

Bactérias consumidoras de fosfato em uma bacia hidrográfica urbana no centro da Amazônia

Phosphate-consuming bacteria in an urban watershed in central Amazônia

DOI:10.34117/bjdv9n1-347

Recebimento dos originais: 23/12/2022

Aceitação para publicação: 25/01/2023

Angélica Chrystina Cruz Matias

Mestre em Geociências

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Endereço: Avenida André Araújo, S/N, Aleixo – Manaus, AM

E-mail: angelicachrystina25@gmail.com

Anderson da Silva Lages

Doutor em Química Analítica

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Endereço: Avenida André Araújo, S/N, Aleixo, Manaus - AM

E-mail: asl.qmc@gmail.com

Paulo Renan Gomes Ferreira

Doutor em Química Analítica

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Endereço: Avenida André Araújo, S/N, Aleixo, Manaus - AM

E-mail: prferreira29@gmail.com

Samia Dourado de Albuquerque

Tecnóloga em Processos Químicos

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Endereço: Avenida André Araújo, S/N, Aleixo, Manaus - AM

E-mail: samiaalb@gmail.com

Aretusa Cetauro de Abreu

Tecnóloga em Química de Alimentos

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Endereço: Avenida André Araújo, S/N, Aleixo, Manaus - AM

E-mail: aretusacetauro@gmail.com

Sebastião Átila Fonseca Miranda

Doutor em Química Analítica

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Endereço: Avenida André Araújo, S/N, Aleixo, Manaus - AM

E-mail: sebastiaomiranda1958@gmail.com

Sávio José Filgueiras Ferreira

Doutor em Química Ambiental

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Endereço: Avenida André Araújo, S/N, Aleixo, Manaus - AM

E-mail: saviojfferreira@gmail.com

Márcio Luiz da Silva

Doutor em Hidrogeoquímica

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Endereço: Avenida André Araújo, S/N, Aleixo, Manaus - AM

E-mail: marciols44@gmail.com

RESUMO

As preocupações mais difundidas com relação à contaminação por dejetos humanos e animais são causadas por patógenos relacionados a doenças transmitidas pela água e concentrações excessivas de nitrogênio e fósforo que provocam o fenômeno da eutrofização. Dessa forma, esse estudo teve por objetivo avaliar a interação entre a bactéria *E. Coli* com os teores de fosfato em uma bacia hidrográfica urbana em Manaus. Foram realizadas 14 coletas quinzenais entre os meses de setembro de 2021 e março de 2022. As amostras de água para análise de *E. coli* foram coletadas próximas da superfície em frascos de vidro de 100 mL, enquanto que para as análises de fosfato, as amostras foram coletadas em frascos de polietileno e acondicionadas até as análises por Colilert e espectrofotometria, respectivamente. Os resultados mostraram que as águas naturalmente ácidas de Manaus apresentaram valores de pH básicos em muitos locais (até 7,20) e que existe uma tendência linear entre fosfato e *E. coli*. Esse microrganismo prevaleceu em ambientes menos ácidos. Em valores de pH próximos a 7,0 a concentração de fosfato praticamente não muda, como se esse íon estivesse associado a algum tampão no meio (a partir de 0,04 mg L⁻¹). A *E. coli* predominou em todos os pontos cujas concentrações de fosfato foram acima de 0,04 mg L⁻¹, obedecendo uma tendência logarítmica típica para crescimento de microbiano. Ao contrário do que se esperava, não houve diluição em direção às fozes desta bacia hidrográfica, nem para fosfato e nem para a *E. coli*.

Palavras-chave: *E. coli*, tampão por fosfato, Colilert.

ABSTRACT

The most widespread concerns regarding contamination by human and animal waste are caused by pathogens related to water-borne diseases and excessive concentrations of nitrogen and phosphorus that cause the phenomenon of eutrophication. Thus, this study aimed to evaluate the interaction between *E. coli* bacteria and phosphate levels in an urban watershed in Manaus. Fourteen fortnightly collections were carried out between September 2021 and March 2022. Water samples for *E. coli* analysis were collected close to the surface in 100 mL glass flasks, while for phosphate analysis, samples were collected in polyethylene bottles and stored until analysis by Colilert and spectrophotometry, respectively. The results showed that the naturally acidic waters of Manaus had basic pH values in many places (up to 7.20) and that there is a linear trend between phosphate and *E. coli*. This microorganism prevailed in less acidic environments. At pH values close to 7.0, the phosphate concentration practically does not change, as if this ion were associated with some buffer in the medium (from 0.04 mg L⁻¹). The *E. coli* predominated at all points whose phosphate concentrations were above 0.04 mg L⁻¹, following a typical logarithmic

trend for microbial growth. Contrary to what was expected, there was no dilution towards the mouths of this hydrographic basin, neither for phosphate nor for *E. coli*.

Keywords: *E. coli*, Phosphate Buffer, Colilert.

1 INTRODUÇÃO

A contaminação bacteriana na água potável resulta em sérios problemas de saúde, podendo infectar gravemente os seres humanos. Esses microrganismos entéricos são liberados das fezes de uma pessoa infectada e contaminam direta ou indiretamente a água (Kostyla, 2015). A contaminação da água com esses patógenos pode ser responsável pela transmissão de doenças como diarreia, cólera, disenteria, febre tifoide e poliomielite, e estima-se que cause 485.000 mortes por diarreia por ano especialmente nos países em desenvolvimento (Iqbal e Ashraf, 2020; Neupane *et al.*, 2018; WHO, 2022). A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2017) descobriu que bilhões de pessoas em todo o mundo sofrem de doenças relacionadas à poluição da água, e a maioria das vítimas são crianças menores de cinco anos nos países em desenvolvimento. A mortalidade por doenças transmitidas pela água ultrapassa 5 milhões de pessoas por ano. Destes, mais de 50% são devidos a infecções intestinais bacterianas, com a cólera no topo da lista. Cerca de 4% das mortes em todo o mundo e 5,7% da carga global de doenças em anos de vida ajustados por incapacidade podem ser atribuídos a doenças infecciosas relacionadas a águas de superfície altamente contaminadas, saneamento e higiene (Bisimwa *et al.*, 2022). Na maioria dos países em desenvolvimento, a contaminação das águas superficiais devido a fontes pontuais e não pontuais é uma preocupação em muitas bacias hidrográficas.

A OMS recomenda fortemente o uso de *Escherichia coli* (*E. coli*) como indicador fecal para medir a qualidade sanitária da água para fins recreativos, industriais, agrícolas e para abastecimento (Brooks *et al.*, 2020; Chen e Walker, 2012). A presença de bactérias indicadoras fecais é causada por descargas de águas residuais não tratadas, vazamento séptico, transbordamento de estações de bombeamento de esgoto, escoamento agrícola/urbano, excrementos de animais de pecuária, resíduos de matadouros e população de vida selvagem (Bisimwa *et al.*, 2022; Kubera, 2021; Mbanga *et al.*, 2020). É importante destacar que a contaminação bacteriana na água potável nem sempre se deve a fontes fecais. Existem muitas outras causas como danos nas linhas de abastecimento, armazenamento inadequado e, às vezes, métodos e instrumentos de teste que afetam a qualidade da água. As más condições de saneamento e higiene também são responsáveis

pela contaminação bacteriana, juntamente com a temperatura e as alterações climáticas que podem influenciar o transporte de agentes microbiológicos para a água (Hasan e Gerber, 2017; Mahato, 2019).

A análise microbiológica da água depende da detecção de coliformes totais, coliformes fecais e *E. coli*. As bactérias coliformes nem sempre são causadoras de doenças, mas sua presença na água potável indica que a água pode estar contaminada com patógenos causadores de doenças. Assim, a transmissão de doenças infecciosas envolve um agente, um agente suscetível e uma via de introdução. Nas infecções transmitidas pela água, os agentes responsáveis pela contaminação da água são humanos e animais (Larif *et al.*, 2013; Mirzaei *et al.*, 2015). Embora a presença de coliformes fecais geralmente indique contaminação de origem fecal, muitos coliformes fecais não são de origem fecal, mas de águas enriquecidas em matéria orgânica (OMS, 2017). Além disso, a presença de bactérias em ecossistemas aquáticos é preocupante para a saúde pública, principalmente pelo fato de que tais bactérias podem ser portadoras de resistência a antibióticos. Subsequentemente, os sistemas fluviais podem ser um veículo para espalhar a resistência aos antibióticos (Bisimwa *et al.*, 2022; Namegabe *et al.*, 2017). Os coliformes fecais são, portanto, considerados organismos indicadores ideais pela poluição ambiental devido ao fácil cultivo, principalmente de natureza não patogênica (exceto por uma nova cepa), e geralmente viajam com microrganismos causadores de doenças. Alguns exemplos desses microrganismos causadores de doenças incluem *Giardia lamblia* (causa disenteria - "Montezuma's Revenge"), *Cryptosporidium* (causa criptosporidiose), e muitos outros (Edberg *et al.*, 2000).

As fontes de deterioração da qualidade de águas superficiais são variadas: insumos municipais, agrícolas e industriais, bem como dejetos de animais selvagens ou domésticos e a intensa carga de resíduos sólidos são frequentemente contribuintes significativos. As preocupações mais difundidas com relação à contaminação por dejetos humanos e animais são causadas por patógenos, relacionados a doenças transmitidas pela água, e concentrações excessivas de nitrogênio (N) e fósforo (P), causando eutrofização (Furtula *et al.*, 2012). Esses contaminantes representam grandes ameaças à saúde dos seres humanos e de vários ecossistemas (Lin *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2022; Miranda *et al.*, 2021). Os principais fatores que limitam o crescimento do fitoplâncton em muitos rios e lagos são N e P. A concentração e o estado de acoplamento desses elementos afetam a estrutura da cadeia alimentar e os ciclos biogeoquímicos dos ecossistemas aquáticos (Zhang *et al.*,

2018). Insumos excessivos de N e P levam a uma série de problemas ambientais aquáticos, como proliferação de algas, marés vermelhas, deterioração da qualidade da água e morte de peixes, mariscos e outros animais aquáticos (Fink *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2022).

A água potável segura e limpa é um dos direitos básicos e essenciais de todos os seres vivos, e a região Amazônica se destaca por ser rica em água doce. Sua riqueza é incomensurável tanto do ponto de vista da água superficial como de águas subterrâneas. Contudo, com a rápida e intensa expansão urbana sofrida nas últimas décadas, esse valioso patrimônio mundial se coloca sob grave risco de contaminação, sobretudo, bacteriológico.

Manaus é uma cidade localizada no centro da Amazônia e conta com inúmeros corpos de água chamados igarapés. Dentro da malha hídrica da cidade, tem-se como destaque a Bacia Hidrográfica do Educandos (BHE), cujo principal corpo drenador é o igarapé do Quarenta. Por estar integralmente inserida dentro da cidade, sabe-se que essa Bacia Hidrográfica recebe uma alta carga de esgotos domésticos e industriais, o que aumenta a taxa de lixiviação de P, na forma de fosfato ($P-PO^{3-}$), para essas águas e estimula o aumento das bactérias termotolerantes (*E. coli*) (Samuel *et al.*, 2022). Diante disso, o objetivo deste trabalho é investigar interações entre o íon $P-PO^{3-}$ e a bactéria *E. coli* em uma Bacia Hidrográfica urbana situada no polo industrial de Manaus. Tais considerações podem fornecer subsídios para o entendimento do comportamento desta bactéria em um corpo de água originalmente ácido, como as águas da BHE.

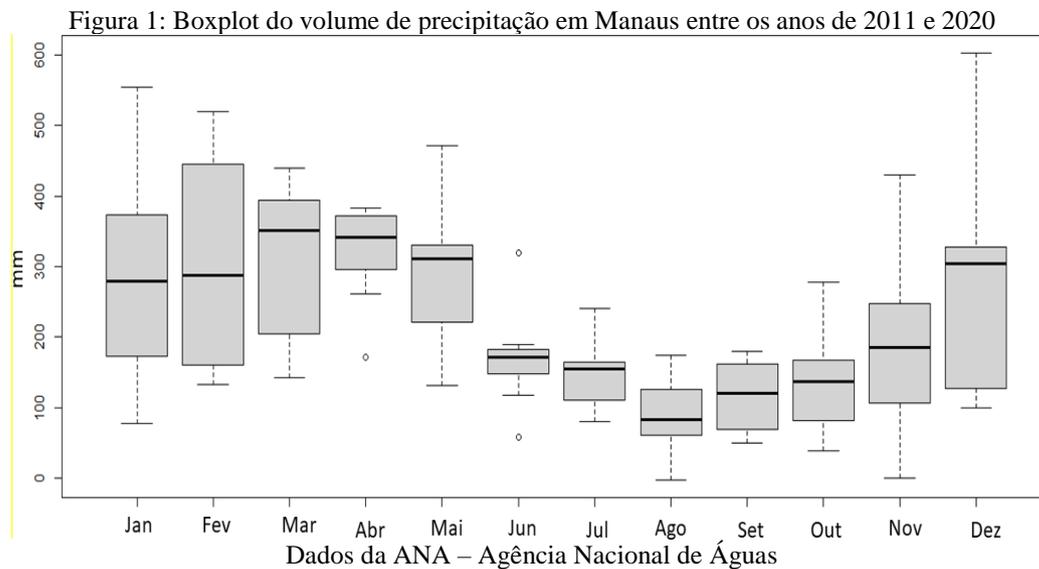
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO EDUCANDOS (BHE) E REGIME HIDROLÓGICO

A BHE está localizada na região do polo industrial do município de Manaus, capital do estado do Amazonas. Segundo a classificação do Köppen, essa região possui um clima equatorial caracterizado como quente e úmido, apresentando uma temperatura média de 25,8 °C e um índice pluviométrico de 2.300 mm ao ano (Alvares, 2014). É uma região cuja climatologia destaca-se pela intensidade de chuvas de novembro a abril e pela estiagem no período de junho a outubro.

A BHE possui uma área totalizada de 46,14 Km², que corresponde a 10,22% do perímetro urbano de Manaus. A área de drenagem é marcada por uma grande malha de igarapés que abrange 22 bairros, onde 14 estão inseridos na bacia (Nogueira, 2015). A

Figura 1 mostra que as médias de precipitação sobre Manaus têm o mês de agosto como o mais seco e o de março como o mais chuvoso.

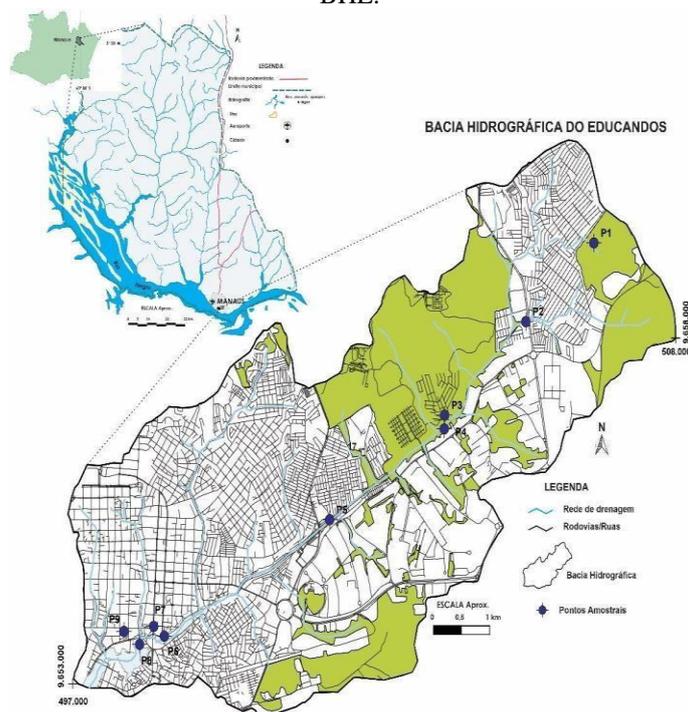


Vale destacar que a cheia dos corpos de água superficiais ao entorno de Manaus se dão no mês de junho, e os limites das secas dos rios e igarapés se verificam entre novembro e dezembro. Desta forma, o regime de chuvas sobre a cidade pode impactar mais diretamente o aquífero do que os corpos de águas superficiais, já que estes são mais influenciáveis pelas cabeceiras dos rios acima de Manaus.

2.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

A área de estudo está situada na Formação Alter do Chão, formada por arenitos e pelitos avermelhados. Aparece assentada discordantemente sobre os calcários da Formação Nova Olinda, de idade carbonífera. A sucessão inferior é predominantemente arenosa e a superior pelítica. O arranjo indica que a estruturação original da Bacia Alter do Chão não foi obliterada pela atividade tectônica recorrente e está, aparentemente, restrita a falhamentos lítricos pouco acentuados. Localmente, ocorrem crostas lateríticas sílico-ferruginosas, com espessura média de cerca de 1 metro e extensão lateral na ordem de dezenas de metros, sendo responsáveis pela preservação do modelado tabular do relevo. Todas essas características contribuem para que esse ambiente seja pouco mineralizado (Pita *et al.*, 2018). Nesse cenário, no centro do polo industrial de Manaus, elencou-se nove pontos de coleta, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2: Locais monitorados para bactérias termotolerantes na Bacia Hidrográfica do Educandos – BHE.



Os pontos são nomeados como: P1 – Nascente do IFAM CMZL; P2 – Detran zona leste; P3 – Conjunto dos Industriários; P4 – Saída dos Industriários; P5 – Manaus 2000; P6 – Studio 5, P7 – Foz do Igarapé Cachoeirinha; P8 – Foz do Igarapé do Quarenta e P9 – Foz do Igarapé do MestreChico. O ponto de referência nesta bacia foi o P1. Entretanto, adotou-se um outro ponto de referência localizado a aproximadamente 50 km do centro urbano de Manaus. Esse local foi representado por P10 e denominado de igarapé Açú localizado na reserva Cuieiras do INPA.

2.3 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

As coletas de amostras de água superficial foram realizadas de forma quinzenal entre os meses de setembro de 2021 e março de 2022. As amostras foram coletadas na superfície com o auxílio de uma vara de teflon como suporte para frascos de vidro de 100 mL. As amostras eram acondicionadas, refrigeradas e transportadas ao laboratório de Química ambiental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA. Todas as amostras foram analisadas em triplicatas.

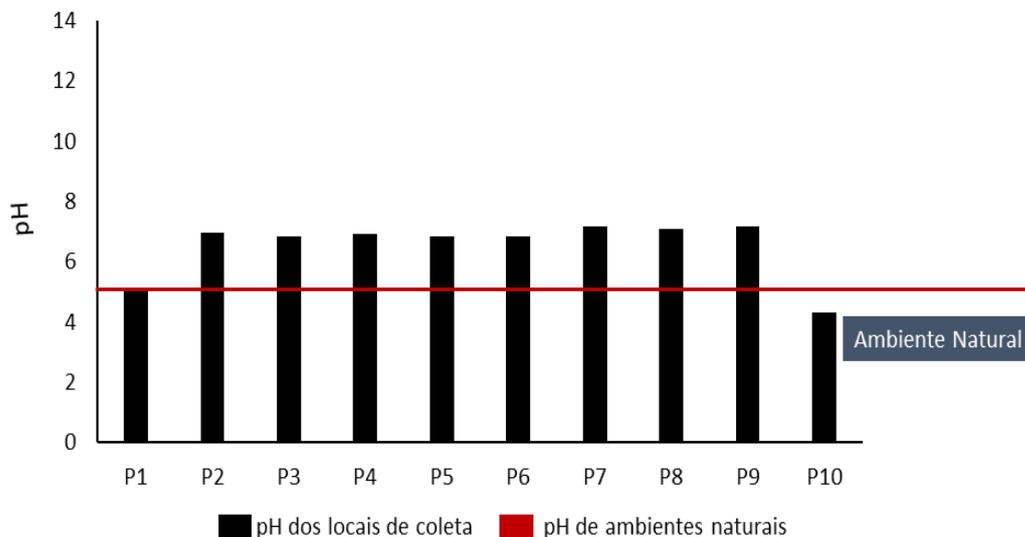
Para a identificação da presença de coliformes fecais, utilizou-se o método Colilert da IDEXX® que realiza a identificação de *E. coli* – que representa as bactérias termotolerantes – através de substrato definido. As análises de fosfato foram realizadas em

um espectrofotômetro de UV-VIS (modelo: UV-1800 Shimadzu) em conjunto com um sistema de injeção em fluxo (FIA). O pH foi determinado com um pHmetro de bancada (modelo PH-2000: Instruterm). Todas as análises foram realizadas segundo o Standard Methods of Water and Wastewater (APHA, 2017). Por fim, foram feitos testes de correlação entre as variáveis analisadas e a investigação sobre qual função matemática melhor representava a interação entre o íon fosfato e a *E. coli*. Esses testes foram feitos usando o pacote office convencional da microsoft.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH das amostras analisadas demonstraram baixa acidez, com exceção dos pontos de referência P1 e P10 (Figura 3). Em verdade, a acidez desses locais de referência caracterizaram fielmente os aspectos geoquímicos dessas águas. O P1 é uma nascente em área urbana e o P10 um ponto localizado a aproximadamente 50 quilômetros da zona urbana.

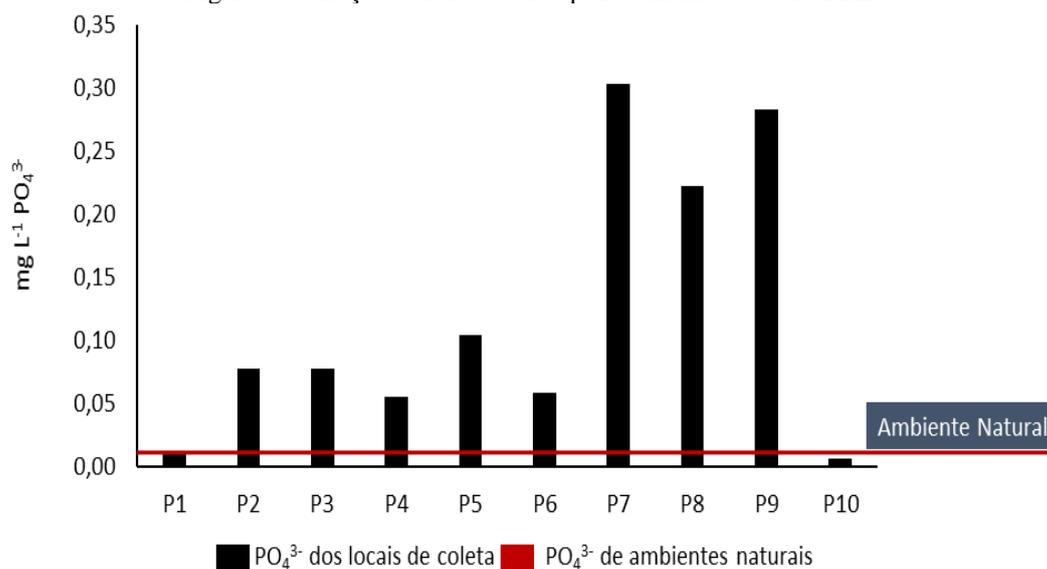
Figura 3: Variação do pH nos pontos monitorados na BHE.



Conforme a linha destacada na figura 3, sabe-se que as águas de Manaus originalmente são ácidas, com pH inferior a 5,0. No entanto, tais resultados só foram observados para o P10. Os demais locais monitorados apresentaram valores acima de 6,0 o que denota uma pesada influência antropogênica, com conseqüente diminuição da acidez dessas águas. Os valores mais elevados de pH se dão nas fozes dos principais tributários da BHE: igarapé Cachoeirinha (7,20), igarapé do Quarenta (7,08) e igarapé do

Mestre Chico (7,17) cujos valores já se encontram na faixa do pH básico. Os valores aqui apresentados são superiores aos valores observados por Calvo e Oliveira (2020) na mesma bacia hidrográfica e muito mais elevados que os observados por Bringel (1986), o que já denota uma forte influência antropogênica. O P-PO³⁻ acompanha a escala de acidez para os pontos monitorados. Isso demonstra que quanto maiores os valores de pH, maiores são os valores de P-PO³⁻, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4: Variação de P-PO₄³⁻ nos pontos monitorados na BHE.

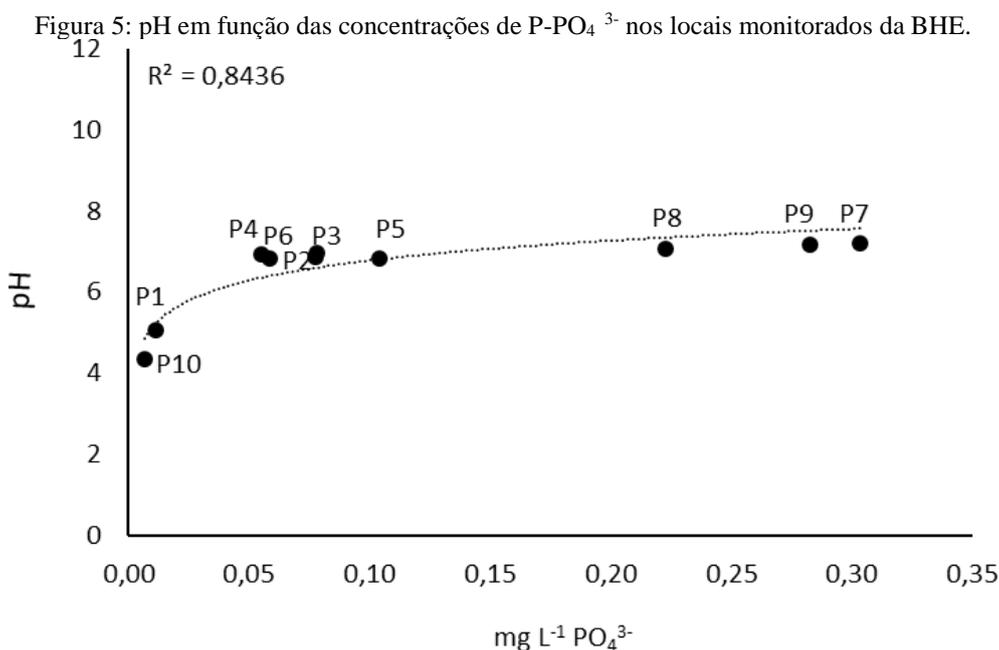


A região de Manaus não está assentada sobre reservas de rochas fosfáticas, e todo esse conteúdo anômalo encontrado nas águas é de origem antropogênica. Novamente, tomando por referência as águas do igarapé Açu (P10) os teores de P-PO₄³⁻ nessas águas foram de 0,01 mg L⁻¹, valor similar ao observado no P1 (nascente do IFAM CMZL). Tais informações corroboram que valores acima destes revelam locais sob forte influência antropogênica, sobretudo, nas fozes da BHE como P7 (0,30 mg L⁻¹), P8 (0,22 mg L⁻¹) e P9 (0,28 mg L⁻¹). Os demais pontos de coleta apresentaram valores intermediários de P-PO₄³⁻. Os valores observados nas fozes estão 30 vezes acima dos dados obtidos por Bringel (1986) e 10 vezes maiores que os observados por Guedes (2003). Os valores altos observados nas fozes da BHE se devem ao intenso e indiscriminado lançamento de esgotos domésticos não tratados nestas localidades (Dittrich *et al.*, 2013).

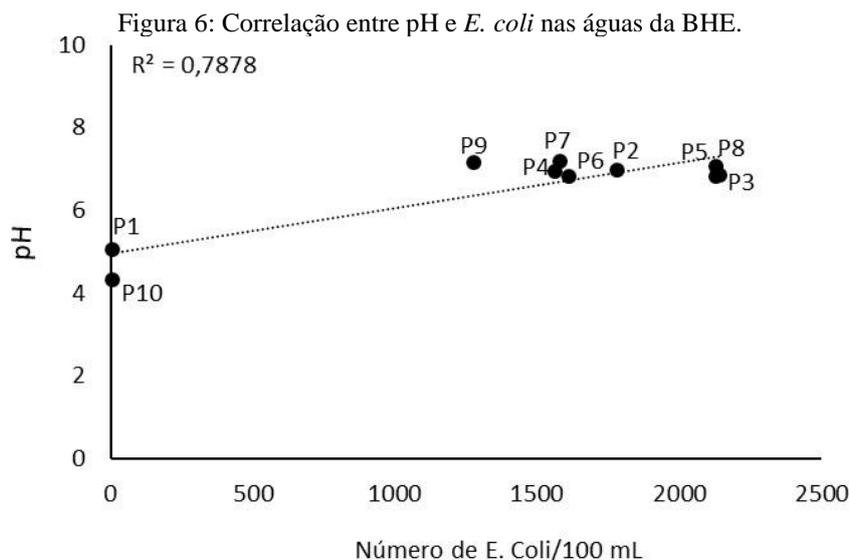
Nas águas amostradas, os teores de P-PO₄³⁻ aumentaram com a diminuição da acidez. Ou seja, o caráter básico parece fortalecer a disposição dessa espécie química no

meio aquático estudado. Em geral, a liberação de fósforo depende da capacidade de retenção dos sedimentos, das condições das águas sobrejacentes e das características biológicas do ambiente aquático (Abdel-Satar e Sayed, 2010). Os principais fatores determinantes são a temperatura, condições redox, pH, oxigênio dissolvido e as concentrações de outras espécies inorgânicas, como nitrato e sulfato nos sedimentos e na coluna d'água. O fósforo inorgânico (ortofosfato ou fosfato sendo a sua principal forma) pode ser liberado através de uma ampla gama de processos físicos, químicos e biológicos, incluindo mecanismos de troca de ligantes, mineralização e liberação de células vivas (Dittrich *et al.*, 2013).

Nota-se que as concentrações de $P-PO_4^{3-}$ atingem um limiar em valores de pH próximos a 6,0 como se os valores deste nutriente se estabelecessem nessa faixa de acidez. Dessa forma, pode-se sugerir que acima de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de PO_4^{3-} o valor do pH praticamente não muda, como se essa espécie química fosse um agente tamponante dessas águas (Figura 5).



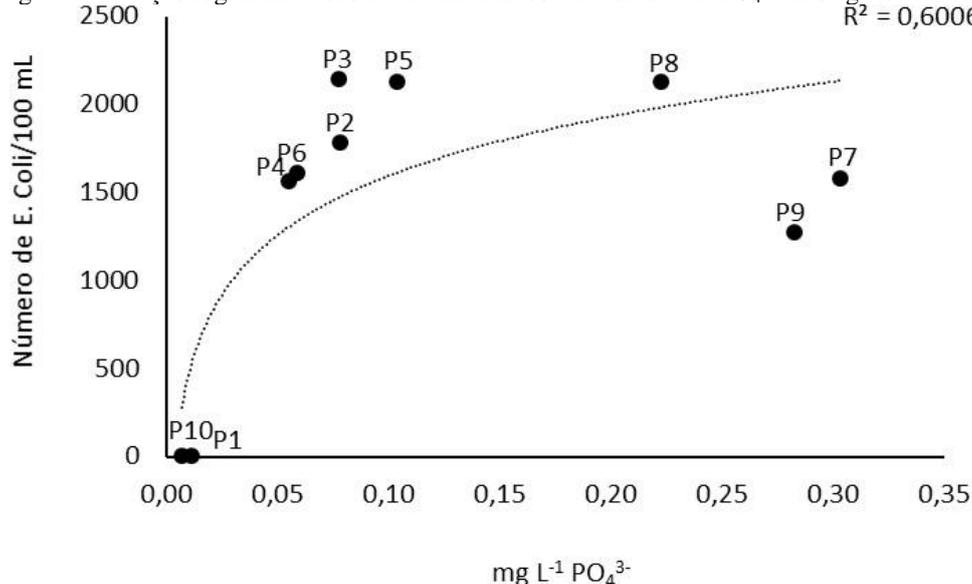
Com relação aos dados microbiológicos, é possível verificar que os valores de *E. coli* são mais elevados em águas com menor acidez. Observa-se ainda uma tendência linear, onde os menores valores de *E. coli* se encontram nos pontos de referência, cujos valores de pH são bem ácidos (entre 4 – 5), como pode ser observado na Figura 6.



À medida que os pontos de coleta se aproximam das fozes da BHE, são registrados os maiores valores de pH, bem como os maiores valores para *E. coli*. Tais resultados são um indício da dificuldade desses organismos de se desenvolverem em pH ácidos. Os resultados encontrados neste estudo estão de acordo com o trabalho dos autores Khan *et al.*, (2021) e Shamsudin *et al.*, (2016) que encontraram boas correlações entre *E. coli* e os valores de pH.

Muitos estudos apontam que o crescimento microbiano segue a tendência logarítmica (Gava, 2009; Sinaga *et al.*, 2016) e isso se verifica no ambiente da BHE. Os valores de *E. coli* foram baixos onde os valores de P-PO³⁻ foram baixos. Com a descida dos corpos de água em direção às fozes, os teores de P-PO³⁻ aumentaram juntamente com os valores de *E. coli*. Esperava-se que, com o maior volume de água presente nas fozes, as concentrações de P-PO³⁻ fossem diluídas, e, conseqüentemente, os dados de *E. coli*. Entretanto, houve um aumento nos teores de P-PO³⁻ em direção às fozes, juntamente com os valores de *E. coli*, ocasionados possivelmente pelo recebimento de esgotos não tratados ao longo da bacia hidrográfica. Esses dados ainda, revelam que há um tipo de concentração constante para essa espécie de microrganismo na BHE. Pode-se sugerir que a concentração propícia para a proliferação de *E. coli* nesta bacia hidrográfica seja de 0,04 mg L⁻¹ como pode ser observado na Figura 7. Acima deste valor há um aumento nas concentrações de *E. coli*, como se a concentração limítrofe de fosfato para esse sistema fosse 0,04 mg L⁻¹. Ou seja, acima deste valor há as condições perfeitas para a proliferação deste microrganismo. Os dados demonstraram que qualquer alteração mínima nesses valores baixos de P-PO³⁻, implicam em alterações severas para esse ambiente aquático.

Figura 7: Relação logarítmica observada entre *E. coli* e teores de $P-PO_4^{3-}$ nas águas da BHE.



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Manaus é uma cidade no meio da Amazônia com elevados valores de precipitação anual. Isso faz com que esse sistema carregue muito fósforo para os corpos de água. Os maiores valores de fósforo foram observados nas fozes desta bacia hidrográfica, não correndo nessas águas o efeito de diluição esperada.

As águas de Manaus são ácidas, mas com a atual pressão urbana sobre os recursos hídricos, essas águas se apresentaram com pH próximos da neutralidade. Tal fato demonstrou que os teores de fósforo parecem tamponar o meio em concentrações de fósforo acima de $0,04 \text{ mg L}^{-1}$. Embora as concentrações de fósforo aumentem, o pH praticamente não muda em valores próximos a 7,0.

Os maiores valores de fósforo foram encontrados em valores mais altos de pH. Fenômeno análogo foi percebido para a presença de *E. coli*. Esse microrganismo prevaleceu em ambientes menos ácidos.

As águas de Manaus não são caracterizadas como águas mineralizadas em fósforo. Dessa forma, se observou uma concentração limite de fósforo para esse sistema hídrico. Acima de $0,04 \text{ mg L}^{-1}$, há uma explosão de *E. coli* nas águas estudadas. Baseado nesta concentração limite de fósforo, a *E. coli* predominou em todos os pontos cujas concentrações de fósforo foram acima de $0,04 \text{ mg L}^{-1}$, obedecendo uma tendência logarítmica típica para crescimento de microbiano. Sugere-se, por fim, um maior monitoramento acerca do comportamento do fósforo nessas águas e sua interação com a

E. coli e outros microorganismos, assim como, num maior detalhamento das fontes emissoras de esgotos não tratados na Bacia Hidrográfica do Educandos.

AGRADECIMENTOS

Essa artigo foi realizado como parte do Projeto de P&D IETÉ, realizado pelo INPA em parceria com a Samsung Eletrônica da Amazônia, o qual contou com financiamento da Samsung, usando recursos da Lei de Informática para a Amazônia Ocidental (Lei Federal nº 8.387/1991), estando sua divulgação de acordo com o previsto no artigo 39.º do Decreto nº 10.521/2020. Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA, pela oportunidade na qualificação científica, apoio logístico, material técnico e de consumo para o desenvolvimento das pesquisas, assim como o apoio logístico fornecido pelo Programa LBA, nas pesquisas realizadas na Estação de Pesquisa LBA, situada na ZF2 (Reserva Biológica do Cuieiras), Manaus-AM.

REFERÊNCIAS

- Abdel-Satar, A. M.; Sayed, M. F., 2010. Sequential fractionation of phosphorus in sediments of El-Fayum lakes—Egypt. *Environmental Monitoring Assessment*, v. 169, p. 169–178 DOI: 10.1007/s10661-009-1160-x.
- Alvares, Clayton Alcard. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, No. 6, 711–728. 2014.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In: 23 RD EDITION. Editora American Public Health Association, EUA, 2017.
- Bisimwa, A. M.; Kisuya, B.; Kazadi, Z. M.; Muhaya, B. B.; Kankonda, A. B. Monitoring Faecal contamination and Effects of Physicochemical variables on Faecal indicator bacteria abundance in Bukavu surface waters, tributaries of Lake Kivu in Democratic Republic of Congo. *Hygiene and Environmental Health Advances* (2022), doi: 10.1016/j.heha.2022.100012.
- Bringel, S. R. B. Estudos do nível de poluição nos igarapés do Quarenta e do Parque Dez de Novembro. Manaus: Universidade de Tecnologia do Amazonas, 1986.
- Brooks, Y.M., Spirito, C.M., Bae, J.S., Hong, A., Mosier, E.M., Sausele, Richardson, R.E. Fecal indicator bacteria, fecal source tracking markers, and pathogens detected in two Hudson River tributaries. *Water Res.*, 171: 115342, 2020.
- Calvo, B. D. R.; Oliveira, T. C. S. Hydrochemical Analysis of a Basin under Anthropogenic Influence and Effects in Manaus' Shoreline – Central Amazonia. *Rev Caminhos de Geografia*, 21 – 77 (209– 219), 2020.
- Chen, G., Walker, S.L., 2012. Fecal indicator bacteria transport and deposition in saturated and unsaturated porous media. *Environ. Sci. Technol.*, 46(16): 8782-8790, 2012.
- Dittrich, M.; Chesnyuk, A.; Gudimov, J.; McCulloch, S.; Quazi, J.; Young, J.; Winter, J.; Stainsby, E.; Arhonditsis, G., 2013. Phosphorus retention in a mesotrophic lake under transient loading conditions: Insights from a sediment phosphorus binding form study. *Water Research*, v. 47, n. 3, p. 1433-1447. DOI: 10.1016/j.watres.2012.12.006.
- Edberg, S. C.; RICE, E. W.; Karlin, R. J.; Allen, M. J., 2000. *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88, 1068-1168.
- Fink, G.; Alcamo, J.; Flörke, M.; Reder, K., 2018. Phosphorus loadings to the world's largest lakes: Sources and trends. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 32, p. 617–634. DOI: 10.1002/2017GB005858.
- Furtula, V.; Osachoff, H.; Derksen, G.; Juahir, H.; Colodey, A.; Chambers, P., 2012. Inorganic nitrogen, sterols and bacterial source tracking as tools to characterize water quality and possible contamination sources in surface water. *Water Research*, v. 46, n. 4, p. 1079-1092. DOI: 10.1016/j.watres.2011.12.002.

Gava, A. J; Frias, J. R.G; Silva, C.A.B. Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações. São Paulo: Nobel, 2009.

Hasan, M. M.; Gerber, N.,2017. Bacterial contamination of drinking water and food utensils: Impacts of piped water on child health in north-western Bangladesh. *Water Resources and Rural Development*, v. 10, p. 33-44. DOI: 10.1016/j.wrr.2018.10.001.

Iqbal, M.N., Ashraf, A., 2020. Water Quality a Priority for Profitable Fish Farming. *PSM Biol. Res.*, 5(2): 92-94.

Khan, F. M.; Gupta, R.; Sekhri, S. Superposition learning-based model for prediction of E. Coli in groundwater using physico-chemical water quality parameters. *Groundwater for Sustainable Development*, v. 13, p. 1-11. DOI: 10.1016/j.gsd.2021.100580, 2021.

Kostyla, C., Bain, R., Cronk, R., Bartram, J., 2015. Seasonal variation of fecal contamination in drinking water sources in developing countries: a systematic review. *Sci. Total Environ.*, 514: 333-343.

Kubera, Ł., 2021. Spread Patterns of Antibiotic Resistance in Faecal Indicator Bacteria. Contaminating an Urbanized Section of the Brda River. *Microbial Ecology*, 81: 592-600.

Larif, M., Soulaymani, A., Hnach, M.; El Midaoui, A., 2013. Contamination spatio-temporelle d'origine hydrique de l'oued Boufekrane dans la région de Meknès-Tafilalt (Maroc). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7(1): 172-184.

Lin, J.; Chen, N.; Wang, F.; Huang, Z.; Zhang, X.; Liu, L., 2020. Urbanization increased river nitrogen export to western Taiwan Strait despite increased retention by nitrification and denitrification. *Ecological Indicators*, v. 109, p. 1-10. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105756.

Liu, J.; Feng, Y.; Zhang, Y.; Liang, N.; Wu, H.; Liu, F., 2022. Allometric releases of nitrogen and phosphorus from sediments mediated by bacteria determines water eutrophication in coastal river basins of Bohai Bay. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 235, p. 1-11. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2022.113426.

Mahato, S. Relationship of sanitation parameters with microbial diversity and load in raw meat from the outlets of the Metropolitan city Biratnagar, Nepal. *Int. J. Microbiol*, 2019.

Mbanga, J., Abia, A.L.K., Amoako, D.G., Sabiha. Y. Essack, S.Y., 2020. Quantitative microbial risk assessment for waterborne pathogens in a wastewater treatment plant and its receiving surface water body. *BMC Microbiology*, 20:346.

Miranda, L. S.; Ayoko, G. A.; Egodawatta, P.; Hu, W-P.; Ghidan, O.; Goonetilleke, A., 2021. Physico-chemical properties of sediments governing the bioavailability of heavy metals in urban waterways. *Science of The Total Environment*, v. 763, p. 1-11. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142984.

Mirzaei, N., Ghaffari, H. R., Karimyan, K., Moghadam, F. M., Javid, A., Sharafi, K. Survey of effective parameters (water sources, seasonal variation and residual chlorine)

on presence of thermotolerant coliforms bacteria in different drinking water resources. *Int. J. Pharm. Technol.*, 7(3): 9680-9689, 2015.

Namegabe, B. J.; Kikongo, N. M. M.; Dewar, J. B.; Birame, S.C. Antibiotic resistance and tolerance to heavy metals demonstrated by environmental pathogenic bacteria isolated from the Kahwa River, Bukavu Town, Democratic Republic of the Congo. *International Journal of Environmental Studies*, 1-13, 2017.

Neupane, A., Dhapakhel, N., Katwal, K., Dhapakhel, N., Neupane, S., Neupane, N. Sustainability and functionality of rural water supply, a case study of bhutiyakhola drinking water supply system, salyantra, Nepal, 2018.

OMS - Estatísticas mundiais de saúde, 2017: monitoramento da saúde para os ODS, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Genebra: Organização Mundial da Saúde; 2017. Licença: CCBY-NC-SA3.0IGO. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255336/9789241565486>

Pita, R. C. J.; Silva, G. C.; Rosário, F. F.; . Silva, M. L. Sistema aquífero Alter do Chão a oeste da cidade de Manaus (AM): processos hidrogeoquímicos, origem da salinidade e relações com aquíferos adjacentes. *Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo*, v. 18, n. 1, p. 27- 96, março 2018. DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v18-134253.

Shamsudin, S. N.; Rahman, M.H.F.; Taib, M. N.; Razak, W. R. W. A.; Ahmad, A, H.; Zain, M. M., 2016. Analysis between *Escherichia Coli* growth and physical parameters in water using Pearson correlation. 7th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), IEEE (2016), pp. 131-136.

Sinaga, D. M.; Robson, M. G.; Gasong, B, T.; Halel, A. G.; Pertiwi, D., 2016. Fecal coliform bacteria and factors related to its growth at the sekotong shallow wells, west nusatenggara, Indonesia. *Public Health of Indonesia*, v. 2 , pp. 47-54.

Zhang, Y.; Song, C.; Ji, L.; Liu, Y.; Xiao, J.; Cao, X.; Zhou, Y., 2018. Cause and effect of N/P ratio decline with eutrophication aggravation in shallow lakes. *Science of The Total Environment*, v. 627, p. 1294-1302. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.327.