequeno a médio porte, pode-se fazer uma comparação dos valores de turbidez. Desse modo, o ano de 2013, apresentou uma turbidez que varia de 6,2 NTU a 97,5 NTU.

pH:

De acordo com Medeiros et al (2003, p. 11), “o pH serve para determinar a concentração de íons hidrogênio. Este representa o logaritmo negativo, na base 10, da concentração de íons hidrogênio. Em águas naturais o pH tem valores, normalmente encontrados, entre 6 e 9”. Abaixo, na tabela 20, tem-se os dados de pH do referido estudo.

Tabela 20 - Dados de pH e Vazão.

	pH	Vazão m³/s
Mês		
Janeiro	7,02	8,007174
Fevereiro	7,08	10,70012
Março	6,93	14,48065
Abril	7,59	17,48992
Mai	7,54	26,36765
Junho	7,77	38,81649
Julho	7,33	53,60183
Agosto	7,28	36,65847
Setembro	7,88	20,94183
Outubro	7,83	12,33625
Novembro	8,16	7,979072
Dezembro	7,22	6,157419

Fonte: LABMAR, 2019.

Os dados de pH obtidos do rio Paraíba do Meio não caracterizam uma situação de alteração. E mais, de acordo com a resolução do CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, Art. 14, é estabelecido o limite de 6,0 a 9,0.

Como pode ser observado o pH está dentro do padrão. O gráfico (figura 41) abaixo demonstra o comportamento e variação do pH em todo o ano de 2013. Sendo que o menor valor foi de 6,93 e o maior valor de 8,16.

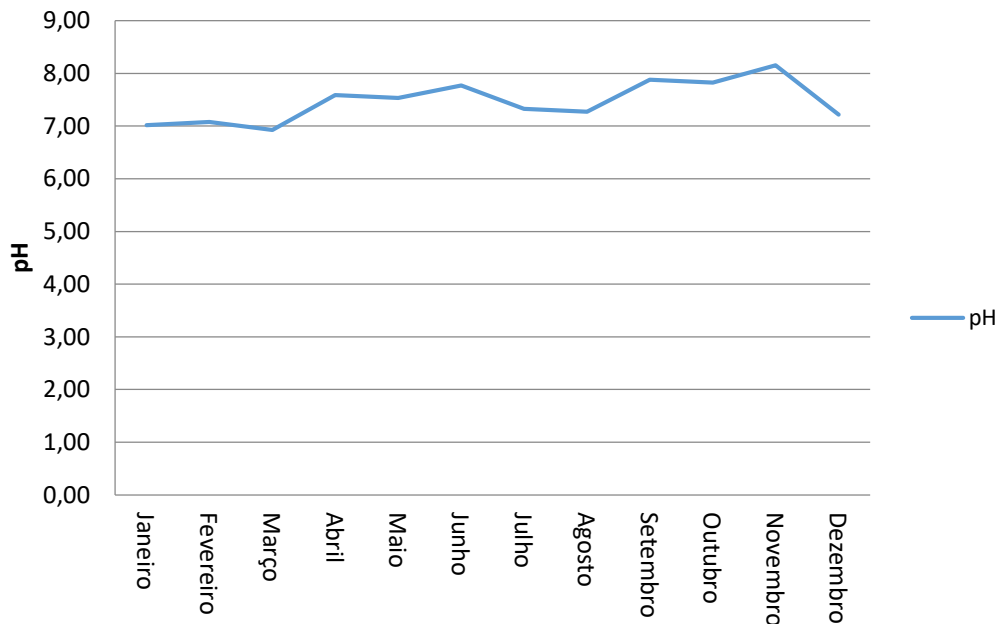


Figura 41 - Gráfico do comportamento e variação de pH do Rio Paraíba do Meio no ano hidrológico de 2013. Fonte: LABMAR, 2019.

Condutividade Elétrica:

A condutividade elétrica serve para indicar a capacidade da água conduzir a corrente elétrica. A concentração de eletrólitos determina a capacidade da água em conduzir uma corrente elétrica através de íons dissociados (Schäfer, 1985). Logo, com o aumento do conteúdo de eletrólitos diminui a resistência de uma solução aquática ao fluxo de elétrons, aumentando, desta maneira, sua condutividade elétrica. (MEDEIROS, 2003, p. 11)

Vale frisar que os compostos orgânicos e inorgânicos contribuem ou interferem na condutividade, sendo essa situação de acordo com sua concentração na amostra. Contudo, a correta representação da temperatura constitui um aspecto significativamente importante na medição correta da condutividade elétrica.

A condutividade elétrica em uma água é representada em sua maioria por sólidos dissolvidos em água, dentre os quais se destacam dois tipos, a saber: compostos iônicos e

compostos catiônicos. E mais, seus valores representam a carga mineral presente na água, a geologia local ou regional.

A medição da condutividade de um líquido é uma maneira indireta e simples de inferir a presença de íons provenientes de substâncias polares, geralmente sais inorgânicos dissolvidos na água, tais como cloretos, sulfetos, carbonatos, fosfatos. Este último é justamente um dos parâmetros que foram medidos na presente pesquisa. E mais, a presença dessas substâncias aumenta a condutividade na água, pois são eletrólitos, isto é, se dissolvem em íons na água. A baixo, na tabela 21, tem-se os dados de condutividade elétrica.

Tabela 21 - Dados de Condutividade Elétrica e Vazão.

Mês	Cond. Elétrica $\mu\text{S cm}^{-1}$	Vazão m^3/s
Janeiro	210,00	8,007174
Fevereiro	211,00	10,70012
Março	202,00	14,48065
Abril	221,50	17,48992
Maio	2540,00	26,36765
Junho	263,50	38,81649
Julho	242,50	53,60183
Agosto	394,00	36,65847
Setembro	121,50	20,94183
Outubro	222,00	12,33625
Novembro	247,99	7,979072
Dezembro	171,50	6,157419

Fonte: LABMAR, 2019.

Geralmente, conforme pesquisas na área, rios de água doce tende a ter um padrão entre 0 $\mu\text{S} / \text{cm}$ e 800 $\mu\text{S} / \text{cm}$. Desse modo, avaliando os valores de condutividade elétrica no ano hidrológico de 2013, interpreta-se que são valores moderadamente baixos.

Em todo ano hidrológico há uma variação nos valores que vão de 121,00 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 2540,00 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Este último valor representa o único mês (Maio) em que ocorre, consideravelmente, uma alta no valor de condutividade elétrica.

Levando em consideração essa única alteração é importante trazer em discussão que, relativamente, cada ecossistema aquático tende a ter um conjunto consistente de valores de condutividade elétrica e isso pode ser uma premissa para se poder utilizar esses valores como base de comparação para medições regulares de condutividade. Contudo, havendo alterações significativas na condutividade, como ocorreu no estudo de caso e especificamente no mês de

Maio, é cabível avaliar que isso pode indicar que uma descarga ou alguma outra fonte de contaminação tenha entrado no corpo hídrico.

Oxigênio Dissolvido:

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio (O₂) é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos. As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. Por outro lado, as perdas são o consumo pela decomposição de matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos como, por exemplo, o ferro e o manganês. (ESTEVEZ, 1998, p. 36)

Segundo Derísio (2000, p. 35), “despejos de origem orgânica são os principais causadores de redução nas concentrações de oxigênio”.

Quanto se tem baixa concentração há indícios de um processo de consumo através de substâncias lançadas na água ou surgiram como carga secundária (plantas e algas, por exemplo, em fase de decomposição).

Na resolução do CONAMA, nº 357, de 17 de março de 2005, no seu Artigo 14, estabelece um limite não inferior a 6 mg/L. Desse modo, conforme resultados obtidos nas análises de laboratório das amostras coletadas, é avaliado que apenas durante os meses de Junho (8,49 mg/L), Julho (7,33 mg/L), Agosto (7,27 mg/L) e Novembro (8,16 mg/L) que a concentração de OD está dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA.

Na tabela 22 abaixo é possível visualizar que durante o ano hidrológico de 2013, em variados meses, a concentração de Oxigênio Dissolvido está fora dos padrões estabelecidos pelo CONAMA e, por sua vez, variam de 0,80 mg/L a 4,75 mg/L.

Tabela 22 - Dados de Oxigênio Dissolvido e Vazão.

Mês	OD mg.L ⁻¹ O ₂	Vazão m ³ /s
Janeiro	1,56	8,007174
Fevereiro	1,61	10,70012
Março	0,80	14,48065
Abril	3,34	17,48992
Maio	4,43	26,36765
Junho	8,49	38,81649
Julho	7,33	53,60183
Agosto	7,27	36,65847
Setembro	3,70	20,94183
Outubro	4,68	12,33625
Novembro	8,16	7,979072
Dezembro	4,75	6,157419

Fonte: LABMAR, 2019.

No gráfico (figura 42) abaixo é demonstrado os momentos durante o ano hidrológico em que a quantidade de OD fica abaixo de 6 mg/L. A saber: de Janeiro a Maio; de Setembro a Outubro; durante o mês de Dezembro.

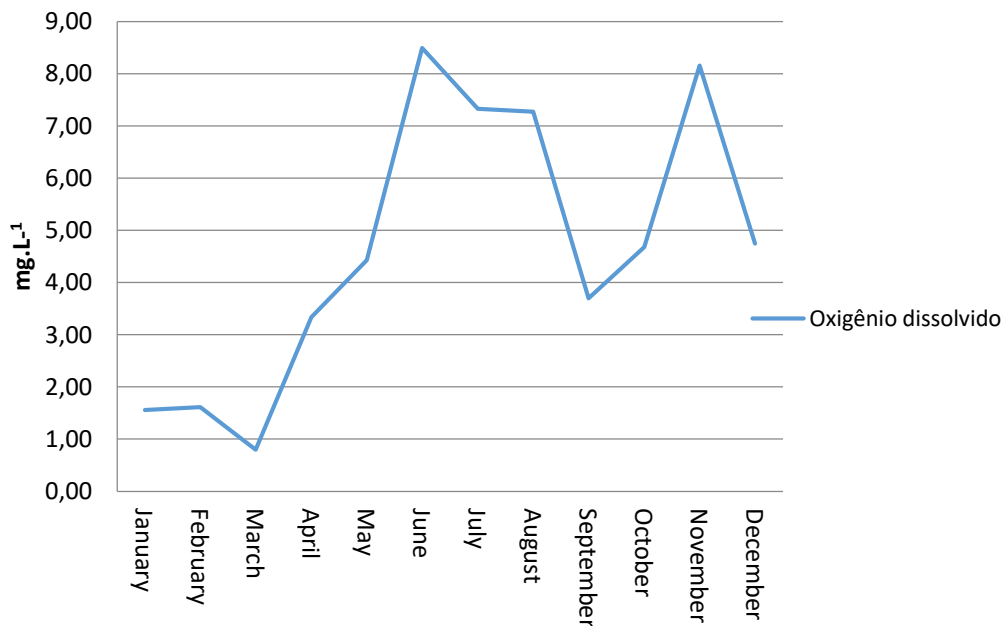


Figura 42 - Gráfico do comportamento e variabilidade da concentração de Oxigênio Dissolvido no Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013. Fonte: LABMAR, 2019.

É observável que de Janeiro a Março há uma depleção da concentração de OD e essa situação ocorre no período de estiagem (verão) e que é caracterizado por vazões baixas. É uma condição considerada perigosa, pois, de maneira geral, valores abaixo de 2 mg/L é denominado Hipoxia (condição de baixíssima concentração de oxigênio). Desse modo, infere-se que a presença de macrófitas aquáticas no ecossistema está influenciando na diminuição da quantidade de OD quando o utilizam para manutenção de seu metabolismo vegetal. Outro fator a ser levado em consideração é que quando esses organismos vegetais morrem, no processo de decomposição há um maior consumo de oxigênio que, por sua vez, acaba por provocar alterações na qualidade da água e a massa de água em questão atingir níveis de extremo déficit de OD.

Essa situação caracterizada por baixa concentração de Oxigênio Dissolvido pode estar associada ao despejo de substâncias lançadas no Rio Paraíba do Meio, por intermédio de efluentes domésticos e/ou industriais. Uma vez que tais efluentes, ao introduzir Fósforo no rio, contribui para o crescimento de algas, estas, por sua vez, possuem ligação direta, por meio de seus processos metabólicos, com a redução da concentração de oxigênio no ambiente aquático.

Em relação a biota aquática que vive no rio é importante frisar que os peixes quando expostos a uma baixa concentração de oxigênio dissolvido na água, mesmo que por um curto período de tempo, não enfrentam tantos problemas desde que outros parâmetros de qualidade da água como pH, Amônia e Nitrito estejam a níveis aceitáveis. E, no presente estudo de caso, como já foi demonstrado anteriormente, os níveis de pH, Amônia e Nitrito estão dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA.

Contudo, valores permanentemente abaixo de 60% de saturação de oxigênio acarreta problemas na saúde dos peixes. Para se ter uma ideia, a maioria sobrevive alguns dias com uma saturação de 40%, porém caso a concentração de oxigênio caia rapidamente, os peixes começarão a sentir os efeitos da falta de oxigênio e eventualmente morrerão. E, como foi observado nos resultados de coleta e posterior análise em laboratório, o período em que ocorre baixas concentrações de Oxigênio Dissolvido dura meses.

Não foi verificada a existência de mortandade de peixes na área de bacia hidrográfica estudada, mas, sobretudo, uma redução da biota aquática que, por sua vez, é refletida no histórico declínio da atividade pesqueira. Acrescentando ainda que muitas espécies de peixes, durante o período de depleção da concentração de oxigênio podem sobreviver, adaptando-se.

Salinidade:

Este parâmetro está relacionado a quantidade de sais dissolvidos e presentes em ecossistemas aquáticos. É um parâmetro importante, pois influencia variadas propriedades químicas, físicas e biológicas em ambientes aquáticos, como por exemplo, a densidade, saturação, dentre outros.

Na Resolução do CONAMA, nº 357, em seu Art. 2º, Inciso I, é estabelecido que ecossistemas aquáticos de água doce deve apresentar uma salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰. No estudo de caso foi identificado que no mês de Maio o valor da salinidade ficou fora do padrão estabelecido pelo CONAMA, a saber: 1,34 ‰.

Uma alteração na salinidade de um ecossistema aquático pode influenciar outros parâmetros químicos, físicos e biológicos e, sobretudo nos processos metabólicos de seres aquáticos.

Os dados e a alteração de salinidade são expressados na tabela 23.

Tabela 23 - Dados de Salinidade e Vazão.

Mês	Salinidade	Vazão
	‰	m ³ /s
Janeiro	0,10	8,007174
Fevereiro	0,14	10,70012
Março	0,10	14,48065
Abril	0,11	17,48992
Maio	1,34	26,36765
Junho	0,12	38,81649
Julho	0,10	53,60183
Agosto	0,19	36,65847
Setembro	0,05	20,94183
Outubro	0,10	12,33625
Novembro	0,10	7,979072
Dezembro	0,08	6,157419

Fonte: LABMAR, 2019.

Analisando a tabela 23 em questão é verificável que há uma disparidade considerável no valor de salinidade no mês de maio, quando comparado aos demais meses do ano de 2013. O valor de 1,34 ‰ está relacionado a atuação do intemperismo químico e o processo de lixiviação que, por sua vez, agrega ao ecossistema aquático uma composição salina provinda de rochas adjacentes e/ou solo. Acrescentando também que, sendo a água um dos elementos

fundamentais do processos intempéricos, vale salientar que no mês de maio, a vazão foi de 26,37 m³/s, valor esse considerado entre os mais elevados no ano e dentro do período considerado chuvoso. Sendo assim, o mês de maio teve uma precipitação de 210,6 mm, sendo essa quantidade de chuva o segundo maior valor de precipitação do ano hidrológico do referido estudo em questão e, por conseguinte, dentro da recorte de flutuação para o período chuvoso.

Sólidos Totais em Suspensão (TSS):

Os Sólidos Totais em Suspensão são pequenas partículas sólidas que, por sua vez, ficam mantidas em suspensão na lâmina d'água de um ecossistema aquático. É um parâmetro indicador muito importante no que se refere a qualidade da água. Há alguns aspectos a se considerar em relação ao tamanho da partícula em questão, isto é, quanto menor for o tamanho da partícula, maior será a superfície da lâmina de água por unidade de massa de partículas e, desse modo, existe mais suscetibilidade de uma possível carga poluente ser transportada. Abaixo tem-se os dados de TSS na tabela 24.

Tabela 24 - Dados de Sólidos Totais em Suspensão e Vazão.

MÊS	TSS mg L⁻¹	Vazão m³/s
Janeiro	49,15	8,007174
Fevereiro	65,45	10,70012
Março	14,00	14,48065
Abril	35,02	17,48992
Maio	11,13	26,36765
Junho	13,79	38,81649
Julho	70,00	53,60183
Agosto	13,15	36,65847
Setembro	27,20	20,94183
Outubro	57,75	12,33625
Novembro	16,98	7,979072
Dezembro	32,63	6,157419

Fonte: LABMAR, 2019.

Um estudo publicado no 5º Encontro Regional de Química e 4º Encontro Nacional de Química (Blucher Chemistry Proceedings), por Nunes et al (2015), é trazido uma discussão em torno de variados parâmetros físicos e um deles refere-se ao Sólidos Totais em Suspensão no Rio Piranhas – Açu. Sua bacia abrange os Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.

Levando em consideração a tabela 25, a variação de Sólidos Totais em Suspensão no rio Paraíba do Meio foi de 11,13 mg/L a 70,00 mg/L (para um rio com área de 3.127,83 km). Desse modo, é possível avaliar, mediante comparação com o rio Piranhas-Açu que o rio Paraíba do Meio apresenta condições de normalidade em relação ao TSS. No caso da bacia do rio Piranhas-Açu ocorre uma variação de TSS que vai de 590 mg/L a 1000 mg/L (para um rio com área de 22 875 km²).

Tabela 25 - Análise de sólidos suspensos em três diferentes bacias hidrográficas.

Local da coleta entre os dia 10/09 a 15/09	Sólidos Suspensos (mg/L)	Sólidos Suspensos (mg/L)
Barragem Eng. A. R. G	1140	1650
Rio Piranhas – Açu	590	1000
Açude Pataxó	710	700

Fonte: LABMAR, 2019.

Saturação de Oxigênio:

Este parâmetro está relacionado a quantidade de oxigênio que está dissolvido em um corpo de água e sua importância está fincada nos aspectos químicos e biológicos. A variação da saturação de oxigênio em um ecossistema aquático está relacionada a dois fatores principais, a saber: pressão e temperatura.

A temperatura e pressão podem influenciar nos valores de saturação e, no mesmo período, pode dar uma compreensão diferente em relação a quantidade de oxigênio dissolvido na água. Por isso é importante também ter os valores de Saturação em detrimento dos de Oxigênio Dissolvido. A tabela 26 mostrados dados de Saturação de Oxigênio.

Tabela 26 - Dados de Saturação de Oxigênio e Vazão.

Mês	Saturação	Vazão
	%	m ³ /s
Janeiro	20,40	8,007174
Fevereiro	21,10	10,70012
Março	10,00	14,48065
Abril	42,02	17,48992
Mai	57,80	26,36765
Junho	106,10	38,81649
Julho	93,57	53,60183
Agosto	91,85	36,65847
Setembro	48,80	20,94183
Outubro	61,35	12,33625
Novembro	107,70	7,979072
Dezembro	63,05	6,157419

Fonte: LABMAR, 2019.

Temperatura:

Segundo Fatma/GTZ (1999, p. 16) apud Gonçalves (2008, p. 109) a “temperatura é um fator que influencia quase em todos os processos físicos, químicos e biológicos na água [...] imprescindível para interpretação do restante dos parâmetros”.

Trata-se de um parâmetro de significativa importância, pois toda biota em ecossistema aquático fica compreendida numa determinada temperatura, esta, quando tem ao longo do ano variações bruscas, afeta o determinado ecossistema aquático influenciando diretamente nos organismos constituintes. Tal realidade aplica-se mais as regiões temperadas da Terra.

Consideravelmente, conforme tabela 27, não é apresentada variações bruscas ao longo do ano, conforme resultados obtidos. A variação de temperatura durante o ano hidrológico de 2013 vai de 14,80 °C a 29,86 °C.

Tabela 27 - Dados de Temperatura e Vazão.

Mês	Temperatura	Vazão
	°C	m ³ /s
Janeiro	29,61	8,007174
Fevereiro	29,65	10,70012
Março	28,20	14,48065
Abril	27,41	17,48992
Maior	29,86	26,36765
Junho	26,70	38,81649
Julho	27,90	53,60183
Agosto	27,61	36,65847
Setembro	28,45	20,94183
Outubro	29,30	12,33625
Novembro	29,63	7,979072
Dezembro	29,81	6,157419

Fonte: LABMAR, 2019.

5.6 Resultado da avaliação do Estado Trófico da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio em Alagoas

Na literatura existem vários indicadores e índices que dão arcabouço teórico e metodológico para o processo de avaliação do estado trófico de um ecossistema aquático. Ao se falar em Índices de Estado Tróficos é necessário frisar que se trata de determinados esquemas simplificados de classificação. Outro aspecto importante é que estes possibilitam compreender o estado trófico e o potencial de eutrofização, seja natural ou cultural.

Vollenweider *et al.* (1998) desenvolveram um índice trófico (TRIX) que consiste em um índice multiparamétrico que faz uso de variáveis de expressão direta da produtividade, como desvio das condições de saturação do oxigênio dissolvido (OD), fatores nutricionais disponíveis no ecossistema como nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), fósforo inorgânico dissolvido (PID) e clorofila *a*. Tais parâmetros refletem o grau de interferência humana no ecossistema e identifica a qualidade de água da coluna d'água. O índice TRIX é capaz de sintetizar informações ambientais, indicar tendências espaciais e temporais da eutrofização e facilitar a aplicação de ações de manejo e controle.

Como já foi esmiuçado na descrição metodológica do presente relatório e, por sua vez, se faz necessário trazer em resumo aqui novamente, o índice TRIX utiliza uma metodologia baseada em quatro parâmetros:

- Clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$);
- Oxigênio dissolvido como desvio absoluto da saturação (aD%O);

- Nitrogênio inorgânico dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$);
- Fósforo inorgânico dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

Desse modo, a fórmula utilizada para calcular o Índice de Estado Trófico do Rio Paraíba do Meio, que está de acordo com o Sistema Brasileiro TRIX, segue:

$$TRIX = \frac{[\log_{10}(Chla * aD\%O * NID * PT) + k]}{m}$$

5.6.1 O modelo TRIX e seus apontamentos em relação ao estado trófico

Levando em consideração os resultados dos cálculos desse índice, os mesmos são classificados da seguinte forma:

Os valores de classificação para este índice pode variar de 0 a 10. Valores próximos de 10 indicam forte eutrofização e próximo de 0 indicam baixo impacto antropogênico (CLOERN, 2001).

A tabela 28 traz toda classificação pelo Índice de Estado Trófico TRIX, com base no Sistema Brasileiro, bem como os valores de Fosfato, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido, Clorofila a e Saturação que foram levados em consideração para aplicação dos cálculos com a fórmula anteriormente evidenciada aqui.

Tabela 28 - Dados de parâmetros utilizados para cálculo TRIX e classificação do Estado Trófico em cada mês do ano hidrológico de 2013.

Mês	Fosfato Orto	NID	Clorofila a	Saturação	Sist. Bras.	Classificação
	$\mu\text{g L}^{-1}$ P.PO43	$\mu\text{g L}^{-1}$	$\mu\text{g L}^{-1}$	%		
	log10	log10	log10	log10		
Janeiro	0,86923172	1,530392	1,690196	1,900913	6	Mesotrófico a Eutrófico
Fevereiro	0,836710966	1,45057	1,732836	1,897077	6	Mesotrófico a Eutrófico
Março	1,495252313	1,836023	0,436957	1,954243	6	Mesotrófico a Eutrófico
Abril	1,638343312	2,109355	0,564666	1,763316	6	Mesotrófico a Eutrófico
Maio	2,058559715	2,209074	1,286793	1,625312	7	Pobre (Eutrófico)
Junho	2,137740961	1,78656	0,177536	0,78533	5	Bom (Mesotrófico)
Julho	1,653320468	2,711892	0,680789	0,808211	6	Mesotrófico a Eutrófico
Agosto	1,939373308	2,566867	0,985426	0,911158	6	Mesotrófico a Eutrófico
Setembro	1,31383222	2,134237	-0,40894	1,70927	5	Bom (Mesotrófico)
Outubro	1,64589645	2,452083	0,405688	1,587149	6	Mesotrófico a Eutrófico
Novembro	1,5984718	1,86178	0,529559	0,886491	5	Bom (Mesotrófico)
Dezembro	1,667798291	1,880443	0,40654	1,567614	6	Mesotrófico a Eutrófico

Fonte: LABMAR, 2019.

Desse modo, no ano hidrológico de 2013, o Estado Trófico do Rio Paraíba do Meio varia de Mesotrófico (Bom) a Eutrófico (Pobre). Grande parte do ano o estado trófico do rio fica de Mesotrófico a Eutrófico (moderado a altamente produtivo e considerado com alto estado trófico). Nos meses de Junho, Setembro e Novembro a situação fica especificamente classificada como Mesotrófico (moderadamente produtivo e considerado com estágio mediano de eutrofização). Apenas durante o mês de Maio que o rio atinge o pico maior, isto é, classificado como Eutrófico (considerado altamente produtivo e o maior estado trófico de eutrofização).

O gráfico (figura 43) abaixo descreve o comportamento e variação do estado Trófico do Rio Paraíba do Meio em todo ano hidrológico de 2013.

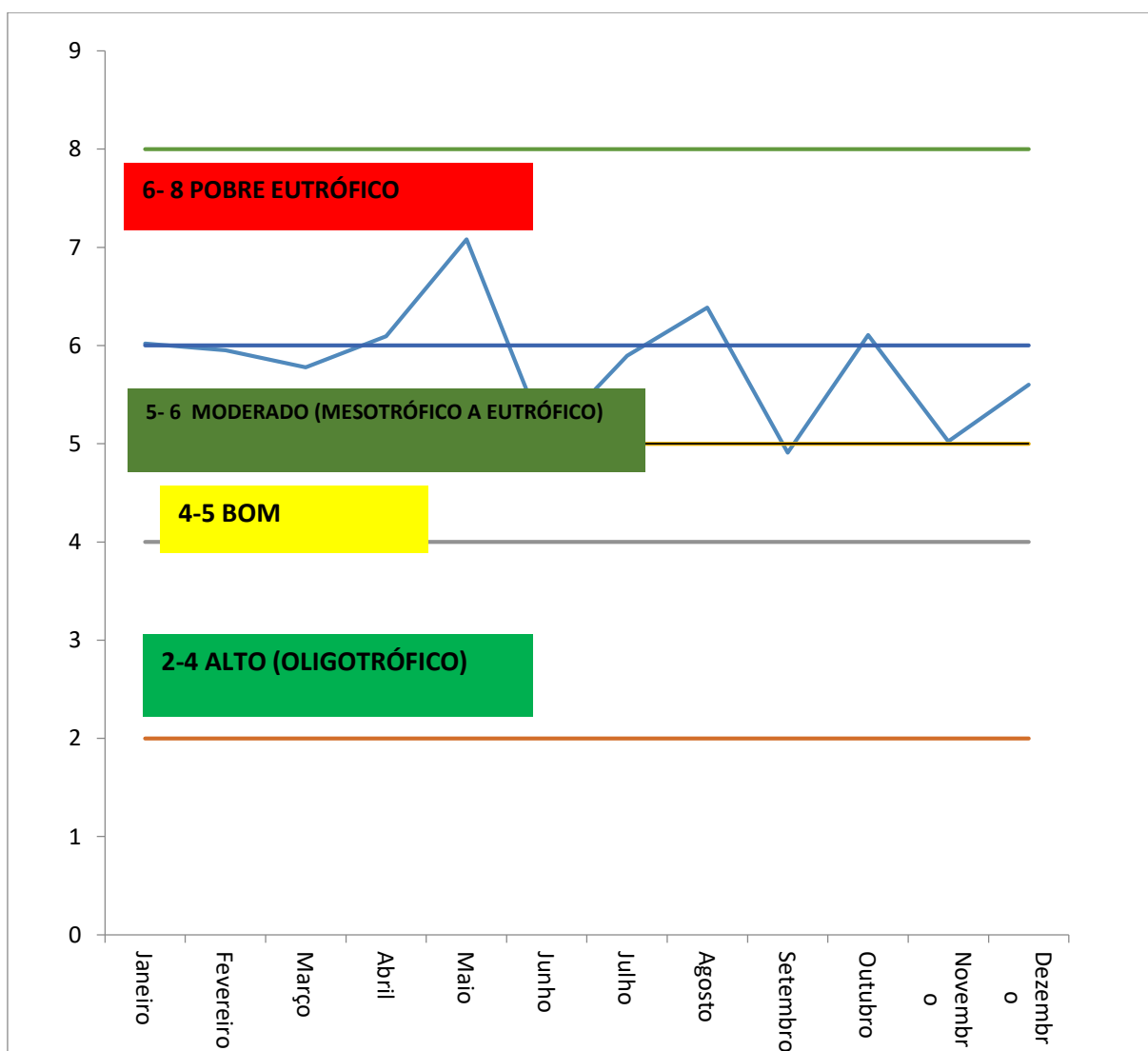


Figura 43 - Gráfico de classificação do Estado Trófico do Rio Paraíba do Meio e sua variabilidade no ano hidrológico de 2013. Fonte: LABMAR, 2019.

Diante dessa situação descrita, é avaliado que as atividades antrópicas, tais como foram indicadas no presente trabalho, a saber: efluentes domésticos, esgotamento sanitário inadequado, poluição e contaminação, desmatamento da mata ciliar, expansão urbana, dentre outros, estão influenciando no enriquecimento de nutrientes que, por sua vez, estão acarretando na existência e aumento do processo de eutrofização.

5.7 Correção de dados: concentração de nutrientes, vazão e precipitação

Levando em consideração os parâmetros utilizados para aplicação do modelo TRIX, foi constatada uma correlação entre o período de maior vazão do Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013, com uma considerável maior concentração de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido e Fósforo, para o mesmo período do ano temporal.

Em se tratando de NID foi identificado que as maiores concentrações estão relacionadas ao período do inverno e, por sua vez, tem o maior valor de concentração: $2,71 \mu\text{g L}^{-1}$. Frisando ainda que durante o inverno tem-se os maiores valores de vazão, este atingindo seu maior pico com $53,60 \text{ m}^3/\text{s}$. Desse modo, durante o verão, ocorre a diminuição da vazão e consequentemente a também uma baixa na concentração de NID.

Em relação ao Fósforo Orto também foi identificado essa mesma correlação. Durante o período do inverno, com maior vazão, a concentração de Fósforo Orto está maior durante este mesmo período do ano temporal, e, por conseguinte, atinge seu maior valor: $2,14 \mu\text{g L}^{-1}$. Durante o verão, com menores valores de vazão ocorre também a diminuição da concentração de Fósforo.

Tal correlação descrita aqui não acontece com os parâmetros de Clorofila a e Saturação de Oxigênio.

Diante dessa comportamento em relação as variáveis de vazão, nutrientes e precipitação, aplicou-se uma análise estatística com as proposições metodológicas de Spearman (ZAR, 1972; NAGHETTINI e PINTO, 2007). Esta linha metodológica e estatística é baseada no coeficiente de correlação entre as ordens de classificação da sequência de variáveis e os índices de tempo. Na tabela 29 abaixo é detalhado os resultados da análise estatística.

Quadro 1 - Correlação de Spearman com dados de vazão e precipitação.

Variable	Vazão m ³ /s	Precipitação m m
Nitrogênio Amônio µg L-1 N.NH ₄ ⁺	0,615385	0,755245
Nitrogênio Nitrito µg L-1 N.NO ₂	0,402803	0,563924
Nitrogênio Nitrato µg L-1 N.NO ₃ ⁻	0,433566	0,622378
Fosfato Orto µg L-1 P.PO ₄ ³⁻	0,517483	0,524476
Fosfato Total µg L-1 P.HPO ₄ ²⁻	0,503497	0,622378
Turbidez UNT	-0,286713	0,034965
Silício mg L-1 Si.SiO ₂	0,153846	0,230769
Cond. Elétrica µS cm ⁻¹	0,503497	0,657343
OD mg.L-1 O ₂	0,321678	0,349650
Salinidade ‰	0,406064	0,435068
TSS mg L-1	-0,244755	-0,125874
Vazão m ³ /s	1,000000	0,797203
Precipitação mm	0,797203	1,000000

Elaboração: LABMAR, 2020.

A cor vermelha indica uma correlação com nível de significância estatisticamente de 10% entre as variáveis que estão nas colunas (vazão e precipitação) com as que estão nas linhas, isto é, os nutrientes e determinados parâmetros físico-químicos. Há uma correlação entre o Nitrogênio Amônio com o período de maior vazão e precipitação. O Nitrogênio Nitrato possui correlação com o período de maior precipitação, bem como, na mesma lógica, o Fósforo Total e a Condutividade Elétrica.

6 CONCLUSÃO

A qualidade da água é uma das preocupações do século XXI para sociedade em geral, bem como representantes do poder público. Ações engenhosas e de gerenciamento voltadas para preservação ou conservação dos recursos hídricos de um ecossistema aquático são metas que devem fazer parte do rol de prioridades da atuação dos governantes.

A presente pesquisa tratou de um problema ambiental considerado de extrema relevância para sociedade e comunidade científica no mundo, isto é, a eutrofização. Além de trazer na esteira de estudo objetivados o problema ambiental supracitado, buscou-se avaliar a carga de nutrientes do Rio Paraíba do Meio. Tais objetivos foram alcançados no decorrer da pesquisa e a hipótese levantada no projeto foi comprovada, isto é, que o Rio Paraíba do Meio apresentava índices significativos de eutrofização e que a ação humana tem tamanha influência

no processo. A metodologia elaborada atendeu as demandas de realização prática. O arcabouço teórico correspondeu às expectativas e balizaram todo o trabalho.

Vale ressaltar que esse tipo de pesquisa acerca da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio é considerado um importante passo no sentido de preencher uma lacuna na literatura científica no que diz respeito a pesquisas que vislumbrem tal temática e ajude, por exemplo, não apenas compreender a situação atual e preocupante do referido ecossistema aquático, mas, sobretudo, auxiliar os órgãos ambientais e poder público competentes na tomada de decisão, isso se tratando do processo de gerenciamento de bacias hidrográficas.

O trabalho mostrou o quanto o Rio Paraíba do Meio foi e ainda é, mesmo sendo deficitária, importante para população dos municípios pertencentes a bacia hidrográfica como um todo. A importância é histórica, contudo, a degradação da qualidade da água também o é. Isso está atrelado ao fato de que muitos problemas pontuais acabaram por desencadear a eutrofização no rio.

Foi demonstrada, por exemplo, que a existência de efluentes domésticos, um dos principais elementos que abrem caminho para introdução de nutrientes capazes de enriquecer o processo de eutrofização, faz parte da ineficiência do poder público em relação a realização de um saneamento básico adequado.

Muitos parâmetros físicos e químicos medidos e analisados em laboratório indicaram alteração significativa na qualidade da água, situação essa que evidencia a ação humana ocorrendo de maneira expressiva.

Portanto, o referido estudo não apenas direcionou a discussão teórica, metodológica e de resultados no sentido de dicotomizar a Geografia em Física ou Humana, mas, trouxe uma pesquisa eminentemente geográfica onde aspectos socioeconômicos, ambientais e políticos são entrelaçados e discutidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (BRASIL). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras**. Edição Especial. Brasília: ANA, 2015.

ALMADA, E. V. C. **Proposta de mitigação da eutrofização na Lagoa do Vigário-RJ através da macrófita *Eichhornia Crassipes*: de praga a fitorremediadora**. 2018. 93 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais)-Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2018.

ALVES, E. I. S.; MENDES, M. A. Avaliação de parâmetros de qualidade da água com base no uso pretendido. **Programa de Apoio à Iniciação Científica – PAIC**, Curitiba, p. 429-446, 2011.

BARRETO et al. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera - Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 9, n. 6, p. 2165-2179, jun.2013.

BERTOLDI, L. **Avaliação do Estado Trófico de um sistema estuarino tropical a partir do Índice Trófico Trix**. 2014. 91 F. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) – Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santos, Aracruz, 2014.

BRAGA, B. et al. **Introdução a Engenharia Ambiental**. 2 ed. São Paulo: Prentice Hall Brasil, 2002. 472 p.

BRASIL. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. CONAMA – Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF, 23 p.

CARMOUZE, J. P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos – Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**: 1. ed. São Paulo: Editora FAPESP, 1994. 253 p.

CLOERN, JE. **Nossa evolução modelo conceitual do problema da eutrofização costeira**. Série Progresso Ecologia Marinha. 210. 223-253, 2001.

COSTA, T. P.; PERIN, A. C. M. A gestão dos recursos hídricos no Brasil. **Revista do Curso de Direito**, São Paulo, v. 1, n. 1, p.344-380, dez. 2004.

COTOVICZ JUNIOR, L. C. **Aplicações de modelos (ASSETS e TRIX) para avaliação do estado trófico e cenário futuro da eutrofização do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, (AL)**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012. 123 f.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2. ed. São Paulo: Editora Signus, 2000.

ESCHRIQUE, S. A. **Estudo do balanço biogeoquímico dos nutrientes dissolvidos principais como indicador da influência antrópica em sistemas estuarinos do Nordeste e**

Sudeste do Brasil. 2011. 231 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

ESTEVES, A. F. **Fundamentos de Limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998. 226 p.

FARIAS, M. S. S. **Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Cabelo.** 2006. 152 f. Tese (Doutorado em engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

GAMA, W. M. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras.** 2011. 114 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa.** 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 120 p.

GOMES, J. L.; BARBIERI, J. C. Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no estado de

GONÇALVES, G. W. P. S. **Urbanização e qualidade da água: monitoramento em lagos urbanos de Londrina-PR.** 2008. 186 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Centro de ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

GOMES, J. L.; BARBIERI, J. C. Gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil e no estado de São Paulo: um novo modelo de política pública. **Cadernos EBAP.BR/FGV**, v. 02, v. 03, p. 1-21, dez. 2004.

GONÇALVES, G.W. P. S. **Urbanização e qualidade da água: monitoramento em lagos urbanos de Londrina – PR.** 2008. 186 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

HIRATA, R. Recursos Hídricos. In: TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra.** 1 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008. p. 421-444.

LEAL, A. L. Gestão Urbana e Regional em bacias hidrográficas: interfaces com o gerenciamento de recursos hídricos. In: BRAGA, R. **Recursos hídricos e planejamento**

urbano e regional. Rio Claro: Laboratório de Planejamento municipal da UNESP, 2003, p. 65-85.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

MACEDO, C. F.; TAVARES, L. H. S. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 36, n. 02, p. 149-163, nov. 2010.

MAGALHÃES, S. F. C. **Avaliação dos fatores que influenciam na dinâmica de nutrientes, material particulado e vazão em pequenas bacias hidrográficas.** 2017. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MARQUES, R.; SOUZA, L. C. Matas ciliares e áreas de recarga hídrica. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. Gestão Integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados. Curitiba: Sanepar, 2005. P. 161-188.

MEDEIROS, P. R. P. et al. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do rio São Francisco (SE/AL). **Geochimica Brasiliensis**, 21(2)209 - 228, 2007.

MEDEIROS, P. R. P. *et al.* Aporte de material em suspensão no baixo rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas. **Brasilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, v. 15, n. 1, pp. 42-53, jan-jun, 2011a.

MEDEIROS, P. R. P. et al. **Determinação da carga de nutrientes do Rio São Francisco na região de sua foz.** 1. ed. Maceió: Agência Nacional das Águas, 2003. 59 p.

MEDEIROS, P. R. P. M.; SEGUNDO, G. H. C.; MAGALHÃES, E. M. M. Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil). **Geochimica Brasiliensis**, 29(1): 35-44, 2015.

MELO, E. R. **Processos dinâmicos e implicações na carga de nutrientes do estuário do Rio São Francisco decorrente das reduções de vazões.** 2017. 103 f. Dissertação (Mestrado Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

NELSON, R. A. R. R. Da importância dos recursos hídricos e a organização administrativa para sua proteção. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, Macapá, n. 09, p. 71-88, abr. 2017.

MILLIMAM, J. D.; MEADE, R.H. **World-Wide Delevery of River Sediment to the Oceans**. J. Geol., 91. 1983. pp 1-21.

NETO, M. L. F.; FERREIRA, A. P. Perspectivas da Sustentabilidade Ambiental Diante da Contaminação Química da Água: Desafios Normativos. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, São Paulo, v.2, n.4, Ago. 2007.

NOGUEIRA, F. F.; COSTA, I. A.; PEREIRA, U. A. **Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis – Goiás**. 2015. 56 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Escola de engenharia civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

NUNES, R. I. Analise dos Parâmetros Físicos: Sólidos Totais, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais Dissolvidos e Sólidos Suspensos nas Águas do Vale do Açú. In: ENCONTRO REGIONAL DE QUÍMICA, 5. 2015, Mossoró. **Anais...** Mossoró: UERN. p. 1-8.

PETRELLA, R. **O manifesto da água - argumentos para um contrato mundial**. Petrópolis: Vozes, 2002.

RAMOS, R. P. da. S. et al. Caracterização fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17. 2017, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2017. p. 5202-5211.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil – Capital ecológico, uso e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. p. 01-35.

REBOUÇAS, A. da. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

REYNOLDS, C. S. **What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status?** *Hydrobiologia*, Netherlands, 369/370: 11-26. 1998.

RIBEIRO, L. G. G.; ROLIM, N. D. Planeta água de quem e para quem: uma análise da água doce como direito fundamental e sua valoração mercadológica. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 07, n. 01, p. 7-33, jun. 2017.

RICCOMINI, C.; ALMEIDA, R. P. de.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Processos fluviais e lacustres e seus registros. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M. de.; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

RIVERA, E. A. C. **Modelo sistêmico para compreender o processo de eutrofização em um reservatório de água**. 2003. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; LEAL, A. C. Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas. In: SILVA, E. V.; RODRIGUEZ, J. M. M.; MEIRELES, A. J. A. (ORG). **Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas**. Fortaleza: Editora da UFC, 2011.

SANTOS, E. de. O.; SANTOS, C. J. S. Educação Ambiental e o ensino de Geografia: uma proposta de trabalho a partir do estudo do Rio Paraíba do Meio. In: ALMEIDA, J. P. de. et al. (Org.). **Ensinando Geografia na Educação Básica: práticas docentes na sala de aula**. 1 ed. Maceió: Edufal, 2017. 226 p.

SANTOS, E. O.; MEDEIROS, P. R. P.; SANTOS, C. J. S. Implicações socioambientais do processo de apropriação e uso do rio Paraíba do Meio em Viçosa (AL). **Revista Geonorte**, Manaus, v. 9, n. 32, p. 45-66, jun. 2018.

SANTOS, M. R. **Evolução Temporal da Eutrofização no Complexo Lagunar de Jacarepaguá**. 2014. 126 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental)-Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SANTOS, S. J. da. C. **Determinação do Estado Trófico a partir da aplicação Dos Índices O'Boyle e Trix nos compartimentos da Baía de Guanabara, RJ**. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (ALAGOAS). **Plano Diretor de recursos hídricos das bacias dos rios Paraíba, Sumaúma e Remédios**. Maceió. 1997. 69 p.

SETTI, A. A.; et al. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2 ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. 207 p.

SILVA, José Afonso da. **Direito ambiental constitucional**. 6º ed. São Paulo: Malheiros, 2007.

SILVA, K. **Estimativa de variação temporal da eutrofização no Baixo São Francisco, a partir da utilização do Índice TRIX**. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)- Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

SOUZA, E. C. S.; MELLO, S. C. R. P.; SEIXAS FILHO, J. T. A eutrofização das águas causa malefícios à saúde humana e animal. **Revista Semioses**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 44-51, abr. 2014.

SOUZA, J. R. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do Prodema**, Fortaleza, v. 08, n. 01, p. 26-45, abr. 2014.

STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. R. (1972) **A practical handbook of seawater analysis**. **Bulletin Fisheries Research Board of Canada**, 167p.

TUCCI, C.E.M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, jan. 2008.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, jan. 2008.

TUNDISI, J.G. A crise da água: eutrofização e suas consequências. In. TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. 1 ed. São Carlos: Rima, 2003. 247p.

VOLLENWEIDER, R. A.; et al. Characterization of the trophic conditions of marine coastalareas with special reference to the NW Adriatic Sea; proposal for a trophic scale, turbidity andgeneralized water quality index. **Environmetrics**, v. 9, p. 329-357, 1998.

ZHANG, Z.; TAO, F.; DU, J.; SHI, P.; YU, D.; MENG, Y. et al. Surface water quality and its control in a river with intensive human impacts—a case study of the Xiangjiang River, China. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 2483–2490, 2010.

