

A Ação Antrópica e o Processo de Eutrofização no Rio Paraíba do Meio

Anthropic Action and the Eutrophization Process in the Paraíba do Meio River

Everson de Oliveira Santos¹ 

Paulo Ricardo Petter Medeiros² 

Palavras-chave:

Estado Trófico
Esgotamento Sanitário
Adequado
Expansão Urbana

Resumo

A apropriação e uso de uma bacia hidrográfica, pela sociedade, é um processo histórico, necessário e, sobretudo, gerador de problemas ambientais que alteram, sobremaneira, a qualidade da água. Um dos problemas relacionados à qualidade da água é a eutrofização. Muitos ecossistemas aquáticos tem padecido desse problema que consiste em grandes aportes de Fósforo e Nitrogênio introduzidos no leito de rios, por exemplo, por meio de efluentes domésticos e/ou industriais. Esse contexto de alteração da qualidade da água pela ação humana desencadeia o crescimento significativo de organismos fitoplanctônicos e fitobentônicos, provocando assim, um desequilíbrio na dinâmica do ecossistema aquático, bem como prejuízos também para a sociedade. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o Estado Trófico do Rio Paraíba do Meio e compreender os desdobramentos e influências da relação da sociedade com o rio e como tal relação tem contribuído para o processo de eutrofização. Os materiais e métodos pautaram-se em: aquisição de dados de parâmetros químicos e físicos de campanhas realizadas mensalmente durante o ano hidrológico de 2013; dados de vazão e precipitação; dados de esgotamento sanitário adequado; análises laboratoriais; determinação do Índice de Estado Trófico pelo Modelo TRIX. Evidenciou-se que devido as variadas atividades antrópicas que ocorreram na bacia hidrográfica em questão, com a introdução significativa de nutrientes como Fósforo e Nitrogênio no leito do rio, durante o ano hidrológico de 2013, o rio Paraíba do Meio apresentou diferentes estágios de eutrofização que variam do mesotrófico ao eutrófico.

Keywords

Trophic State
Adequate Sanitary
Sewage
Urban Expansion

Abstract

The appropriation and use of a hydrographic basin by society is a historical process, necessary and, above all, a generator of environmental problems that greatly alter the quality of water. One of the problems related to water quality is eutrophication. Many aquatic ecosystems have suffered from this problem, which consists of large inputs of Phosphorus and Nitrogen introduced into the riverbed, for example, through domestic and/or industrial effluents. This context of change in water quality by human action triggers the significant growth of phytoplanktonic and phyto-benthic organisms, thus causing an imbalance in the dynamics of the aquatic ecosystem, as well as damage to society. In this context, this study aimed to evaluate the Trophic State of the Paraíba do Meio River and understand the unfolding and influences of society's relationship with the river and how this relationship has contributed to the eutrophication process. The materials and methods were based on: data acquisition of chemical and physical parameters from campaigns carried out monthly during the hydrological year of 2013; flow and precipitation data; adequate sanitary sewage data; laboratory analyses; determination of the Trophic State Index by the TRIX Model. It was evidenced that due to the varied anthropic activities that occurred in the hydrographic basin in question, with the significant introduction of nutrients such as Phosphorus and Nitrogen in the river bed, during the hydrological year of 2013, the Paraíba do Meio river presented different stages of eutrophication that range from mesotrophic to eutrophic.

¹ Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Maceió, AL, Brasil. eversonoliveira2007.2@gmail.com

² Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Maceió, AL, Brasil. paulopetteraulas@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Os rios são um recurso natural de extrema importância para o ser humano 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. 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”.

No processo de apropriação e uso dos recursos hídricos a sociedade acaba por alterar a qualidade da água de ecossistemas aquáticos, provocando assim, a degradação ambiental. Dentre os problemas ambientais gerados tem-se a eutrofização. O processo de eutrofização é 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, devido os elevados aportes de nitrogênio (N) e fósforo (P). Dentre essas atividades destacam-se: emissários de esgotos, instalações industriais, fertilizantes utilizados na agricultura, efluentes da pecuária intensiva e aquicultura. Esse aporte de N e P estimula o crescimento excessivo de organismos fitoplanctônicos e fitobentônicos, causando

diversos efeitos deletérios para os ecossistemas e populações humanas (KITSIOU; KA-RYDIS, 2011 apud COTOVICZ JUNIOR et al, 2012).

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; TAVARES, 2010, p. 150).

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; TAVARES, 2010, p. 150).

Quando o fenômeno ocorre com a atuação antrópica a tendência é o rompimento do chamado equilíbrio ecológico. É nesse contexto que Esteves (1998, p. 207) fala sobre homeostasia: “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)”.

Desse modo, 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”.

Nesse contexto, o presente estudo objetivou avaliar o Estado Trófico do Rio Paraíba do Meio e, nesse ensejo, compreender os desdobramentos e influências da relação da sociedade com o rio e como tal relação tem contribuído para o processo de eutrofização.

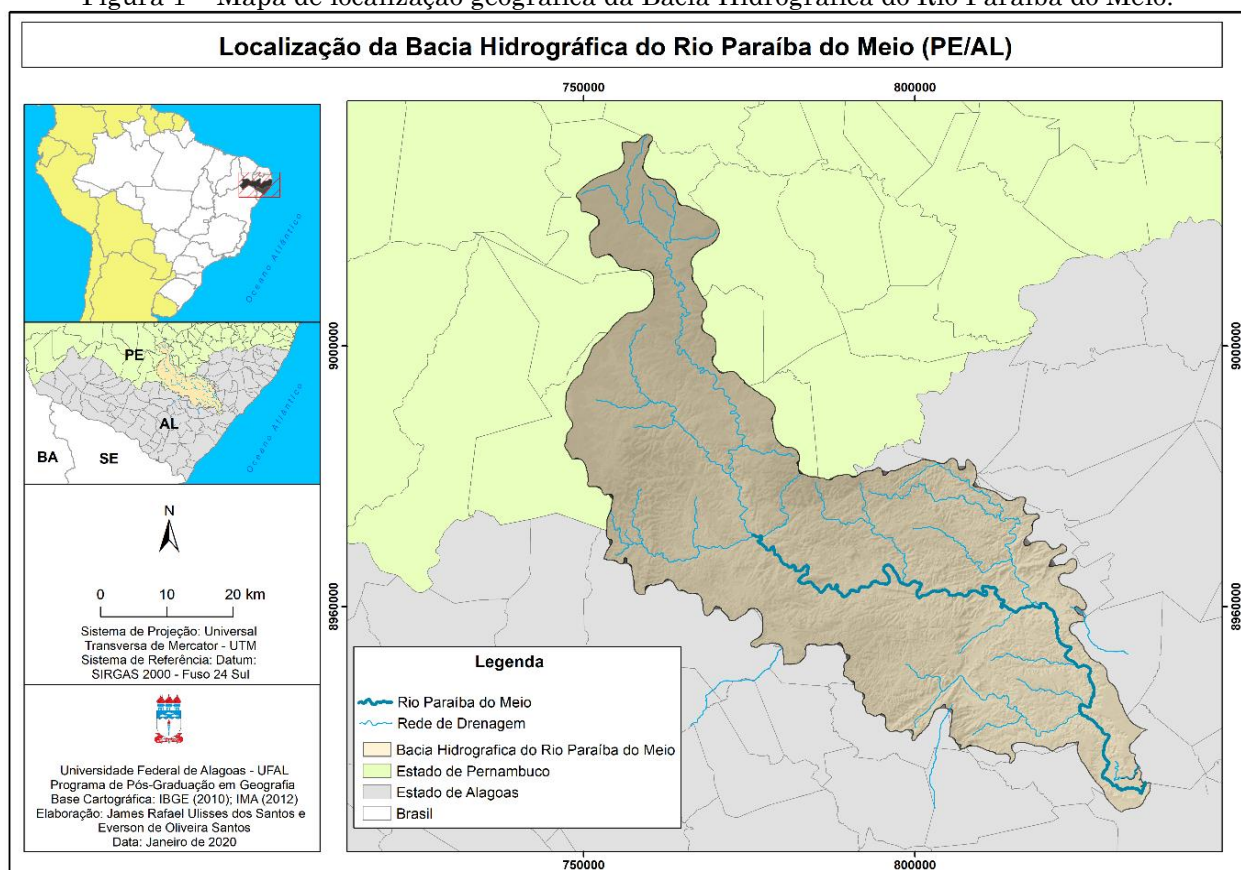
ÁREA DE ESTUDO

De acordo com seu Plano Diretor de Recursos Hídricos (ALAGOAS, 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 (figura 1) 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.

Figura 1 – Mapa de localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio.



Fonte: IBGE (2010a); IMA (2012).

A bacia do rio 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 Complexo Lagunar Mundaú-Manguaba, no município de Pilar – Alagoas.

No que concerne aos aspectos climáticos, de acordo com Santos (2020, p.41), a porção da bacia em Alagoas é “caracterizada como uma região de clima tropical quente e chuvoso, tendo o verão seco do tipo As', conforme classificação de Köppen”. Logo a porção da bacia em Pernambuco clima é classificado como

subúmido, conforme a classificação de Köppen, BShs'.

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 (SANTOS, 2020, p. 41).

O relevo da bacia, segundo Gama (2011, p. 38), é “definida no alto curso por uma superfície aplainada, 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 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 Gnaissico 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).

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.

MATERIAIS E MÉTODOS

Aquisição de dados e amostragem

Para realização da pesquisa foram tomados como base o banco de dados do Laboratório de Geoquímica Ambiental – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, bem como dos Laboratórios Integrados de Ciências do Mar e Naturais, da Universidade Federal de Alagoas. Os dados de vazão foram obtidos no site da Agência Nacional das Águas, por intermédio do Hidroweb. Os dados de precipitação foram obtidos junto à Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas. Os dados de esgotamento sanitário adequado foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Plano de Amostragem

As amostras para análises de nutrientes, clorofila e material em suspensão foram coletadas em frascos plásticos com volume de 5 litros, com garrafa de coleta tipo Van Dorn de acrílico em sub-superfície, em torno de 30

centímetros abaixo da linha de água. As medidas In Situ de temperatura, condutividade elétrica, salinidade, pH e oxigênio dissolvido foram realizadas com Sonda Multiparamétrica YSI-6600.

Determinação do período de Amostragem

As campanhas realizadas para obtenção dos dados foram mensais, 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.

Análises laboratoriais

Os nutrientes inorgânicos dissolvidos (Amônia, Nitrito, Nitrato, Fosfato e Silicato) e o Fósforo Total foram determinados segundo Carmouze (1994).

Metodologia aplicada para determinar a carga de fósforo:

$$\begin{aligned} CT_m &= \text{carga de fósforo dissolvido} \\ & \text{(T/ano)} \\ Q &= \text{vazão do rio (m}^3/\text{s)} \\ C_m &= \text{Concentração individual de cada} \\ & \text{média mensal de fósforo (}\mu\text{g/l)}. \end{aligned}$$

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).

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.

Determinação do Índice de Estado Trófico e o Modelo TRIX

Para a determinação do Índice de Estado Trófico e o Modelo TRIX, segue a equação utilizada para cálculo:

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

A equação é aplicada a um conjunto de n parâmetros, sendo eles: clorofila a ,

oxigênio como desvio absoluto da saturação, 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 realizada 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 (tabela 3):

Tabela 1 – 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 (Ultraoligotrófico)
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 Estrófico)
6-8	Altamente produtivo e maior estado trófico	Pobre (Eutrófico)

Fonte: Os autores (2021).

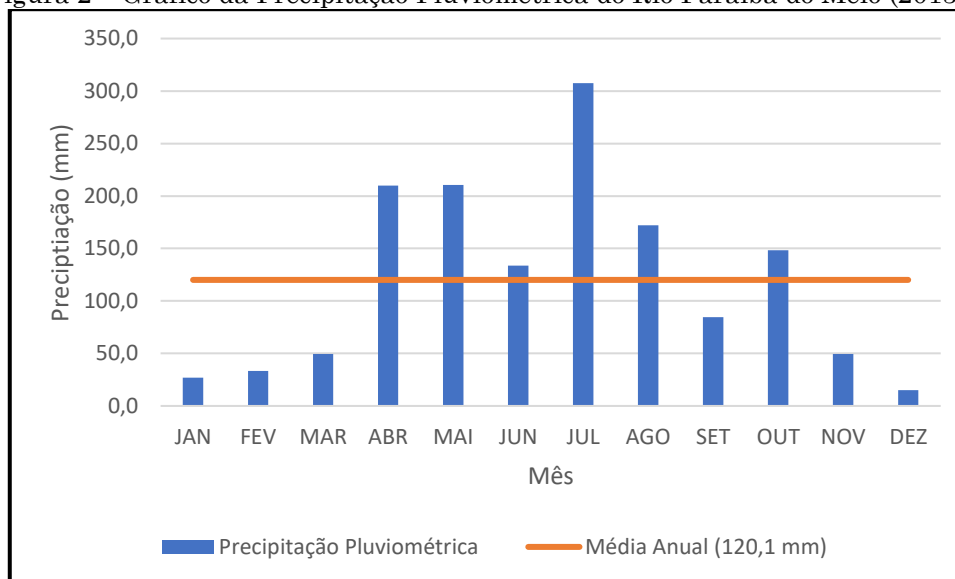
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Precipitação e vazão durante o ano hidrológico de 2013

Os dados de precipitação para o ano hidrológico de 2013 (figura 2) detalham que o mês com maior valor de precipitação foi julho, com 307,4 mm, logo o menor valor foi do mês de dezembro, com 15,2 mm. A precipitação

média para o ano de 2013 foi de 120,1 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 – desse período, apenas o mês de setembro ficou abaixo da precipitação média anual). Após outubro houve uma tendência de queda nos valores de precipitação abaixo da média anual. O período de janeiro a março, apresentou valores de precipitação abaixo da média anual, variando de 26,8 mm a 49,4 mm.

Figura 2 – Gráfico da Precipitação Pluviométrica do Rio Paraíba do Meio (2013).

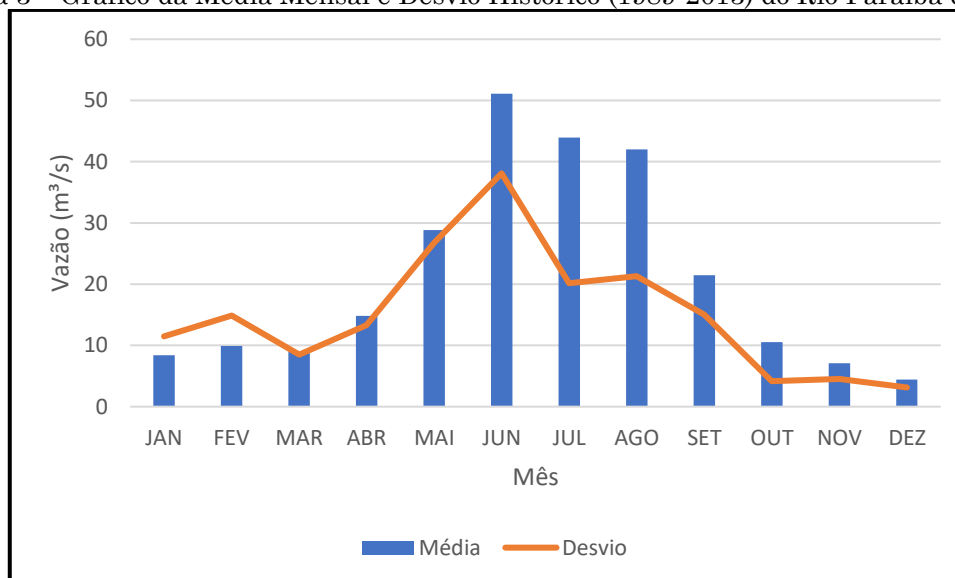


Fonte: SEMARH (2019).

Em se tratando dos dados de média mensal para série histórica do período de 1989 a 2013 (figura 3), é representado no gráfico da seguinte

forma: todos os janeiros da série, todos os fevereiros da série, etc. Nesse contexto, é inserido o parâmetro estatístico Desvio Padrão.

Figura 3 – Gráfico da Média Mensal e Desvio Histórico (1989-2013) do Rio Paraíba do Meio.



Fonte: SEMARH (2019).

Evidencia-se que em muitos recortes temporais ocorre de os valores de vazão estarem abaixo do valor de desvio, como nos janeiros e fevereiros da série. Importante assinalar que é durante o período chuvoso da série que ocorre uma extrapolação dos valores de vazão acima do desvio, cabendo destaque para os junhos, julhos, agostos e setembros.

Atividades socioambientais e econômicas na porção alagoana do rio

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.

Nessa relação da sociedade com a natureza a paisagem é constantemente e historicamente modificada. Trazendo essa premissa para o

estudo de caso presente, é possível dizer que 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 historicamente de maneira desordenada, sem a preocupação das

consequências de degradação ambiental oriundas desse processo.

De acordo com a pesquisa de Santos (2018), 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 (quadro 1), tais como:

Quadro 1 – Atividades socioeconômicas do rio Paraíba do Meio em Alagoas.

Atividades socioeconômicas no rio Paraíba do Meio
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
Margens do rio: atividades agrícolas baseadas na produção mercantil simples (plantio de macaxeira, batata, cana-de-açúcar, alface, coentro, milho, feijão, etc)
Margens do rio: pecuária simples

Fonte: Santos (2018).

As referidas atividades contribuem de maneira significativa para degradação dos recursos hídricos e seus atributos naturais, visto que tais atividades ocorrem e modificam a paisagem sem supervisão técnica ou orientação adequada e facilitada pelo poder público. 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.

Segundo Santos (2018), o caso do município de Viçosa salienta essa realidade:

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, 2018, p. 60).

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, por exemplo, é um

desmatamento da mata ciliar. Ela possui uma importância fundamental na proteção de nascentes e margens de rios que, sendo proibida sua retirada por serem APPs (Área de Preservação Permanente), conforme Código Florestal, Lei Nº 12.651/2012. A retirada dessa vegetação influi no aumento dos processos erosivos fluviais e, por conseguinte no alargamento da área de drenagem, diminuição da lâmina de água do rio e aumento da turbidez. Atividades econômicas, mesmo que simples, nas margens do rio, somado ao desmatamento da mata ciliar, é preocupante.

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, ficaram mais expressivos e desse modo não há vazão com energia suficiente para o transporte dos bancos de areia então depositados no leito do rio.

Daí, entra em foco outro problema: a dragagem não supervisionada e orientada tecnicamente. Tem sido comum moradores retirarem os sedimentos de areia nos bancos que se formam ao longo do leito do rio e para utilização na construção civil. Essa atividade econômica contribui para renda de muitas famílias ribeirinhas. Segundo 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.

O Sistema de Esgotamento Sanitário dos municípios de Alagoas e Pernambuco

A degradação qualitativa dos corpos hídricos está diretamente vinculada à poluição orgânica. Os lançamentos inadequados de esgotos sanitários e resíduos sólidos nos recursos hídricos promovem a contaminação gradativa das águas, transformando em um grave problema de saúde pública. Atualmente, os esgotos domésticos representam um dos principais problemas dos recursos hídricos no Brasil, em função da falta de rede coletora, de tratamento ou do tratamento ineficiente dos efluentes coletados (SANTOS et al., 2018, p. 24).

Com o processo de dominação, expansão e urbanização, o homem transformou e transforma ambientes naturais, para criar os ambientes artificiais, ou seja, o meio ambiente urbano, para o atendimento das suas necessidades como ser social. Com isso traz-se a importância de estudar, conceituar e caracterizar as relações do ambiente urbano, para que se possa contribuir para a discussão da melhoria da qualidade de vida dentro das aglomerações urbanas e dos problemas socioeconômicos e ambientais existentes (SALLES, 2013, p. 282).

Importante salientar que o processo de urbanização desordenado contribui significativamente para degradação dos recursos hídricos. No estudo de caso essa realidade é evidenciada quando se coloca em questão o processo de urbanização desordenado na bacia do Rio Paraíba do Meio. A relação de apropriação e uso dos recursos hídricos pela sociedade é histórica. De acordo com 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”. Santos, Medeiros e Santos (2018, p. 62), corroboram ainda 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.

Neste sentido, buscou-se um caminho para compreender a estruturação de Esgotamento Sanitário Adequado nos municípios que fazem parte da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio e a porcentagem de Esgotamento Sanitário Adequado existente e efetivada pelo poder público. Os dados utilizados aqui para discussão foram obtidos junto ao IBGE (2010b) atendendo a caracterização da realidade num recorte temporal no âmbito dessa pesquisa, no caso 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 nos municípios brasileiros e isso está relacionado a falta de planejamento urbano. 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.

Conhecendo detalhadamente cada município do Estado de Pernambuco pertencente a bacia para compreender os dados de esgotamento sanitário é fundamental fazer uma associação também com os dados demográficos (tabela 2).

Tabela 2 – 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 (2010b).

Levando em consideração os dados apresentados, constatou-se que apenas quatro municípios pernambucanos da bacia possuem acima de 50% de Sistema de Esgotamento Sanitário Adequado: Bom Conselho (54,4%), Terezinha (56,3%), Garanhuns (52,1%) e Lagoa do Ouro (52,3%). Os demais municípios, Brejão, Paranatama, Caetés e Saloá estão abaixo do percentual de 50% de implantação de um Sistema de Esgotamento Sanitário, o que configura, que existe uma significativa quantidade de efluentes sendo despejados 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, que sofre intensa pressão antrópica. Tem também o caso de Paranatama que apresenta o menor e mais alarmante porcentagem de esgotamento, isto é, da área necessária, apenas 4,6% recebeu obras de adequação.

Seguindo a mesma lógica tem-se um detalhamento da porção da bacia no Estado de Alagoas (tabela 3).

Tabela 3 – 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 (2010b).

Foi verificado que a situação de esgotamento sanitário em Alagoas é a mais deficitária do conjunto de toda bacia hidrográfica. Fica

evidente que 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 obras de esgotamento realizadas 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%. 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.

O Estado Trófico da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio na porção alagoana

A partir da aplicação do modelo TRIX, os resultados dos cálculos podem ser 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).

Os dados abaixo trazem 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 (tabela 4).

Tabela 4 – 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
	µg L-1 P.PO43	µg L-1	µg 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
Mai	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: Os autores (2019).

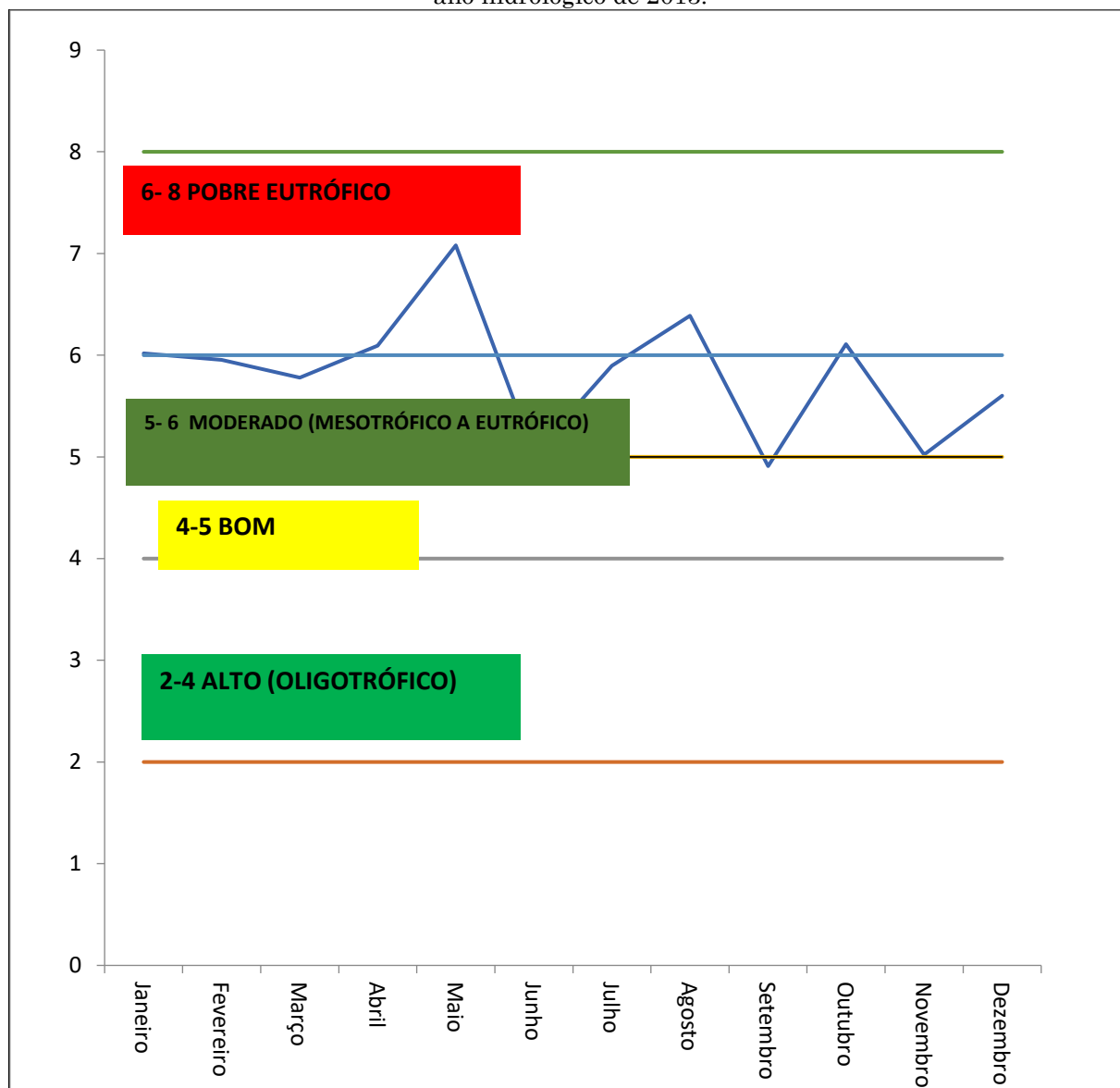
Desse modo, no ano hidrológico de 2013, o Estado Trófico do Rio Paraíba do Meio varia de Mesotrófico (Bom) a Eutrófico (Pobre). Grande parte do ano o estado trófico do rio fica de

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).

Essa variação descrita pode ser visualizada e detalhada, ao longo do ano hidrológico de 2013, por meio de um gráfico que demonstra o comportamento e a variação do estado trófico do Rio Paraíba do Meio (figura 4).

Figura 4 – Gráfico de classificação do Estado Trófico do Rio Paraíba do Meio e sua variabilidade no ano hidrológico de 2013.



Fonte: Os autores (2019).

Diante da situação descrita, é avaliado que as atividades antrópicas, indicadas nesta pesquisa, a saber: efluentes domésticos, esgotamento sanitário inadequado, poluição e contaminação, desmatamento da mata ciliar, expansão urbana desordenada e sem planejamento, dentre outros, estão

influenciando no enriquecimento de nutrientes que, por sua vez, estão acarretando na existência e aumento do processo de eutrofização do ecossistema aquático, devido a entrada, sobretudo, de nutrientes como fósforo e nitrogênio, que por sua vez, acabam por contribuir para a eutrofização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de eutrofização existente é significativo, variando, conforme modelo TRIX, entre Mesotrófico (estágio mediano e moderadamente produtivo) e Eutrófico (alto estágio e altamente produtivo). As atividades humanas existentes ao longo da bacia hidrográfica e elencadas no estudo, tais como agricultura, pecuária, ocupação irregular nas margens do rio e conseqüentemente a existência de efluentes domésticos, bem como a própria situação deficitária de esgotamento sanitário adequado nos municípios pertencentes a bacia, demonstram o quanto a relação entre a ação antrópica e os estágios altos de estado trófico da água estão relacionados e, sobretudo, intensificaram a eutrofização.

Portanto, o presente estudo contribuiu para literatura científica no que se refere a temática em questão relacionada a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio, visto que há uma lacuna de pesquisas com essa temática sobre o referido rio. E mais, não apenas possibilitou compreender a situação atual e preocupante, mas, sobretudo, pode auxiliar os órgãos ambientais e o poder público na tomada de decisão, pois a referida pesquisa com seus respectivos dados, resultados e discussões pode servir de referência e norteamento na elaboração de relatórios ambientais, bem como de alguma ação como política pública e/ou privada ambiental visando a recuperação da degradação ambiental existente.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratórios Integrados de Ciências do Mar e Naturais (LABMAR/UFAL), Laboratório de Hidroquímica (LH/IGDEMA/UFAL) e Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGA/IGDEMA/UFAL) pelo apoio nas análises laboratoriais e orientações necessárias.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Ao CNPq através do Projeto Instituto do Milênio Estuários CNPq/ MCT Proc. No. 420.050/2005-1 e do Projeto CNPq INCT-TMC Ocean Proc. No. 573.601/2008-9, pelos equipamentos utilizados na coleta e processamento dos dados.

REFERÊNCIAS

- ALAGOAS. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano Diretor de recursos hídricos das bacias dos rios Paraíba, Sumaúma e Remédios**. Maceió, 1997.
- BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera - Centro Científico Conhecer**, v. 9, p. 2165-2179, 2013.
- BERTOLDI, L. **Avaliação do Estado Trófico de um sistema estuarino tropical a partir do Índice Trófico Trix**. Dissertation (Master in Environmental Oceanography) – Aracruz: UFES. 2014.
- CARMOUZE, J. P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos - Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. São Paulo: Ed. FAPESP, 1994.
- CLOERN, J. E. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. **Marine Ecology Progress Series**, v. 210, p. 223-253, 2001. <https://doi.org/10.3354/meps210223>
- 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). Dissertation (Master in Environmental Geochemistry) – Niterói: UFF. 2012.
- ESTEVES, A. F. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 1998.
- GAMA, W. M. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras**. Dissertation (Master in Water Resources and Sanitation) – Maceió: UFAL. 2011.
- GARCIA, J. M.; MANTOVANI, P.; GOMES, R. C.; LONGO, R. M.; DEMAMBORO, A. C.; BETTINE, S. C. Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. **Revista Sociedade e Natureza**, v. 30, p. 228-254, 2018. <http://dx.doi.org/10.14393/SN-v30n1-2018-10>
- GIOVANARDI, F.; VOLLENWEIDER, R.A. Trophic conditions of marine coastal waters: experience in applying the Trophic Index TRIX to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas. **Journal of Limnology**, v. 63, p. 199-218, 2004.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de dados do IBGE**. 2010a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico.html>. Acesso: Março 22, 2021.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados de Saneamento Adequado dos Municípios Brasileiros**. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/vicosa/panorama>. Acesso: Março 22, 2020.
- IMA – Instituto do Meio Ambiente de Alagoas. **Base de dados do IMA**. 2012. Disponível em:

- <https://www2.ima.al.gov.br/>. Acesso: Agosto 15, 2021.
- MACEDO, C. F.; TAVARES, L. H. S. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 36, p. 149-163, 2010.
- MARGALEF, R. **Limnologia**. Barcelona: Omega, 1983.
- 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**, v. 21, p. 212-231, 2007.
- PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. M. Avaliação espaço-temporal da relação entre o estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP) e o potencial poluidor de sua bacia hidrográfica. **Revista Sociedade e Natureza**, v. 19, p. 5-18, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132007000200001>
- SANTOS, S. M.; GASTALDINI, M. C. C.; PIVETTA, G. G.; SCHMIDT, O. Qualidade da água na bacia hidrográfica urbana Cancela Tamandaí, Santa Maria/RS. **Revista Sociedade e Natureza**, v. 30, p. 23-44, 2018. <http://dx.doi.org/10.14393/SN-v30n2-2018-2-X>
- REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.) **Águas doces no Brasil – Capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. p. 01-35.
- RIVERA, E. A. C. **Modelo sistêmico para compreender o processo de eutrofização em um reservatório de água**. Dissertation (Master in Food Engineering) – Campinas: UNICAMP. 2003.
- SALLES, M. C. T.; GRIGIO, A. M.; SILVA, M. R. F. Expansão urbana e conflito ambiental: uma descrição da problemática do município de Mossoró, RN – Brasil. **Revista Sociedade e Natureza**, v. 25, p. 281-290, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000200006>
- SANTOS, E. O. Avaliação do índice de estado trófico e carga de nutrientes no rio Paraíba do Meio durante o ano hidrológico de 2013. Dissertation (Master in Geography)– Maceió: UFAL. 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p1044-1057>
- 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.; CALAZANS, D. R.; ALMEIDA, E. P.; SANTOS, C. J. S. (Org.). **Ensinando Geografia na Educação Básica: práticas docentes na sala de aula**. Maceió: Edufal, 2017. p. 109-126.
- 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**, v. 9, p. 45-66, 2018. <https://doi.org/10.21170/geonorte.2018.V.9.N.32.4.5.66>
- SANTOS, M. R. **Evolução Temporal da Eutrofização no Complexo Lagunar de Jacarepaguá**. Monography (Degree in Environmental Engineering) – Rio de Janeiro: UFRJ. 2014.
- SANTOS, S. A.; GASTALDINI, M. C. C.; PIVETTA, G. G.; SCHMIDT FILHO, O. SILVA, K. **Estimativa de variação temporal da eutrofização no Baixo São Francisco, a partir da utilização do Índice TRIX**. Dissertation (Master in Geography) – Maceió: UFAL. 2018.
- SCHIEWER, U. 30 years' eutrophication in shallow brackish waters - lessons to be learned. **Hydrobiologia**, v. 363, p. 73-79, 1998.
- SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas. **Portal de Banco de Dados Hidrometeorológicos**. 2019. Disponível em: <http://meteorologia.semarh.al.gov.br/consultas/>. Acesso: Julho 17, 2019.
- SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas. **Plano Diretor de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Meio**. 1997. Disponível em: <http://www.semarh.al.gov.br/recursos-hidricos/regioes-hidrograficas/planos-diretores-de-recursos-hidricos/category/203-planos-diretores-de-recursos-hidricos>. Acesso: Novembro 03, 2019.
- STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A practical handbook of seawater analysis**. Canadá: Ed. Bulletin, 1972.
- TUNDISI, J.G. A crise da água: eutrofização e suas consequências. In: TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, 2003. p. 180-195.
- WETZEL, R.G. **Limnology**. EUA: W. B. Saunders Company, 1983.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Everson de Oliveira Santos deu a ideia original; elaborou o texto e o rascunho original; sistematizou as informações e dados. Paulo Ricardo Petter Medeiros revisou e editou; coletou os dados; realizou a aplicação de parâmetros estatísticos.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.