



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Qualidade da Água e Fluxo de Fósforo e Nitrogênio no Rio Paraíba do Meio (AL)

Everson de Oliveira Santos. eversonoliveira2007.2@gmail.com (autor correspondente). Universidade Federal de Alagoas (UFAL) / Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA)

Paulo Ricardo Petter Medeiros. Professor Titular da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), no Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA), Rogério da Silva Santos. Universidade Federal de Alagoas (UFAL) / Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA).

Artigo recebido em 09/04/2020 e aceito em 11/02/2021

RESUMO

A qualidade da água é um importante elemento no debate científico contemporâneo acerca da relação entre a sociedade e os recursos hídricos. Sua relevância social, econômica, ambiental e, sobretudo vital, está relacionada a manutenção da vida na Terra. Contudo, a sociedade provoca a degradação dos recursos hídricos. Desse modo, o presente artigo tem como objetivo avaliar a qualidade da água do Rio Paraíba do Meio, em sua porção alagoana, tomando como base, para caracterização dos impactos ambientais, a concentração e fluxo da carga de Nitrogênio e Fósforo. Desse modo, a referida pesquisa vem a preencher uma lacuna em pesquisas sobre o Rio Paraíba do Meio. Foram realizadas coletas de amostras, mensalmente, durante o ano de 2013, tendo como localização geográfica do ponto de amostragem a seção da ponte rodoviária (BR-316) do município de Atalaia – Alagoas. O referido ano hidrológico é caracterizado com uma vazão média anual de 10,97 m³/s e precipitação média anual de 62,5 mm. A média anual do fluxo de fósforo para 2013 é de 3715,71 Kg e a carga anual é de 44588,56 Kg. Foi identificadas alterações nos valores da concentração de fósforo, estando os mesmos fora do padrão estabelecido pelo CONAMA, que estabelece uma variação entre 0,050 mg/L P e 0,250 mg/L P. O processo de urbanização desordenado influenciou nas alterações da qualidade da água, um vez que, dos 16 municípios pertencentes à bacia, apenas cinco possuem cobertura mínima de saneamento de 50%. Nesta perspectiva, quando se leva em consideração municípios com elevada Densidade Demográfica, a saber, Palmeira dos Índios (AL), com 155,44 hab./km², Cajueiro (AL), com 164,24 hab./km² e Pilar (AL), com 133,37 hab./km², são constatadas coberturas de esgotamento sanitário de apenas 13,6%, 9,2% e 26,3%, respectivamente, conclui-se que esse contingente populacional influencia na existência significativa de cargas poluidoras. Estas acarretam na degradação ambiental. Palavras-chave Ação Humana, Degradação, Recursos Hídricos.

Water Quality and Phosphorus and Nitrogen Flow in the Paraíba do Meio River (AL), during the Hydrological Year of 2013

ABSTRACT

Water quality is considered an important element in the contemporaneous scientific debate about the relation between society and hydric resources. Water has a social, economic, environmental, and overall vital relevance, for it's intimately related to the maintenance of life on planet Earth. Nevertheless, even before this reality, the degradation of hydric resources is significative. Thereby, the following article of studying the degradation process of the Paraíba Meio River, in its portion in Alagoas (62% of the total), having as base, for the characterization of the environmental impacts, the concentration and flow rate of Nitrogen and Phosphorous. Thus the aforementioned research comes to fill a gap in research on the Paraíba Meio River. During 2013, samples were collected on a monthly basis, having its sampling region be the highway bridge (BR-316) in the city of Atalaia in Alagoas, with the decimal coordinates being: 9,596568; -36,007742. The previously mentioned hydrological year was characterized with a flow rate of 10,97 m³/s and an average annual precipitation of 62,5 mm. The average annual phosphorous flow of 2013 was 3715,713612 Kg, and the annual charge being 44588,56335 Kg. Alterations on the phosphorous concentration values have been identified, the same being outside of the pattern established by CONAMA, with a variation of 0,050 mg/L P and 0,250 mg/L P. The unorganized urbanization process influenced the alterations on the water quality, therefore Adequate Sanitation, for example, of the 16 cities belonging to the basin, only 50% of the sanitation, made on the areas that needed such constructions, in its total. In this perspective, when determined municipalities and their demographic density data are taken into consideration, to know: Palmeira dos Índios (AL): 155,44 hab./km², Cajueiro (AL): 164,24 hab./km² and Pilar (AL): 133,37 hab./km², with

only 13,6%, 9,2% e 26,3% of sanitation, respectively, the conclusion is that the population contingency influences the significant existence of domestic effluences.

Keywords: Human action, degradation, water resources.

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.

O aumento do contingente populacional influencia na necessidade de maiores demandas de água e outros recursos naturais fundamentais a sociedade. O processo de apropriação e uso dos recursos hídricos nos aspectos sociais e econômicos, quando realizado de maneira não racional e insustentável, acaba por provocar a degradação dos mesmos. Santos et al. (2018) acrescentam que “devido a alguns fatores como o crescimento da população, a expansão urbanística, a industrialização, a agricultura, a pecuária e a produção de energia elétrica, a água tem se tornado um recurso mais estratégico de qualquer país”. E mais, França et al. (2019) frisa que “quando esse recurso é escasso, compromete todo o desenvolvimento da sociedade, causando prejuízos para as indústrias, irrigação e a população como um todo”.

Segundo Santos e Santos (2017), “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”. De acordo com Santos, Medeiros e Santos (2018), “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 consequente desmatamento da mata ciliar”. Marques et al. (2012) enfatizam que “as atividades urbanas influenciam diretamente a qualidade da água nas bacias hidrográficas, porque os efluentes são lançados os cursos d'água em muitos casos, sem passar por nenhum processo de tratamento”.

Estudar a dinâmica da concentração e fluxo de nutrientes (Nitrogênio e Fósforo) é relevante para se compreender a qualidade da água no ecossistema aquático. Nutrientes quando depositados em elevada concentração podem ocasionar o aumento do grau de trofia do corpo hídrico, ou seja, a eutrofização, que é caracterizada pelo enriquecimento de nutrientes em um ecossistema, principalmente por fósforo e nitrogênio, tendo como resultado o crescimento excessivo dos produtores primários, como as

macrófitas e algas planctônicas. (Wiegand, Piedra e Araújo, 2016)

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)

O nitrogênio em forma de Amônia, 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)

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)

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; Skoronski, 2016)

Para Pereira et al. (2020), “o nitrato é a forma mais oxidada do nitrogênio, e é formado já nas etapas finais da decomposição biológica, tanto em estações de tratamento de água, como nos mananciais de água natural”.

Em relação ao fósforo, há muito é conhecida sua importância 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 fosfolípidios). (Esteves, 1998)

A falta de saneamento básico adequado tem acarretado alterações significativas na qualidade da água. Entende-se por saneamento básico toda conjuntura de ações relacionadas a serviços de infraestrutura, abastecimento de água potável, esgotamento sanitário adequado, limpeza urbana, drenagem, manejo de resíduos sólidos e manejo também de águas pluviais do espaço urbano

Vasconcelos e Souza (2011) ressaltam que problemas relacionados a qualidade de água apresentam um aspecto potencialmente vasto dentro da área de estudos hidroambientais, e se relacionam na identificação de fontes de contaminação, que podem ser por despejos inadequados de resíduos líquidos ou sólidos, de natureza doméstica ou industrial, alterações geradas por empreendimentos na geração de energia, como também, práticas agrícolas realizadas em pequenas bacias urbanas.

A presente pesquisa contribui para o gerenciamento e monitoramento da qualidade da água do rio Paraíba do Meio. Poucos estudos nessa linha científica são realizados na bacia em questão, sendo assim, a referida pesquisa vem a preencher uma lacuna na literatura científica. Marmontel e Rodrigues (2015) frisam que “o monitoramento da qualidade da água, através da análise de parâmetros físico-químicos, é de suma importância para caracterizar as alterações decorrentes da interferência antrópica”. E mais, utilizar a bacia

hidrográfica como conceito norteador no gerenciamento dos recursos hídricos faz parte do planejamento estratégico. Para Christofolletti (1981), “as bacias hidrográficas passam a ser de fundamental importância para avaliar os impactos causados pelos diferentes usos na bacia”.

Desse modo, o presente artigo objetiva avaliar a qualidade da água do Rio Paraíba do Meio, em sua porção alagoana, tomando como base, para caracterização dos impactos ambientais, a concentração e fluxo da carga de nitrogênio e fósforo. Ambos estão intrinsecamente relacionados à qualidade da água. De acordo com Borges, Galbiatti e Ferraudo (2003), “a interferência do homem nesse contexto de poluição hídrica relacionada a alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio, tem afetado significativamente o potencial da qualidade da água, assim como diminuído a biodiversidade aquática”.

Material e Métodos

Localização Geográfica e caracterização da área de estudo

A localização geográfica (conforme 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. O referido mapa evidencia a diferença no regime fluvial, onde na porção pernambucana da bacia o regime fluvial é intermitente e na porção alagoana é de regime fluvial perene.

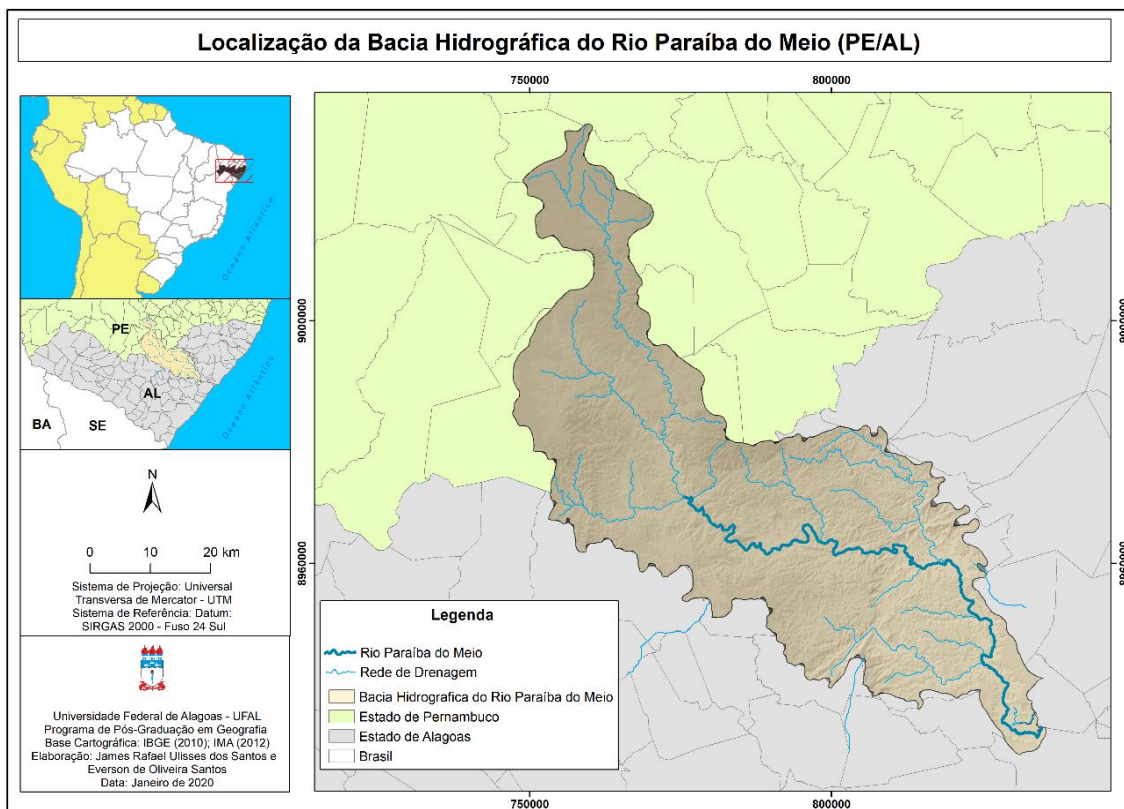


Figura 1. Mapa de localização geográfica da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio. Elaboração: Santos e Santos, 2020. Fonte: IBGE (2010), IMA (2012).

De acordo com o 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).

Possui em seu perímetro oito municípios Pernambucanos (Bom Conselho, Brejão, Terezinha, Paratama, Caetés, Garanhuns, Saloá e Lagoa do Ouro) e oito alagoanos (Quebrangulo, Paulo Jacinto, Viçosa, Palmeira dos Índios, Cajueiro, Capela, Atalaia e Pilar), desaguardo no Complexo Lagunar Mundaú-Manguaba, no município Pilar – Alagoas.

O norte da bacia tem como limite a Bacia do Rio Ipanema (Pernambuco), ao sul encontra-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 localização do ponto de coleta de amostras para análise em laboratório está na ponte rodoviária (BR-316) situada no município de Atalaia-AL (este antecede o município de Pilar-AL, onde está situada a foz do rio Paraíba do Meio direcionada para o Complexo Lagunar Mundaú-Manguaba). A localização da seção de coleta é estratégica para a compreensão do fluxo de nutrientes que atingem o Complexo Lagunar Mundaú-Manguaba. Trata-se, naturalmente, de um local que está relacionado ao fluxo de nutrientes para o Complexo.

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio não possui homogeneidade em seu 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. Já, a porção localizada no Estado de Alagoas é de regime fluvial perene, compreendendo 126,57 km. A discrepância climática existente na bacia entre os dois Estados, em termos geográficos, contribui significativamente para esse distinto tipo de regime. O Quadro 1 detalha os aspectos morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio.

Quadro 1. Aspectos morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio. Fonte: PDRH, 1997.

Aspectos físicos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio (PDRH, 2001)			
Área Total	3.127,83km ²	Coeficiente 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 (Dd)	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	Ext. Méd. 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 %

Segundo Gama (2011), os principais rios que contribuem para o canal principal são riacho Bálamo e o riacho Seco na margem direita, no 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.

Vários fatores influenciam a qualidade da água de um ecossistema. São eles, a saber: o substrato rochoso; o clima; solo; processo de uso e manejo do solo; a cobertura vegetal existente, bem como as atividades existentes nas áreas de drenagem dos cursos de água. Os referidos fatores acabam por influenciar não apenas os processos físicos que ocorrem nas vertentes, mas também o escoamento superficial e os processos erosivos, bem como a composição química, física e biológica das águas (Silva e Gasparetto, 2016). Em seguida serão detalhados apenas os fatores que tem relevância para os objetivos do presente estudo.

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 pelos postos da SUDENE e DNAEE por Gama (2011). Na porção da bacia que está situada no Estado de Pernambuco, segundo Gama (2011) “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”.

Em relação aos solos que caracterizam a área da bacia do Rio Paraíba do Meio tem-se os seguintes tipos: Argissolos, Regossolos, Planossolos, Latossolo Vermelho Amarelo, Solos Aluviais e Gleissolos.

Em relação aos aspectos de vegetação, de acordo com Gama (2011), no Alto e no Médio Vale é predominante a 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. Adicionalmente, na Baixada Litorânea tem-se a Vegetação de Restinga (Francês, Taperaguá e Massagueira) ainda conservada.

Em relação a aquisição de dados e amostragem

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: Nitrogênio em forma de Nitrito, Amônia e Nitrato; Fósforo Dissolvido. Salientando que existem várias formas de fósforo presentes na água (seja na forma iônica ou forma complexada) e as mesmas encontram-se sob a forma de fosfato. Dentre os fosfatos, a presente pesquisa se utilizou do Fosfato Orto (P-Orto), isto é, o Fosfato Inorgânico Dissolvido ou Ortofosfato ou Fosfato Reativo.

Os dados de vazão foram obtidos no site da Agência Nacional de Águas (ANA), por intermédio do Hidroweb (ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos

Hídricos – SNIRH). A Estação Fluviométrica utilizada está localizada no município de Atalaia – Alagoas (Código39870000 – ANA)

Os dados de precipitação foram obtidos junto à Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH). Vale destacar que tais dados obtidos são expressos em médias anuais, não havendo nos documentos entregues dados de precipitação total anual. As coordenadas geográficas do posto de medição são: Lat. -9.5100 e Log. -36.0100 (Posto 7 / Atalaia-AL/ ANA). Os dados dessa estação foram representativos para o objetivo da pesquisa, principalmente pelo fato do local de coleta de amostras (seção) ter sido no município de Atalaia.

Para compreender toda estruturação de Esgotamento Sanitário Adequado nos municípios que fazem parte da bacia hidrográfica e a porcentagem de Esgotamento Sanitário Adequado existente e efetivada pelo poder público foram obtidos dados junto ao IBGE, conforme dados do último Censo (2010), atendendo à caracterização da realidade do recorte temporal dessa pesquisa que é o ano de 2013.

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. A estação de medição e coleta de amostras na seção da ponte rodoviária no município de Atalaia-Alagoas, no rio Paraíba do Meio, tendo como coordenadas decimais - 9,596568; -36,007742 – a intenção foi ter uma estação próxima da foz do rio e do Complexo Lagunar Mundaú-Manguaba.

Análises laboratoriais

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

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 fluxo de carga fósforo dissolvido foi determinado segundo Medeiros et al. (2007), levando em consideração:

$$F_m = Q C_i$$

Onde: F_m = fluxo momentâneo (g/s) dos nutrientes ou material em suspensão i;

Q = vazão (m³/s);

C_i = concentração do material em suspensão ou nutrientes.

Resultados e discussão

O processo de urbanização desordenado e sua relação com a degradação dos recursos naturais da bacia

O crescimento das cidades tem relação com a degradação dos recursos hídricos. O que tem haver a expansão urbana desordenada com a expressão “dilema do Plano Diretor”? Constata-se que 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 apresentado ainda efeito prático. O Plano Diretor abrange várias questões que caracterizam uma cidade e o saneamento básico é um deles. Em se tratando de saneamento básico como um todo, o esgotamento sanitário é uma de suas premissas.

Existe uma exigência de padrão sanitário que é praticamente 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. 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.

Identificou-se que entre os municípios pernambucanos que integram a bacia do Rio Paraíba do Meio, apenas quatro municípios possuem a partir de 50 % de Esgotamento Sanitário Adequado. São eles: Bom Conselho (54,4%), Terezinha (56,3%), Garanhuns (52,1%) e Lagoa do Ouro (52,3%). Nos demais municípios, a saber, Brejão, Paratama, Caetés e Salóia menos de 50% de Esgotamento Sanitário foi realizado, o que configura, consequentemente, em uma significativa quantidade de efluentes que estão sendo lançados diretamente no rio.

Dentre os municípios do Estado de Alagoas foi verificado que a situação de esgotamento sanitário é a mais deficitária do conjunto de toda bacia hidrográfica. É preciso haver maior atenção por parte do poder público estadual e municipal no sentido de dar uma estruturação adequada, necessária e de direito a população.

Nesse sentido, o único município na bacia 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.

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.

Série histórica de vazão e precipitação (2005 a 2018)

O gráfico da figura 2 detalha o comportamento da vazão média anual relacionada à precipitação média anual para o mesmo recorte temporal, de 2005 a 2018.

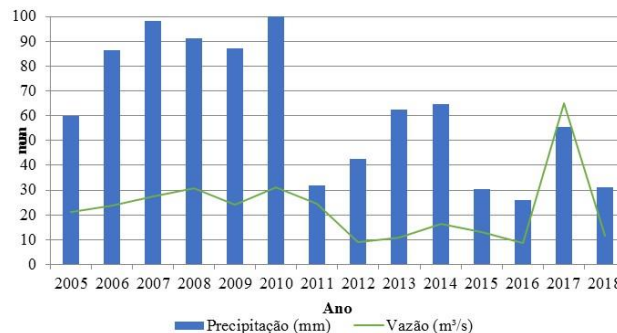


Figura 2. Gráfico da série histórica de vazão média anual e precipitação média anual entre 2005 e 2018. Elaboração: Autores. Fonte: SEMARH (2020) e ANA (2020).

Como pode ser observado ao longo da série histórica apresentada no gráfico, ocorrem oscilações significativas tanto acima como abaixo nas médias históricas de vazão (22,68 m³/s) e precipitação (62,5 mm). O período de 2006 a 2010 é caracterizado por valores de precipitação (do posto pluviométrico considerado) bem acima da média histórica e neste mesmo período os valores de vazão também ficam acima da média histórica. No ano de 2011 ocorre uma queda brusca da precipitação (31,7 mm) e vazão (8,83 m³/s). Nos anos posteriores e até 2014, a precipitação e a vazão vão gradualmente aumentando, contudo, novamente o ano de 2015 registra uma diminuição significativa. Outra inferência se refere ao fato da precipitação atingir o ápice de toda série histórica em 2010, com 108,2 mm. Entretanto, o valor de maior vazão da série histórica foi no ano de 2017, com 55,6 m³/s. O ano hidrológico de 2013 tido como foco da presente pesquisa é caracterizado por uma precipitação de 64,5 mm e vazão de 16,51 m³/s.

Implicações e caracterização da concentração e carga de nutrientes.

Amônio

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 um 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, para pH maior que 8,5 o valor máximo estabelecido é de 0,5 mg/L N.

Tomando-se como base os valores padrões anteriormente detalhados, é possível verificar na tabela 1 que está dentro dos padrões. Ocorre uma variação na concentração de Amônio de 0,02 mg/L N a 0,19 mg/L N, com pH variando de 6,93 a 8,16.

No gráfico da figura 3 tem-se a 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.

Fazendo-se uma comparação do gráfico anterior com o gráfico de vazão da figura 4, onde se verifica 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 da estação chuvosa e consequente aumento da vazão) também ocorre uma elevação considerável de Nitrato e Amônia, essencialmente nesta ordem.

Tabela 1. Dados de Nitrogênio (Amônio), pH e Vazão. Fonte: LABMAR, 2019.

	Nitrogênio Amônio	Nitrogênio Amônio	pH	Vazão
	$\mu\text{g L}^{-1} \text{N.NH}_4^+$	mg/L		m^3/s
Mês				
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
Maio	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

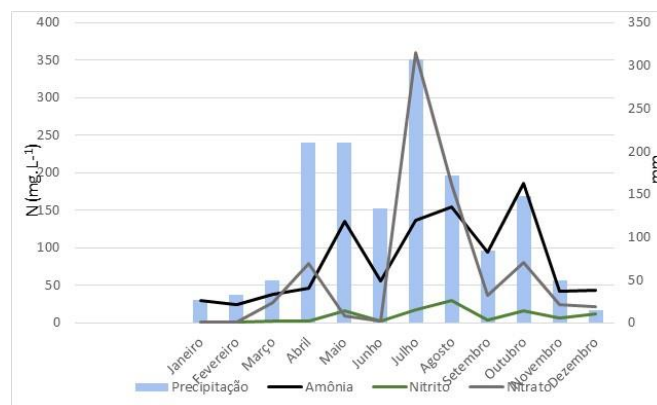


Figura 3. Gráfico de variabilidade de Amônia, Nitrito e Nitrato associado a precipitação, no ano hidrológico de 2013. Elaboração: Autores. Fonte: LABMAR, 2019.

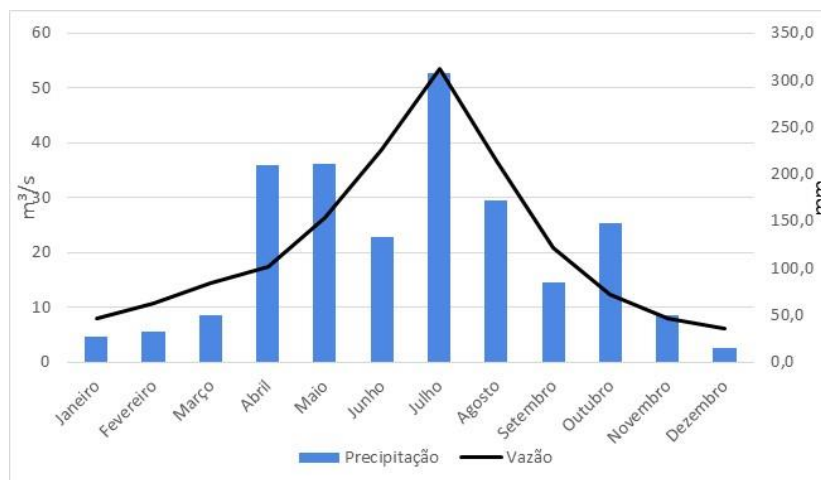


Figura 4. Gráfico do comportamento da vazão e precipitação no Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013. Elaboração: Autores. Fonte: LABMAR, 2019.

No gráfico da figura 5 se faz uma associação entre média mensal e média anual de Amônio no Rio Paraíba do Meio, avaliando-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). Constata-se que ocorre uma elevação de Amônio acima da média

anual (5642,57 Kg). A carga anual é de 67710,84 Kg.

Adicionalmente, é especificamente durante o período do inverno que ocorrem esses valores acima da média anual. Desse modo, pode-se inferir que o aumento de vazão (devido o inverno) influenciou na elevação da carga mensal acima da média anual.

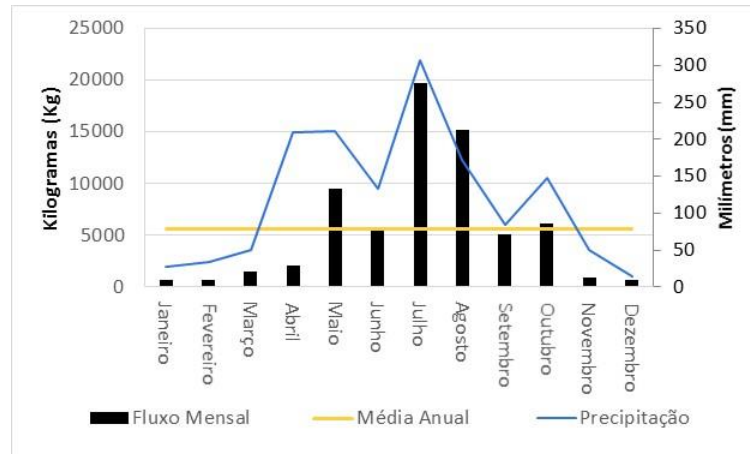


Figura 5. Gráfico do comportamento e fluxo de Amônio, associado a precipitação, no Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013. Elaboração: Autores. Fonte: LABMAR, 2019.

Nitrito

O CONAMA, em seu Art. 14 estabelece o valor máximo de 1,0 mg/L N. Conforme é apresentado na tabela 2, em todo o ano de 2013 avaliou-se baixas concentrações de Nitrito,

caracterizando a área que abrange a seção de medição do estudo de caso e a área jusante da bacia 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 2. Dados de Nitrogênio (Nitrito) e Vazão. Fonte: LABMAR, 2019.

	Nitrogênio Nitrito	Nitrogênio Nitrito	Vazão
	$\mu\text{g L}^{-1} \text{ N.NO}_2^-$	mg/L	m^3/s
Mês			
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
Maio	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

O gráfico da figura 6 apresenta uma associação entre a média mensal e média anual de

Nitrito na seção em estudo, verificando-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 quando isso ocorre são os mesmos relacionados à Amônia, para a mesma avaliação em questão. A carga anual é de 8432,04 Kg.

Adicionalmente, é especificamente durante o período do inverno que ocorrem duas das maiores concentrações acima da média anual. Constatase novamente que o aumento de vazão (devido o inverno) influenciou na elevação da carga mensal acima da média anual de Nitrito.

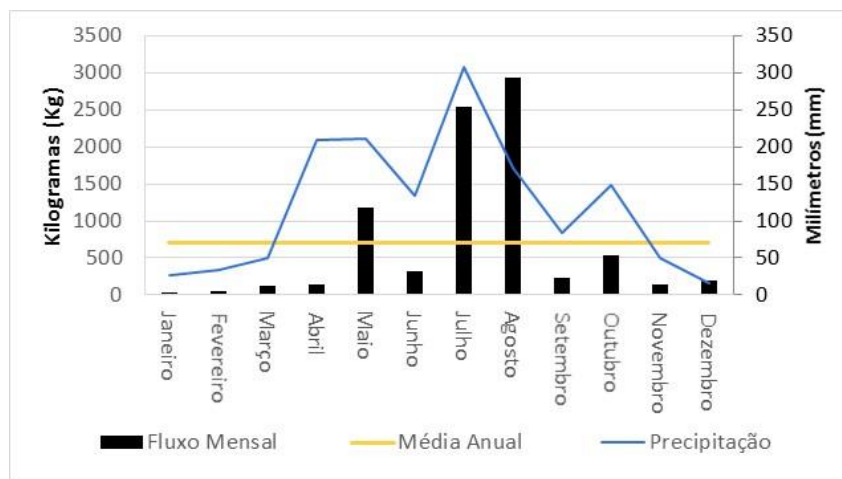


Figura 6. Gráfico do comportamento e fluxo de Nitrito, associado a precipitação, no Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013. Elaboração: Autores. Fonte: LABMAR, 2019.

Nitrato

O CONAMA, em seu Art. 14, estabelece o valor máximo 10,0 mg/L N. Como pode ser observado na tabela 3, os valores que caracterizam a concentração de Nitrato no Rio Paraíba do Meio são baixos e estão dentro do padrão estabelecido

pelo CONAMA, ocorrendo 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, na seção de estudo.

Tabela 3. Dados de Nitrogênio (Nitrato), pH e Vazão. Fonte: LABMAR, 2019.

	Nitrogênio Nitrato	Nitrogênio Nitrato	pH	Vazão
	$\mu\text{g L}^{-1} \text{N.NO}_3^-$	mg/L		m^3/s
Mês				
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
Maio	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

A figura 7 apresenta o gráfico de 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. A carga anual é de 81066,19 Kg.

É importante assinalar que é durante o período do inverno que ocorrem valores acima da média anual, verificando-se que o aumento de vazão (devido o inverno) influenciou na elevação da carga mensal acima da média anual.

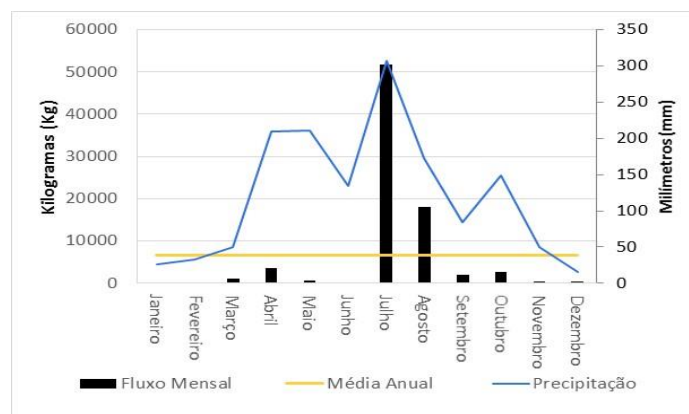


Figura 7. Gráfico do comportamento e fluxo (kg) de Nitrato, associado a precipitação, no ano hidrológico de 2013. Elaboração: Autores. Fonte: LABMAR, 2019.

Fósforo

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 àquele de águas continentais moventes. Dentro desse contexto o Rio Paraíba do Meio fica numa posição intermediária (classe 1 de enquadramento). 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 4, em todos os meses os valores de Fósforo Total ficaram fora do padrão estabelecido pelo CONAMA. A ocorrência de valores superiores ao padrão estabelecido é expressada pela variação entre 0,050 mg/L P e 0,250 mg/L P. Essa realidade indica que pode haver contribuição do Fósforo para enriquecimento de nutrientes, que podem acarretar a eutrofização artificial. Outro aspecto é que indica haver uma gama de efluentes domésticos e/ou industriais sendo introduzidos diretamente no leito do rio – característica muito comum nas cidades incluídas na bacia hidrográfica do presente estudo.

Tabela 4. Dados de Fosfato Orto, Fosfato Total e Vazão. Fonte: LABMAR, 2019.

	Fosfato Orto	Fosfato Total	P-Orto	P-Total	Vazão
	$\mu\text{g L}^{-1} \text{P.P.O}_4^{3-}$	$\mu\text{g L}^{-1} \text{P.H.P.O}_4^{2-}$	mg/L	mg/L	m ³ /s
Mês					
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
Maio	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

Conforme é mostrado no gráfico da figura 8, a partir de Abril ocorre uma elevação na concentração de Fósforo que, por sua vez,

continua a aumentar até o mês de Junho. Este é o mês quando ocorre a maior concentração de P, isto é, 13816,31 Kg.

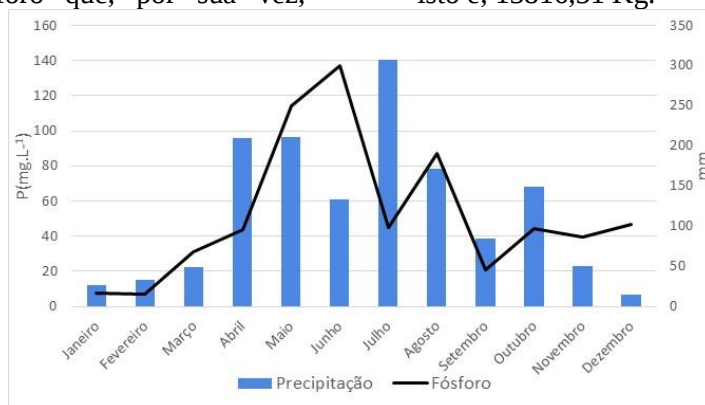


Figura 8. Gráfico do comportamento da concentração de Fósforo associado a precipitação, no ano hidrológico de 2013. Elaboração: Autores. Fonte: LABMAR, 2019.

Fazendo uma associação entre a média mensal e a média anual de Fósforo na seção de estudo, conforme figura 9, 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). A carga anual é de 44588,56 Kg.

É importante assinalar que é no período do inverno quando ocorrem maiores concentrações de fósforo, e que estão acima da média anual.

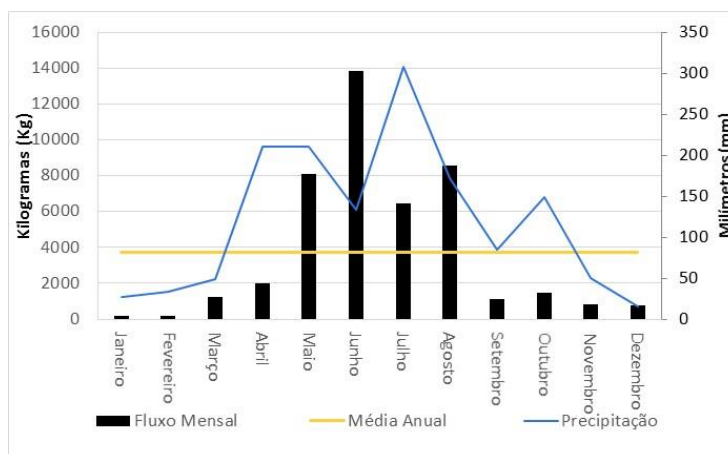


Figura 9. Gráfico do comportamento e fluxo (kg) de Fósforo, associado a precipitação, no Rio Paraíba do Meio, no ano hidrológico de 2013. Elaboração: Autores. Fonte: LABMAR, 2019.

Conclusões

Os dados de carga de Nitrogênio e Fósforo na seção do Rio Paraíba do Meio foram importantes indicadores na alteração da qualidade da água. Constata-se que, os valores de Amônia, Nitrito e Nitrato estão em níveis aceitáveis. Dessas três formas de Nitrogênio, conforme seu ciclo

biogeoquímico, durante o período do inverno, quando ocorre aumento da vazão, o Nitrato é o que apresenta maiores valores consideráveis. A carga anual de Nitrato é de 81066,19 Kg.

Apesar da carga de Nitrogênio estar dentro dos limites aceitáveis para um ecossistema aquático como o Rio Paraíba do Meio, a presente

pesquisa mostra que o mesmo não ocorre com a concentração de Fósforo. Durante o ano hidrológico de 2013, em todos os meses ocorreram valores superiores ao valor máximo de Fósforo Total de 0,025 mg/L estabelecido pelo CONAMA, apresentando uma variação entre 0,050 mg/L P e 0,250 mg/L P. A carga anual de Fósforo é de 44588,56 Kg. O Nitrogênio e Fósforo são importantes elementos impulsionadores do processo de eutrofização. Os dados apresentados neste estudo demonstraram que já existe significativo avanço no estado trófico do rio para o processo de eutrofização artificial, na região em estudo.

Os resultados detalhados e discutidos possibilitaram compreender o enriquecimento de nutrientes no rio. Verifica-se que os municípios da bacia apresentam um deficitário sistema de padrão sanitário. Desse modo, efluentes domésticos tem contribuído com nutrientes (fósforo e nitrogênio) que influenciam no estado trófico.

Portanto, é preciso maior atuação do poder público no gerenciamento dos recursos hídricos. Trata-se de uma ação fundamental e necessária que possa garantir o acesso a água potável e de qualidade.

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

Borges, M. J.; Galbiatti, J. A.; Ferraud, A. S., 2003. Monitoramento da qualidade hídrica e eficiência de interceptores de esgoto em cursos d'água urbanos da bacia hidrográfica do córrego Jaboticabal. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8, 161-171.

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

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

Christofolletti, A., 1981. Geomorfologia fluvial. Edgar Blucher. São Paulo/SP, 301p.

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

França, L. M. A. et al., 2019. Efeitos da precipitação na vazão da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v.12, n.06, p. 2377-2391, jul.

Gama, W. M., 2011. 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.

Marmontel, C.V.F.; Rodrigues, V. A., 2015. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. *Floresta e Ambiente* [online] 22. Disponível: <http://www.scielo.br/pdf/loram/v22n2/2179-8087-floram-21798087082014.pdf>. Acesso: 05 jan. 2019.

Marques, R. F. D. P. V. et al., 2012. Impacts of urban solid waste disposal on the quality of surface water in three cities of Minas Gerais-Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, 36, 684-692.

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

Pereira, M. A. B. et al., 2020. Qualidade Hídrica da Cachoeira do Rio São Tomás, no Município de Rio Verde, Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, 13, p. 377-390.

PDRH. Plano Diretor de recursos hídricos das bacias dos rios Paraíba, Sumaúma e Remédios, 1997. Maceió. 69 p.

Santos, C. J. S.; Santos, E. O., 2017. Educação Ambiental e o Ensino de Geografia: uma proposta de trabalho a partir do estudo do rio Paraíba do Meio. In: Almeida et al. *Ensinando geografia na educação básica: práticas docentes na sala de aula*. Maceió: EDUFAL, p.109-126.

Santos, E. O.; Medeiros, P. R. P.; Santos, C. J. S., 2018. 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.

Santos, R.C.L., et al., 2018. Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. *Eng Sanit Ambient* [online] 23. Disponível:

- <http://www.scielo.br/pdf/esa/v23n1/1809-4457-esa-s1413-41522017159832.pdf>. Acesso: 17 jan. 2019.
- Silva, V. B.; Gasparetto, N. V. L., 2016. Qualidade da água na sub-bacia do rio do Campo - Campo Mourão-PR. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 9. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233423>. Acesso: 22 ago. 2018.
- Strickland, J. D. H. & Parsons, T. R., 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bulletin Fisheries Research Board of Canada, 167p.
- UFAL. Universidade Federal de Alagoas, 2020. Mapa de localização geográfica da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio. Maceió: PPGG, 1 mapa. Escala 1: 1.000.000.
- Vasconcelos, V. D. M. M.; Souza, C. F., 2011. Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6, 605-624.
- Wiegand, M.C.; Piedra, J.I.G.; Araújo, J.C. , 2016. Vulnerabilidade à eutrofização de dois lados tropicais de clima úmido (Cuba) e semiárido (Brasil). *Eng Sanit Ambient*, [online] 21. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016139527>. Acesso: 15 jan. 2019.