

# Qualidade da água e definição de parâmetros preponderantes para monitoramento no Rio Puraquequara, Manaus, Amazonas, Brasil

*Water quality and definition of preponderant parameters for monitoring in the Puraquequara River, Manaus, Amazonas, Brazil*

**João Carlos de Queiroz Neto**

Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM, Brasil

joao19961018@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3532-9135>

**Carlossandro Carvalho de Albuquerque**

Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM, Brasil

cscarvalho@uea.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0001-8399-6170>

**Ieda Hortêncio Batista**

Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM, Brasil

ibatista@uea.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0001-8465-3129>

## RESUMO

A paisagem da bacia hidrográfica do Rio Puraquequara, antes formada por florestas, tornou-se área de solo exposto, casas, sítios, estaleiros, restaurantes flutuantes, indústrias, entre outros. Todos esses usuários consomem os recursos hídricos e a qualidade com a qual são devolvidos é de interesse público. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi analisar parâmetros físicos, químicos e biológicos do Rio Puraquequara e identificar os preponderantes, para monitoramento através da análise de componentes principais e fatorial visando contribuir também para a gestão dos recursos hídricos. Foram realizadas quatro campanhas de coleta e análise de água em seis pontos ao longo do baixo curso do Rio Puraquequara, entre 2021 e 2022. As águas apresentaram valores de oxigênio dissolvido oscilando entre 1,26 mg.L<sup>-1</sup> e 6,26 mg.L<sup>-1</sup> e altos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na enchente (até 20,1 mg.L<sup>-1</sup>). São águas ácidas (pH<6), com variação de temperatura registrada entre 26,52 °C e 31,3 °C. Na vazante, o menor volume da água ocasionou o aumento de partículas, influenciando na turbidez e nos sólidos totais. A maior condutividade no período das chuvas adveio da lixiviação do material das margens para dentro do corpo hídrico. O fósforo total não esteve em conformidade com a legislação ambiental em alguns pontos, e, junto com o nitrogênio total, os coliformes termotolerantes e demais parâmetros retrataram a influência antrópica na alteração destes. A turbidez, o oxigênio dissolvido, os coliformes termotolerantes, a DBO e os sólidos totais explicaram a maior variabilidade dos dados e foram os mais representativos na qualidade de água. Portanto, recomenda-se o fortalecimento dos instrumentos de gestão para manter ou melhorar a qualidade hídrica e continuar atendendo aos usos múltiplos.

**Palavras-chave:** Gestão hídrica; Bacia hidrográfica; Análise físico-química; Componentes principais; Análise fatorial.

## ABSTRACT

The landscape of the Puraquequara River watershed, before built by forests, became an area of exposed soil, houses, places, shipyards, floating restaurants, industries, among others. All these users use water resources, and the qualities with which they are developed are of public interest. In this sense, the objective of this research was to analyze physical, chemical and biological parameters in the Puraquequara River and to identify the preponderant ones for monitoring, through principal components and factorial analysis, also aiming to contribute to the management of water resources. Four collection and analysis campaigns were carried out at six points along the lower course of the Puraquequara River between 2021 and 2022. The waters presented values of dissolved oxygen oscillating between 1.26 mg.L<sup>-1</sup> and 6.26 mg.L<sup>-1</sup> and high values of Biochemical Oxygen Demand (BOD) in the flood (up to 20.1 mg.L<sup>-1</sup>). These are acidic waters (pH<6), with a temperature variation between 79,80 °F and 88,34°F. In the ebb, the smaller volume of water results in the increase of particles, influencing the turbidity and the total solids. The higher conductivity during the rainy season results from the

leaching of material from the banks into the hydrous body. The total phosphorus was not in compliance with the environmental legislation in some points, and, together with the total nitrogen, the thermotolerant coliforms and other parameters, portray the anthropic influence in the alteration of these. Turbidity, dissolved oxygen, thermotolerant coliforms, BOD and total solids explained the greatest variability in the data and are the most representative in terms of water quality. Therefore, it is recommended to strengthen management instruments to maintain or improve water quality and continue to serve multiple uses.

**Keywords:** Water management Watershed; Physical-chemical analysis; Principal components; Factorial analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Rio Puraquequara, localizada a leste do município de Manaus, está inserida em um contexto de pressões antrópicas, principalmente devido à expansão urbana na sua margem direita. A bacia possui bairros inteiros situados dentro dos seus limites, como o Puraquequara, e abrange a parte norte do Distrito Industrial II e a porção leste do Jorge Teixeira. Lemos e Costa (2017) relatam a ocorrência de voçorocas e também a precariedade dos serviços públicos, como o sistema de drenagem e a coleta de lixo. Isso favorece os eventos de erosões, assoreamentos, doenças causadas por veiculação hídrica, lixiviação de resíduos sólidos e contaminação dos corpos hídricos.

O desenvolvimento da região provocou a aceleração do desmatamento e a expansão da mancha urbana e do solo exposto. Em 2005, a vegetação primária ocupava uma área de 562,76 km<sup>2</sup> (81,15% da área da bacia). De 2005 até 2016, uma área de 16,42 km<sup>2</sup> de mata nativa deu lugar a outros tipos de uso e ocupação do solo. No mesmo intervalo de tempo, a vegetação secundária passou de 53,73 km<sup>2</sup> para 51,05 km<sup>2</sup>, dando lugar ao solo sem cobertura vegetal e à mancha urbana (NEVES *et al.*, 2020).

Pesquisas realizadas em rios da Amazônia sob a influência da ação antrópica, principalmente naqueles que possuem suas drenagens nas capitais, indicam o deterioramento da qualidade da água. A respeito disso, Siqueira *et al.* (2012) qualificaram as águas do Rio Parauapebas, no estado do Pará, como regulares. O oxigênio dissolvido, a demanda bioquímica de oxigênio, o fósforo total e os coliformes termotolerantes foram considerados os parâmetros de maior importância, segundo a análise de componentes principais. Sua variação relaciona-se com a entrada de águas pluviais e esgotos domésticos.

No Igarapé da Bolívia, do Mindu e do Tarumã-Açu, localizados no município de Manaus, também foram constatadas alterações nos valores dos parâmetros físicos e químicos da água, por conta da poluição em esgotos domésticos e industriais. As variáveis físico-químicas oxigênio dissolvido, condutividade, sólidos totais dissolvidos, demanda química de oxigênio, fósforo total, turbidez e pH foram utilizadas nas investigações e sofreram alterações (NASCIMENTO; SILVA, 2010; SOUZA-FILHO; BATISTA; ALBUQUERQUE, 2019).

Horbe *et al.* (2005) realizaram análises de parâmetros físicos e químicos no Igarapé Água Branca, na bacia do Rio Puraquequara, em 1998 e 1999, e caracterizaram as águas da bacia com pH entre 3,8 e 4,1, as quais passaram a ser menos ácidas na estiagem, com turbidez média de 7,92 FTU e 10,85 FTU, no período úmido e seco, respectivamente, sendo, em geral, mais elevadas na estiagem, e apresentando maior condutividade ( $<14 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) no período chuvoso. Queiroz Neto *et al.* (2022) ao investigarem a alteração de parâmetros da água próximo a um abatedouro bovino, no baixo Rio Puraquequara, relataram que a atividade causava o aumento do pH, do fósforo total, do nitrogênio total, da condutividade, da turbidez e dos sólidos totais dissolvidos. Os usos múltiplos da água na bacia podem estar promovendo mais mudanças nas características hídricas naturais. Nota-se, então, a necessidade de conhecer as características físico-químicas dessas águas, para poder planejar e definir as metas a serem alcançadas ou mantidas, assegurando a sua qualidade.

Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa é analisar a qualidade da água da bacia do Rio Puraquequara, por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos e identificar aqueles que forem preponderantes, para monitoramento da qualidade hídrica, de modo a contribuir para a gestão desses recursos, fornecendo dados para os órgãos ambientais e examinando a influência do uso e ocupação do solo em sua margem direita.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

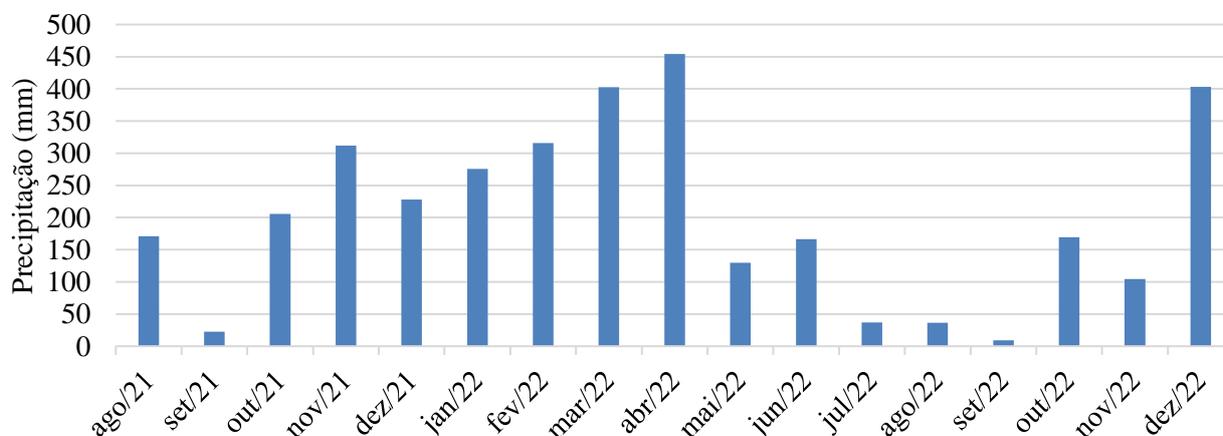
### 2.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Puraquequara tem uma área de 694,834 km<sup>2</sup>, um perímetro de 151,731 km, o comprimento do canal principal mede 19,41 km e o comprimento vetorial do canal principal 16,334 km. Possui pouca tendência a enchentes, devido à sua forma mais alongada e maior área. Também é pouco dissecada, com resposta hidrológica lenta. Considerando os estudos hipsométricos na bacia, a mesma apresenta uma amplitude altimétrica de 140 m (COSTA; SILVA; SILVA, 2013). Sua porção oriental é mais conservada, em virtude da presença do Centro de Treinamento de Instrução de Guerra na Selva (CIGS), do Exército Brasileiro. Isso promove a preservação da floresta, das matas ciliares e da fauna e flora (ROCHA, 2014). Já o lado ocidental é a área mais ocupada e afetada pela expansão urbana desordenada e irregular, apresentando diversos usos da água, como para agricultura, abastecimento humano, aquicultura, dessedentação animal, pesca, entre outros (MIRANDA, 2017; NEVES *et al.*, 2020).

A geologia da região é formada pela sedimentação do grupo Javari e é representada pela Formação Alter do Chão, a qual possui grandes afloramentos na bacia do Amazonas (SOUZA; NOGUEIRA, 2009). As rochas estão lateritizadas e compõem perfis imaturos, com os horizontes constituídos por caulinita, quartzo, goethita, hematita e gibbsita. Os solos predominantes são os Latossolos e Espodosolos amarelos. As rochas que compõem a Formação Alter do Chão conferem às águas fluviais pobreza de íons, entre eles os de sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), e de material dissolvido, o que explica a ocorrência de baixos valores de fósforo total, nitrogênio total, condutividade, sólidos totais e turbidez (HORBE *et al.*, 2005).

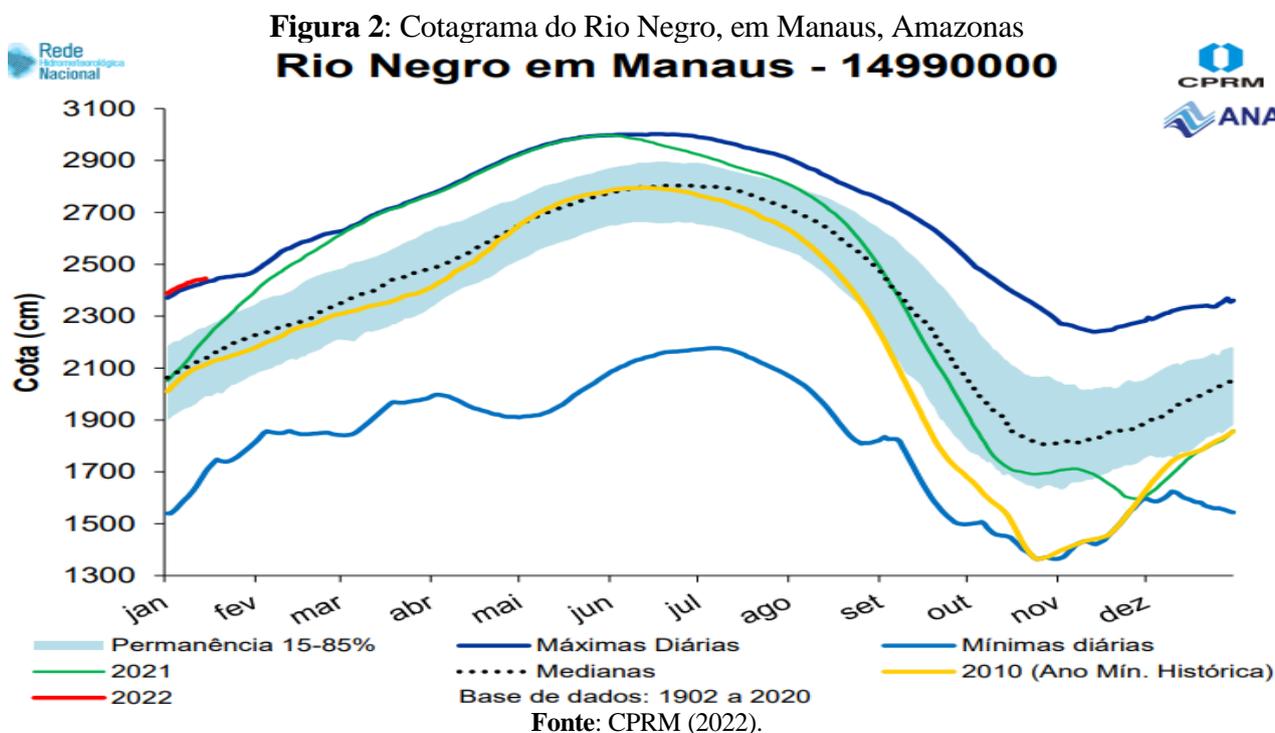
Localiza-se em uma região de clima quente e úmido, do tipo Afi, zona climática equatorial, segundo Koppen (SOUZA; AZEVEDO; LIMA, 2008). Os maiores picos de insolação ocorrem nos meses de setembro e outubro e os menores de dezembro a fevereiro. A amplitude térmica sazonal é de 1-2 °C, com médias entre 24 e 26 °C. A precipitação anual é de 2.300 mm e os meses mais chuvosos são fevereiro, março e abril, enquanto os menos chuvosos são julho, agosto e setembro. Os dados de precipitação total mensal, referentes ao período das campanhas de coleta e análise da água, encontram-se na **figura 1** (SILVA *et al.*, 2008; FRITSONS; MANTOVANI; WREGE, 2017).

**Figura 1:** Precipitação total mensal registrada na estação pluviométrica do INMET n° 82331, no período das campanhas de coleta e análises de água na bacia do Rio Puraquequara, na cidade de Manaus, Amazonas



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A bacia do Rio Puraquequara não possui séries históricas de medições de cotas. Para a definição do período de enchente e vazante da bacia, pode-se considerar os dados da estação do Rio Negro, uma vez que, no seu baixo curso, ambos sofrem com o represamento hidráulico do Rio Amazonas (MARINHO; ZANIN; FILIZOLA JUNIOR, 2022). Logo, constata-se que o período de enchente compreende os meses de dezembro e junho e o de vazante os de julho e novembro (Figura 2).



## 2.2. Análise da qualidade da água

Foram definidos e georreferenciados seis pontos amostrais ao longo do baixo curso do Rio Puraquequara (Tabela 1).

**Tabela 1:** Coordenadas geográficas dos 6 pontos de coletas e análises de água na bacia hidrográfica do Rio Puraquequara, Manaus, Amazonas

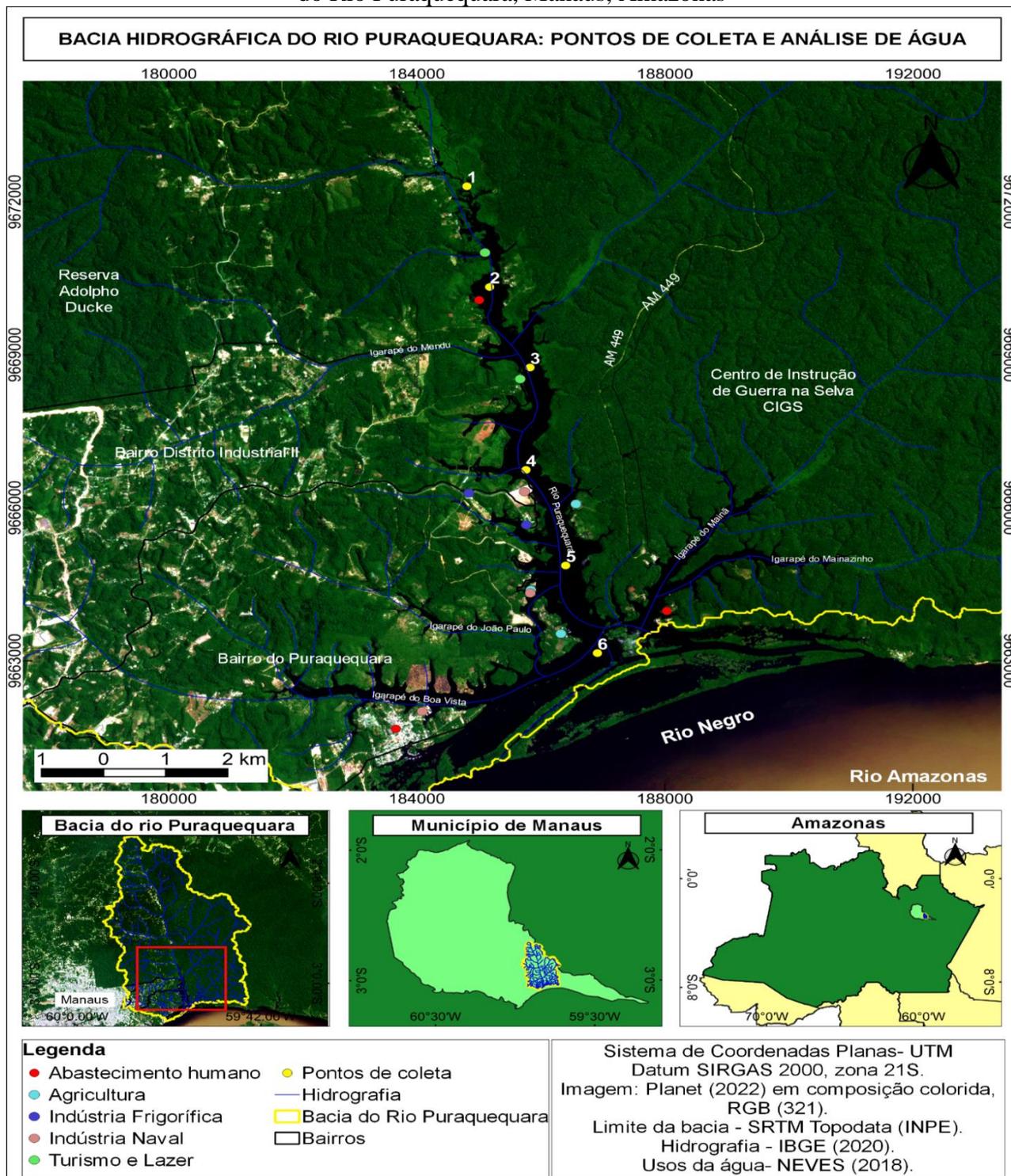
Pontos	Latitude	Longitude
1	2° 57'39,92"	59°50'6,51"
2	2°58'44,20"	59°49'54,80"
3	2°59'35,60"	59°49'33,89"
4	3°0'40,94"	59°49'36,16"
5	3°1'41,99"	59°49'15,61"
6	3°2'37,94"	59°48'59,19"

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

As coletas das amostras e análises *in situ* ocorreram nos meses de setembro de 2021 (vazante), março de 2022 (enchente), maio de 2022 (enchente) e dezembro de 2022 (início da enchente). No mês de dezembro, não foi possível analisar a água no ponto mais a montante, o ponto 1, devido ao baixo nível das águas não permitir a navegação. Na definição dos pontos de coleta e análise de água, foi adotado o critério de não os situar logo após as fontes pontuais de poluição, pois isso refletiria na qualidade da água do efluente lançado e não do trecho analisado. Tanto a definição e preparação dos frascos de coleta quanto a preservação das amostras seguiram as diretrizes do guia

nacional de coleta e preservação de amostras da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2011) (**Figura 3**).

**Figura 3:** Localização dos pontos de coleta e análise de água no baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Puraquequara, Manaus, Amazonas



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2023).

Para as coletas das amostras de água, utilizou-se frascos de vidro de cor âmbar e de polietileno de aspecto leitoso, que passaram por processos de limpeza especiais, de acordo com cada

tipo de parâmetro (**Quadro 1**). As amostras de água para análise em laboratório foram coletadas na superfície, 10 cm abaixo da lâmina d'água, acondicionadas em caixas térmicas de isopor com gelo e preservadas em resfriamento a 4 °C.

**Quadro 1:** Tipos de frascos utilizados para as coletas de água e os processos de limpeza especial empregados para cada parâmetro físico, químico ou microbiológico

Parâmetro	Tipo de frasco	Capacidade	Limpeza
DBO (5,20)	Polietileno de cor branco opaca	1l	De molho em solução com detergente alcalino por 24 horas (frascos novos). A lavagem foi feita com água corrente e o enxágue final com água destilada.
Sólidos totais	Polietileno	500ml	
Coliformes termotolerantes	Vidro de cor âmbar	250ml	De molho em solução com detergente alcalino por 24 horas (frascos novos). A lavagem foi feita com água corrente e o enxágue final com água destilada. Esterilização em autoclave a 121°C por 15 minutos.
Fósforo e nitrogênio total	Vidro de cor âmbar	250ml	De molho em solução de HCl a 10% por 48 horas. Enxágue com água desmineralizada.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Para a obtenção dos valores dos parâmetros de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ), condutividade ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) e pH, optou-se pela sonda multiparâmetro HANNA HI 98194. Já para o valor de turbidez (NTU), pelo turbidímetro HANNA HI 98703. São equipamentos de fácil manuseio, transporte e calibração, que fornecem os resultados *in situ*.

O sensor de condutividade foi calibrado com solução de condutividade  $1.413 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ; o sensor de pH com soluções tampão de pH 4, 7 e 10; e o sensor de oxigênio dissolvido galvânico com a solução de sulfito de sódio para o ponto zero de oxigênio dissolvido. O sensor de oxigênio dissolvido dispõe de uma membrana e de um eletrólito interno, que foram substituídos por novos em cada campo realizado. A calibração do turbidímetro se deu por meio do kit selado HANNA HI 98703-11, o qual acompanha o equipamento. O kit dispõe de soluções analíticas de leituras de turbidez pré-determinadas:  $<0.10$ , 15, 100 e 750 NTU.

Para a realização das análises de fósforo e nitrogênio total, fez-se uso do reator de bancada HANNA HI 839800, para o aquecimento e digestão das amostras, e do fotômetro de bancada HANNA HI 83399, na leitura das amostras.

Os ensaios de sólidos totais, a DBO (5,20), e os coliformes termotolerantes foram realizados no Laboratório de Controle de Qualidade (CQLAB), localizado na Av. Rodrigo Otávio, 1910, bairro Crespo, Manaus, Amazonas. A metodologia aplicada foi a do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23ª edição, editora American Public Health Association, EUA, 2017. Os limites de detecção para os testes de sólidos totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), coliformes termotolerantes (UFC/100 ml) e DBO 5,20 ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) corresponderam a  $25 \text{ mg.L}^{-1}$ , 1 UFC/100 ml e  $3 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente.

### 2.3. Parâmetros físicos, químicos e biológicos preponderantes

Dentre as metodologias de análise da qualidade de água, tem-se a Análise Multivariada de Componentes Principais (ACP). A ACP vem sendo aplicada em pesquisas com dados físico-químicos da água, de maneira promissora, tanto para evidenciar os parâmetros preponderantes como para propor a redução destes, visando reduzir os recursos financeiros e humanos (FINKLER *et al.*, 2015; BERTOSSI *et al.*, 2013; GUEDES *et al.*, 2012). Esse método baseia-se na variância dos dados e os agrupa em ordem decrescente de máxima variância. A componente 1, geralmente, explica o máximo da variabilidade total dos dados; a componente 2, o máximo da variabilidade restante dos dados; e a componente 3, o máximo das variabilidades não correlacionadas com as duas primeiras componentes, e assim sucessivamente, até que se atinja o número máximo das componentes principais, cujo valor é igual ao das variáveis do estudo (GUEDES *et al.*, 2012).

Os dados desta pesquisa foram organizados dispondo os parâmetros analisados na linha e os respectivos valores nas colunas. Em cada linha, constaram os valores dos parâmetros relatados nos pontos de coleta. Aplicou-se inicialmente o teste de normalidade de Ryan Joiner, similar ao de Shapiro-Wilk, para verificar a normalidade dos dados, e, em seguida, o teste de correlação de Pearson (dados paramétricos) ou de Spearman (dados não paramétricos). Em ambos, foi utilizado o valor de  $p < 0,05$ .

Após o teste de correlação, foram calculadas e obtidas as componentes principais para verificar os parâmetros preponderantes da bacia, utilizando o *software* Minitab 19. Para tanto, como a ACP é baseada na variabilidade dos dados em relação à média, as diferentes unidades e as suas escalas poderiam alterar e gerar importância significativa a uma variável de escala maior. Então, estabeleceu-se a padronização das variáveis de acordo com Guedes *et al.* (2012), calculando a razão entre os desvios em relação à média de cada variável por seu desvio padrão. Como as cargas de alguns parâmetros nas componentes foram inferiores a 0,5 e os resultados de difícil interpretação, optou-se pela análise fatorial, sem rotação ortogonal, de modo a simplificar o estudo, conforme Colleti *et al.* (2010).

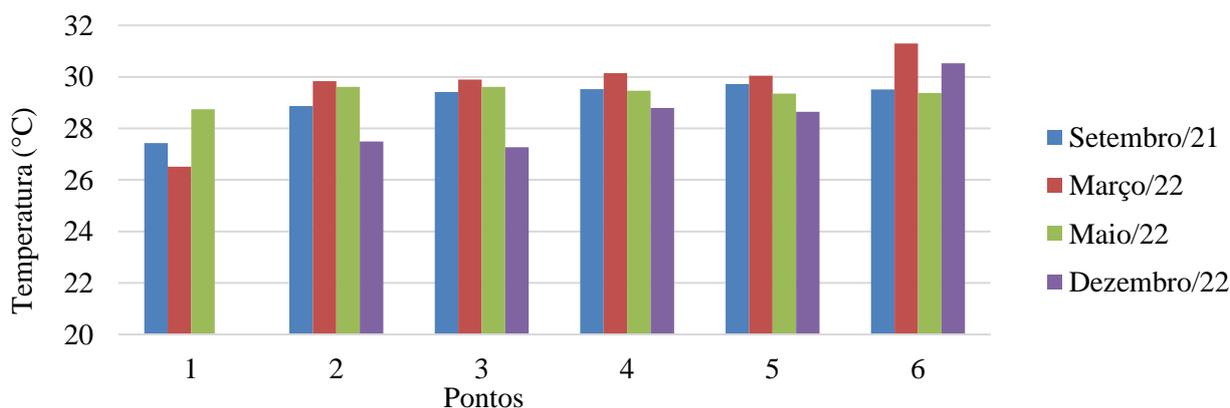
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio Puraquequara

Os valores de temperatura variaram de 26,52 °C a 31,3 °C, com média de  $29,17 \pm 1,12$  °C. O menor valor registrado era esperado, visto que a temperatura da água mais a montante tende a diminuir, como ocorre em outros igarapés amazônicos, estes que drenam áreas cobertas pelas copas das árvores até desaguerem em corpos hídricos maiores (**Figura 4**).

Horbe *et al.* (2005), em seus estudos sobre o Igarapé do Água Branca, na bacia hidrográfica do Rio Puraquequara, em pontos a montante, também obtiveram valores de temperatura na faixa de 25,5 °C a 27,0 °C. Outros estudos em rios amazônicos corroboram os valores de temperatura encontrados, sendo eles os de Siqueira *et al.* (2012), Silva *et al.* (2013), Souza Filho, Batista e Albuquerque (2019) e Souza Filho *et al.* (2020).

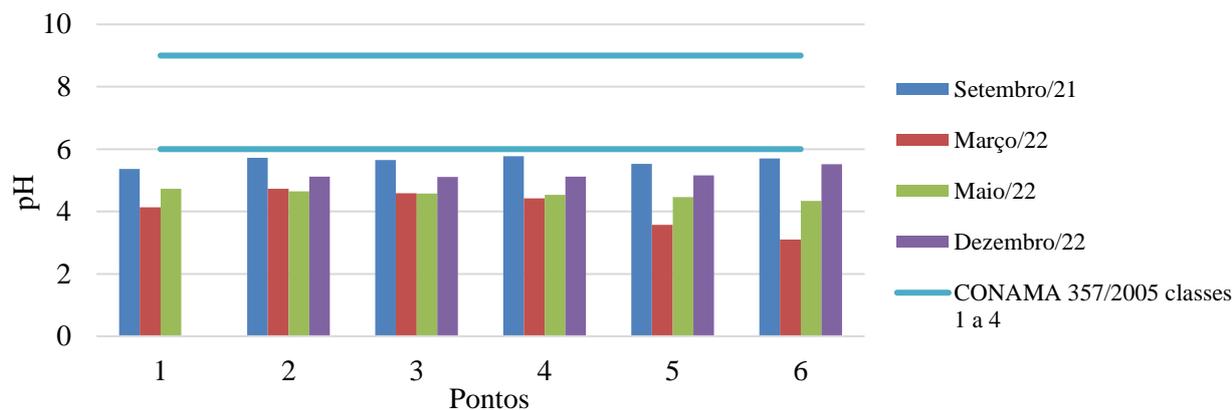
**Figura 4:** Valores de temperatura da água (°C) obtidos no Rio Puraquequara no período de setembro de 2021 a dezembro de 2022



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O valor mínimo, máximo e médio de pH analisados na bacia do Rio Puraquequara equivaleram a 3,1, 5,77 e  $4,85 \pm 0,69$ , respectivamente, e condisseram com as condições naturais dos rios de águas pretas, cujo pH é ácido e oscila dentro da faixa  $3 < \text{pH} < 6$  (RÍOS-VILLAMIZAR *et al.*, 2020) (**Figura 5**).

**Figura 5:** Valores de pH obtidos no Rio Puraquequara no período de setembro de 2021 a dezembro de 2022



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

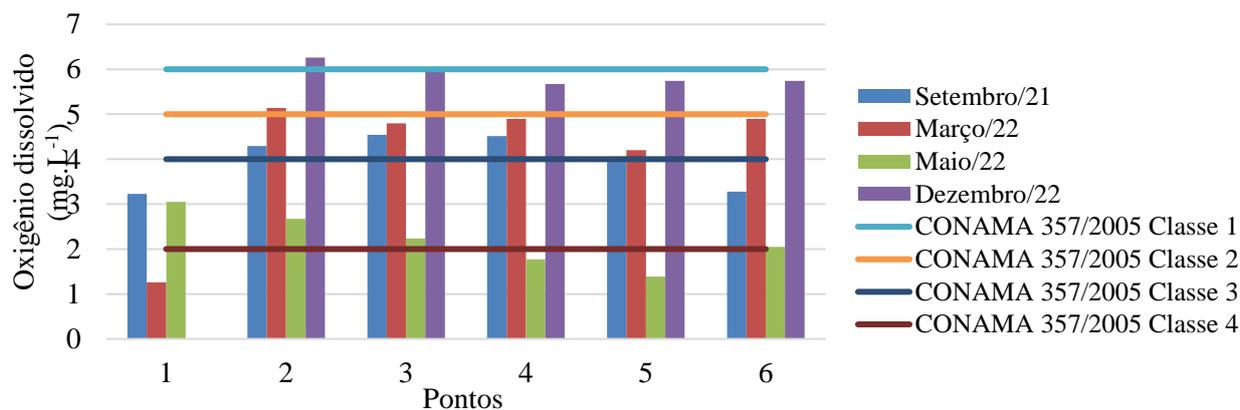
A diminuição do pH nos meses de enchente (março e maio) retrata o dinamismo desse ecossistema, visto que difere do observado por Horbe *et al.* (2005), em seus estudos sobre o Rio Puraquequara, para quem os valores de pH, ao contrário, aumentaram no período de enchente. A diminuição do pH nesses meses pode ser explicada em razão de o maior volume da água tender a diluir os poluentes oriundos da ação antrópica. Por outro lado, também devido ao fato de a enchente coincidir com o período de chuvas, o qual contribui para lixiviar poluentes no corpo hídrico, resultando no aumento do pH das águas, como já foi relatado em outras pesquisas sobre o Rio Negro (na orla de Manaus) e os Igarapés Bolívia e do Mindu (estes que têm suas drenagens na cidade de Manaus), todos sob influência antrópica (PINTO *et al.*, 2009; NASCIMETO; SILVA, 2010; SOUZA FILHO; BATISTA; ALBUQUERQUE, 2019).

Ademais, é possível observar a diminuição do pH no mês de maio, nos pontos 5 e 6, possivelmente influenciada pelas águas do Rio Negro durante a enchente. Siqueira e Filizola Junior (2021) constataram que o Rio Negro exerce, no mesmo período, um barramento hidráulico de até 17 km a montante da bacia do Rio Tarumã-Açu, localizada a oeste da cidade de Manaus. Esse efeito também se relaciona com o barramento do Rio Negro pelo Rio Amazonas (MARINHO; ZANIN; FILIZOLA JUNIOR, 2022). A influência do Rio Negro na bacia do Rio Puraquequara deve, ainda, ser investigada, para melhor compreensão da qualidade da água.

O pH abaixo de 6 não se enquadra em nenhuma das 4 classes estipuladas para as águas doces, segundo a Resolução CONAMA 357/2005, que determina a variação entre 6 e 9. Isso reforça a necessidade de caracterização do potencial hidrogeniônico da bacia, de modo a servir como parâmetro de qualidade da água no enquadramento. Ressalta-se que o pH é de suma importância para os organismos aquáticos viverem e se reproduzirem (SANTOS, 2017).

O oxigênio dissolvido oscilou de  $1,26 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $6,26 \text{ mg.L}^{-1}$ , com média de  $3,99 \pm 1,54 \text{ mg.L}^{-1}$  (Figura 6). A legislação ambiental exige valores acima de  $6 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $5 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $4 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $2 \text{ mg.L}^{-1}$  para águas doces de classe 1, 2, 3 e 4, nessa ordem. Dos 23 valores encontrados ao longo das quatro coletas, 61% se enquadram no padrão de referência da classe 3. Silva *et al.* (2013) afirmam que, nos rios amazônicos, é comum encontrar valores de oxigênio dissolvido abaixo de  $5 \text{ mg.L}^{-1}$ , em condições naturais. Logo, esse é um parâmetro que deve ser analisado em conjunto com outros, dando-lhes o devido suporte, uma vez que há a possibilidade de não saber identificar se baixos valores são consequência de poluição antrópica, o que fragiliza o monitoramento da qualidade da água e as tomadas de decisão por parte dos órgãos fiscalizadores.

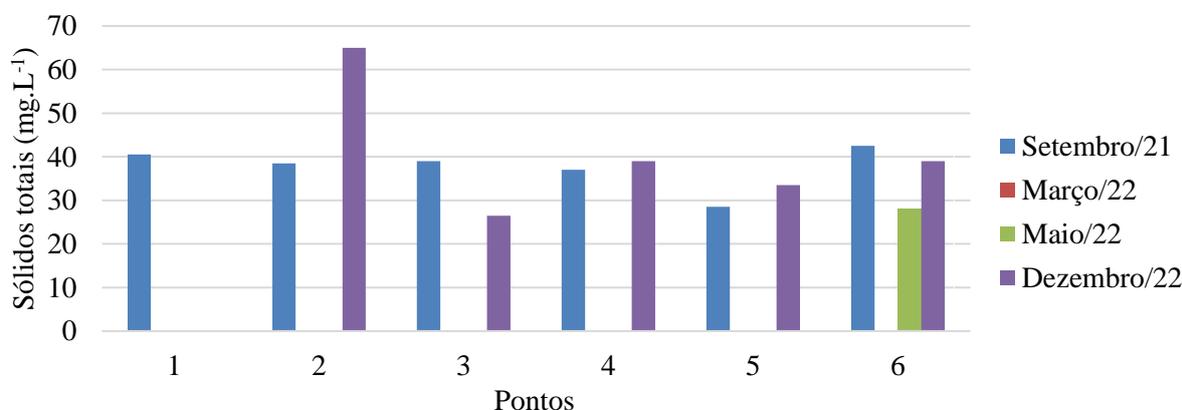
**Figura 6:** Valores de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) obtidos no Rio Puraquequara no período de setembro de 2021 a dezembro de 2022



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os sólidos totais das águas do Rio Puraquequara estão de acordo com o que se espera desse tipo de água límpida, com poucos sedimentos suspensos e dissolvidos. Estes foram mais representativos na vazante ( $26,5 \text{ mg.L}^{-1}$  -  $65 \text{ mg.L}^{-1}$ ), resultado do aumento visual de partículas na água. Nos demais meses e na maioria dos pontos, não foi possível estimar valores com maior detalhe, devido ao limite de detecção do método, pois estavam abaixo de  $25 \text{ mg.L}^{-1}$  e de acordo com as condições naturais do rio (**Figura 7**).

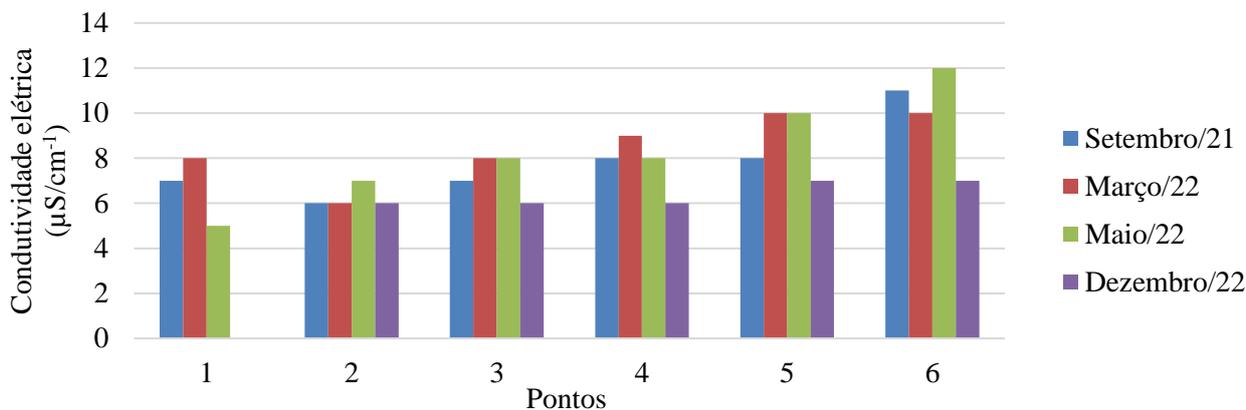
**Figura 7:** Valores de sólidos totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) obtidos no Rio Puraquequara no período de setembro de 2021 a dezembro de 2022



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A condutividade elétrica variou de  $5 \mu\text{S/cm}^{-1}$  a  $12 \mu\text{S/cm}^{-1}$ , com média de  $8 \pm 2 \mu\text{S/cm}^{-1}$  (**Figura 8**). Na área de estudo, identificou-se o seu aumento a partir do ponto 3, provavelmente ocasionado pela influência antrópica, através do lançamento de efluentes domésticos no Igarapé do Mendu, do João Paulo e do Boa Vista, que têm suas drenagens nos bairros da cidade de Manaus. Em lugares sob maior pressão antrópica, a condutividade tende a se elevar, já tendo sido registrados valores acima de  $300 \mu\text{S/cm}^{-1}$ , no Igarapé do Mindu, um curso d'água que drena vários bairros da cidade de Manaus e se encontra sob forte pressão do entorno (SOUZA FILHO; BATISTA; ALBUQUERQUE, 2019). Na literatura, o maior valor relatado na bacia do Rio Puraquequara foi de  $82,67 \mu\text{S/cm}^{-1}$ , no período de vazante, porém grande parte dos dados apontam para valores abaixo de  $30 \mu\text{S/cm}^{-1}$ , corroborando essa pesquisa (HORBE *et al.*, 2005; NASCIMENTO; SILVA, 2010).

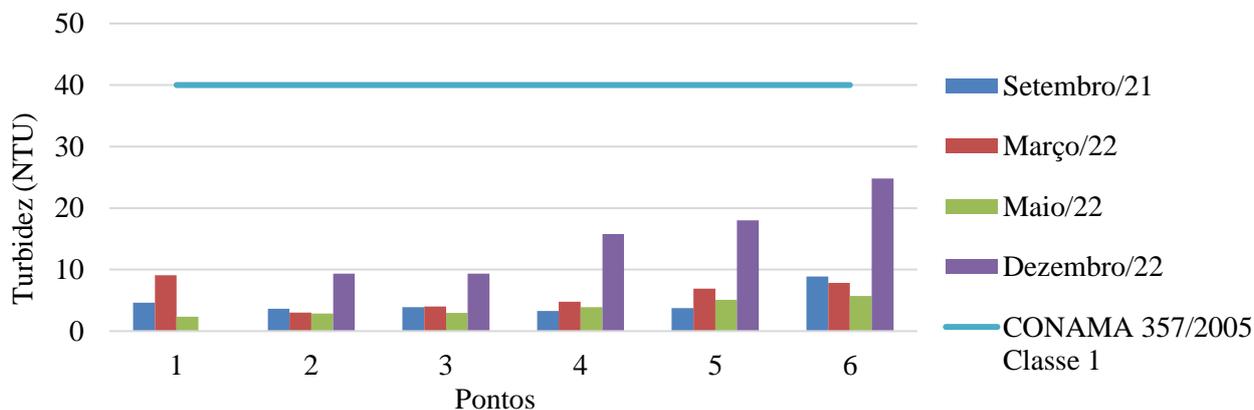
**Figura 8:** Valores de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ ) obtidos no Rio Puraquequara no período de setembro de 2021 a dezembro de 2022



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A turbidez oscilou entre 2,35 NTU e 24,8 NTU, com média de  $7,13 \pm 5,58$  NTU (**Figura 9**). Como é possível observar, a mesma sofre variações de acordo com a localização e o período sazonal, sendo registrado o valor máximo a jusante no mês de dezembro de 2022. Contudo, os valores não indicam que alguma fonte de poluição esteja alterando consideravelmente a turbidez da água. A turbidez  $<10$  NTU é comum para as águas pretas e está dentro do esperado para o Rio Puraquequara (SILVA *et al.*, 2013; HORBE *et al.*, 2005). Inclusive é um bom indicador de qualidade da água, pois pode-se detectar facilmente suas alterações em áreas de despejos de efluentes e/ou ausência de mata ciliar. A Resolução CONAMA 357/2005 estipula até 40 unidades de turbidez para águas doces de classe 1. Nem mesmo no período de vazante, quando se tem o aumento da concentração de partículas, foram detectados valores em desacordo com a legislação.

**Figura 9:** Valores de turbidez (NTU) obtidos no Rio Puraquequara no período de setembro de 2021 a dezembro de 2022

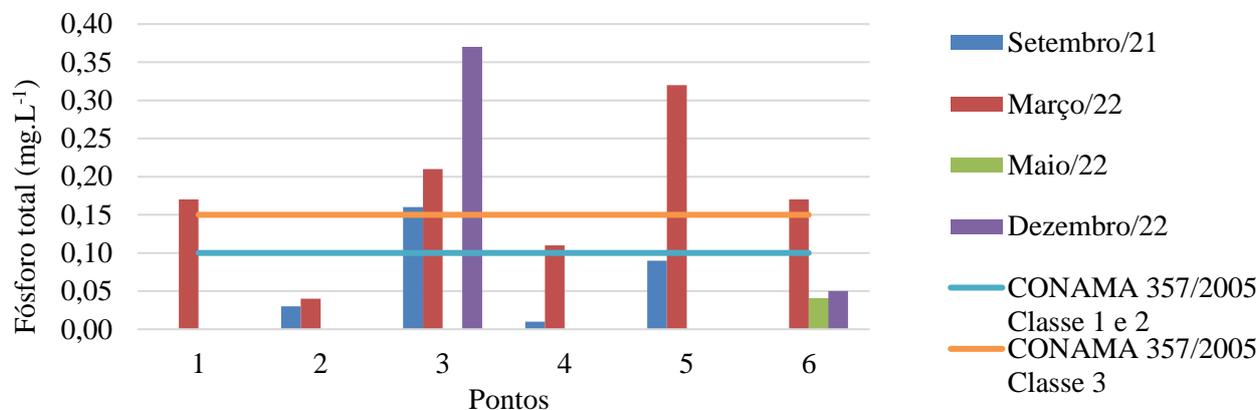


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No mês de maio, na maioria dos pontos de coleta, o fósforo total não foi constatado, a exceção apenas do ponto 6 ( $0,04 \text{ mg.L}^{-1}$ ), e teve seu ápice no mês de dezembro, justamente no período de vazante e menor cota do rio, se comparado aos demais meses analisados. Cabe ressaltar que o limite de fósforo total para ambientes lóticos é de até  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$  para águas doces de classe 1 e 2 e que 30,4% dos valores ultrapassaram esse limite (**Figura 10**). O ponto 3, o qual recebe influência dos efluentes domésticos e de outros usos da água vindos do bairro Distrito Industrial II, apresentou valores de fósforo total acima de  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$  em três meses de coleta, diferindo dos demais pontos. Assim, a crescente urbanização na bacia na margem direita, caso não sejam tomadas as medidas

necessárias, provavelmente ocasionará a eutrofização dos corpos hídricos e, conseqüentemente, a depleção de oxigênio dissolvido, bem como prejuízos aos diversos usos da água do Rio Puraquequara.

**Figura 10:** Valores de fósforo total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) obtidos no Rio Puraquequara no período de setembro de 2021 a dezembro de 2022

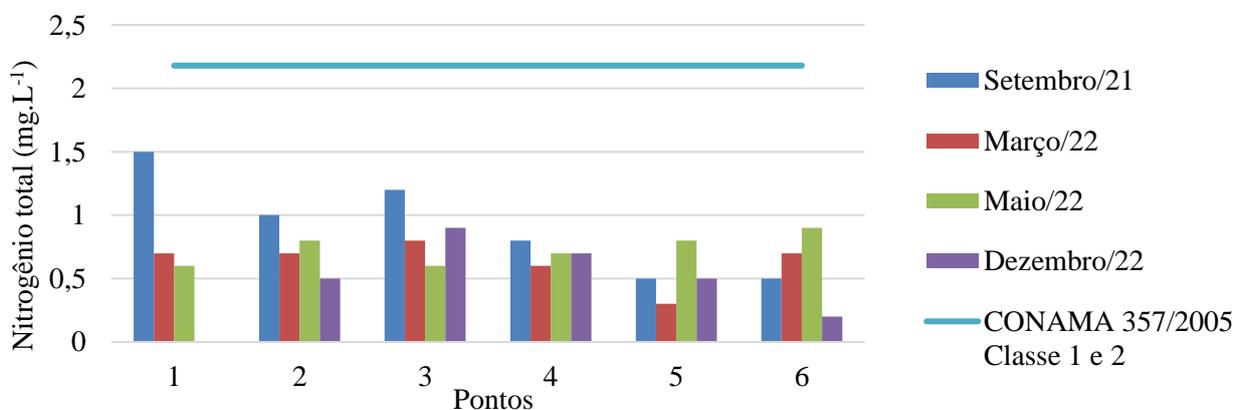


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Naturalmente, as águas do Rio Puraquequara não possuem altos valores de fósforo e o ideal seria que este não fosse detectado ( $<0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Entre 2009 e 2018, Rubim e Ferraz (2020) realizaram análises de fósforo total em 12 pontos do seu baixo curso, próximo à Vila do Puraquequara, aos abatedouros, estaleiros e áreas com matas ciliares preservadas, e encontraram concentrações de fósforo total variando de  $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$  (período de enchente) a  $1,097 \text{ mg.L}^{-1}$  (período de vazante). Ao fim, as autoras evidenciaram o período de vazante como o mais crítico, mas concluíram que as águas da bacia ainda são de boa qualidade e os riscos de eutrofização são pontuais. Portanto, o rio apresenta, até o momento, o poder de diluir esses compostos, todavia o monitoramento desse parâmetro precisa ser contínuo.

O parâmetro nitrogênio total variou de  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ , com média de  $0,7 \pm 0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ . Comparando-os com a Resolução CONAMA 357/2005, os valores estão dentro da faixa de tolerância, que vai até  $2,18 \text{ mg.L}^{-1}$ , para ambientes lóticos de classes 1 e 2, quando o nitrogênio é um fator limitante para eutrofização (Figura 11). O mesmo foi constatado por Sousa (2020) e por Rubim e Ferraz (2020), indicando que a entrada desses elementos no corpo hídrico ocorre em função das atividades ligadas à criação de animais, efluentes domésticos e/ou resulta do uso de fertilizantes.

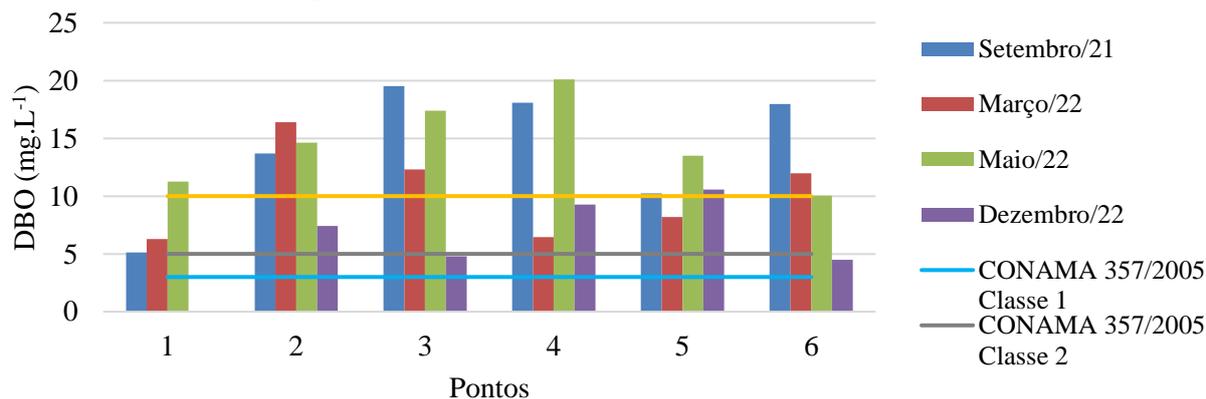
**Figura 11:** Valores de nitrogênio total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) obtidos no Rio Puraquequara no período de setembro de 2021 a dezembro de 2022



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A DBO mensura a quantidade de oxigênio necessária para a degradação da matéria orgânica e seu resultado é determinante para que os ambientes aquáticos, principalmente os que recebem efluentes, não cheguem à hipóxia. Neste estudo, o valor mínimo correspondeu a  $4,48 \text{ mg.L}^{-1}$ , o máximo a  $20,1 \text{ mg.L}^{-1}$  e a média a  $11,73 \pm 4,89 \text{ mg.L}^{-1}$ . O ponto localizado mais a montante, o ponto 1, apresentou as menores concentrações de DBO e, por isso, indica que os demais vêm recebendo maior aporte de matéria orgânica, por conta da área urbanizada na porção sudoeste da bacia (**Figura 12**).

**Figura 12:** Valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO 5,20) obtidos no Rio Puraquequara no período de setembro de 2021 a dezembro de 2022



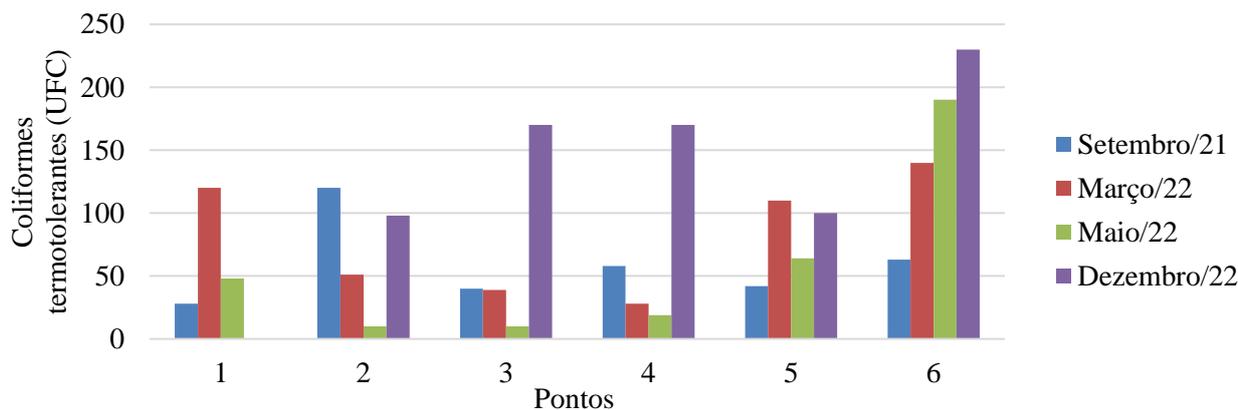
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A Resolução CONAMA 357/2005 aponta que a DBO não pode ser superior a  $3 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $5 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  para águas de classe 1, 2 e 3, respectivamente. Com ressalva de que os limites para as águas de classe 2 e 3 podem ser elevados desde que estejam de acordo com estudos que comprovem a capacidade de autodepuração do corpo receptor, não resultando em concentrações de oxigênio dissolvido abaixo do combinado no processo de enquadramento, levando em consideração a vazão de referência, à exceção da zona de mistura. Das 23 análises, 65,2% excederam o valor fixado para a classe 3. Exceptuando o valor constatado em março, no ponto 1, os valores de oxigênio dissolvido, em maio, se configuraram como os menores analisados, e isso possivelmente é reflexo da demanda de oxigênio consumida por microrganismos aeróbios para oxidar a matéria orgânica, podendo ser tanto de origem antrópica, quanto natural, resultante da decomposição da serrapilheira.

Os parâmetros coliformes termotolerantes variaram de 10 UFC a 230 UFC, com média de  $85 \pm 62$  UFC, nos pontos ao longo do baixo curso do Rio Puraquequara, e com destaque para o ponto 6, nos meses de março, maio e dezembro de 2022, em que foram registradas altas quantidades (**Figura 13**).

Todos os números estão abaixo do limite da Resolução CONAMA 274/2000, que define as condições de balneabilidade. Ressalta-se, contudo, que sua análise para balneabilidade depende de coletas executadas em 5 semanas consecutivas no mesmo local. Se em 80% ou mais das coletas houver no máximo 250 coliformes, poderão ser consideradas excelentes; se houver 500, muito boas; e, se 1.000, satisfatórias. À luz da Resolução CONAMA 357/2005, a coleta deve ser bimestral durante 1 ano, somando 6 análises, e em 80% destas o valor não pode superar 200 coliformes para demais usos. Dessa forma, os ensaios realizados até agora são sugestões de que as águas da bacia do Rio Puraquequara não apresentam valores elevados de coliformes termotolerantes. No entanto, recomenda-se a feitura de mais análises, principalmente nas praias, flutuantes e balneários, pois, como já constatado, existem as fontes de poluição pontuais, que podem colocar em risco a saúde dos banhistas, haja vista a sua proximidade com as áreas de lazer, as quais são refúgio de muitos manauaras nos fins de semana.

**Figura 13:** Valores de coliformes termotolerantes (UFC) obtidos no Rio Puraquequara no período de setembro de 2021 a maio de 2022



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

### 3.2. Identificação de parâmetros preponderantes para monitoramento na bacia hidrográfica do Rio Puraquequara

A análise de normalidade dos dados, realizada por meio do teste de Ryan Joiner, similar ao de Shapiro-Wilk, revelou que os dados não seguem uma distribuição normal ( $p < 0,05$ ) (**Tabela 2**). Desse modo, para verificar a existência de correlação entre as variáveis, lançou-se mão do teste de Spearman, indicado para dados não paramétricos, com nível de significância de 5%.

**Tabela 2:** Teste de normalidade dos valores dos parâmetros físicos, químicos e biológicos na bacia do Rio Puraquequara, Manaus, Amazonas

Parâmetros	TA	pH	OD	Cond.	NTU	P total	N total	ST	DBO	Coliformes
n	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
p	0,059	>0,1	>0,1	>0,1	<0,01	0,02	>0,1	<0,01	>0,10	>0,1

Nota: TA= Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ); OD= Oxigênio Dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); Cond.= Condutividade ( $\text{uS.cm}^{-1}$ ); NTU= turbidez (NTU); P total= Fósforo total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); N total= Nitrogênio total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); ST= Sólidos Totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); Coliformes (UFC); DBO= Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O método de Spearman salientou correlações fortes positivas entre as variáveis limnológicas coliformes, a turbidez, o pH e os sólidos totais, e negativas, entre a turbidez e a DBO. São consideradas fortes as coligações superiores a 0,50 (HELENA *et al.*, 2000). Pode-se inferir, a partir disso, que a entrada de partículas no corpo hídrico é oriunda de efluentes domésticos, retirada da mata ciliar, a qual favorece erosões das margens, e de excretas de animais. Já a demanda bioquímica de oxigênio, pode estar vinculada, ademais, a processos naturais da decomposição da matéria orgânica nas áreas de igapós – termo utilizado para as matas periodicamente inundadas sob regime das águas pretas –, já que a correlação negativa resulta de áreas com baixa turbidez e alta DBO. A explicação para esse fenômeno associa-se com a subida do nível da água, porque grandes áreas ficam submersas, resultando em acúmulo e decomposição de matéria orgânica provenientes da vegetação. Isso aumenta a DBO, o consumo de oxigênio dissolvido e também a condutividade das águas. Vale ressaltar que as águas pretas têm pH ácido por conta da decomposição da serrapilheira, a qual libera ácidos húmicos e fúlvicos (SILVA *et al.*, 2013) (**Tabela 3**).

Também constatou-se correlações significativas e positivas entre as variáveis relacionadas às cargas de sedimentos (turbidez e sólidos totais) e o aumento da condutividade no sentido montante a jusante (temperatura da água e condutividade), assim como correlações negativas entre a DBO e os coliformes termotolerantes, que, junto com a correlação negativa entre DBO e turbidez, corroboram

a hipótese de que os altos valores de DBO não estão somente concatenados à decomposição de excretas de animais, podendo ser observados em regiões onde a pecuária é intensa. As correlações entre o OD e condutividade, OD e turbidez, condutividade e pH estão conectadas ao período sazonal das coletas, mostrando o dinamismo desse ecossistema frente aos processos naturais e antrópicos.

**Tabela 3:** Matriz de correlação de Spearman das variáveis limnológicas da bacia do Rio Puraquequara, Manaus, Amazonas

Parâmetros	OD	TA	pH	Cond.	NTU	N total	P total	Coliformes	DBO
TA	0,115								
pH	0,330	-0,208							
Cond.	<b>-0,453</b>	<b>0,434</b>	<b>-0,449</b>						
Turbidez	<b>0,463</b>	-0,202	-0,058	0,104					
N total	-0,225	-0,341	0,084	-0,118	-0,314				
P total	0,248	0,331	-0,275	0,203	0,175	0,078			
Coliformes	0,355	-0,176	-0,020	-0,022	<b>0,702</b>	-0,103	0,315		
DBO	-0,323	0,218	0,189	0,144	<b>-0,607</b>	0,203	-0,316	<b>-0,492</b>	
ST	0,377	-0,406	<b>0,766</b>	-0,324	<b>0,440</b>	-0,036	-0,216	0,257	-0,190

**Nota:** Valores em negrito indicam correlação entre variáveis de acordo com o teste de Spearman, à nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). TA= Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ); OD= Oxigênio Dissolvido ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ); Cond.= Condutividade ( $\text{uS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ); NTU= Turbidez; P total= Fósforo total ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ); N total= Nitrogênio total ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ); Coliformes (UFC); DBO= Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ); ST= Sólidos Totais ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2023).

A análise das componentes principais resultou na adoção de três componentes de representação para as variáveis de qualidade da água, antes representada por cada variável. As três componentes explicaram 67,8% da variabilidade total dos dados. Esses resultados são satisfatórios, pois o ideal é que seja adotado o menor número de componentes, mesmo sabendo-se que o ideal são poucas componentes representando mais de 70% da variabilidade, mas isso não é uma regra da ACP (GUEDES *et al.*, 2012; BERTOSSI *et al.*, 2013; FINKLER *et al.*, 2015) (**Tabela 4**).

**Tabela 4:** Matriz de pesos fatoriais das variáveis físico-químicas nas três componentes principais

Variável	CP1	CP2	CP3
OD	0.426	-0.009	0.126
Temperatura	-0.181	0.295	<b>0.549</b>
pH	0.197	-0.498	0.183
Condutividade	-0.234	0.367	0.157
Turbidez	0.476	-0.168	0.218
Nitrogênio total	-0.162	-0.338	-0.449
Fósforo total	0.079	0.367	-0.439
Coliformes	0.415	0.286	-0.028
DBO (5,20)	-0.382	-0.210	0.385
Sólidos totais	0.340	-0.358	0.186
Autovalor	2,9481	2,3288	1,5076
Acumulado	0,295	0,528	0,678

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2023).

Para Finkler *et al.* (2015), os pesos fatoriais para compor cada componente deve ser acima de 0,50. Na componente 1, nenhum peso foi superior a 0,50, e os parâmetros de maior peso, o OD, a turbidez e os coliformes termotolerantes, mostraram que essa componente está associada ao aporte de matéria orgânica e de efluentes domésticos. A segunda e a terceira componente relacionam-se com a concentração de matéria orgânica, sais dissolvidos e nutrientes e, ainda, com a variação de temperatura existente a montante e a jusante.

A análise fatorial proporcionou uma redistribuição melhor dos pesos nos fatores, mantendo-se a variação do total acumulada em cada fator (**Tabela 5**). A turbidez foi considerada a variável de maior importância para o estudo de qualidade da água na bacia do Rio Puraquequara, seguida pelo oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio e sólidos totais. Esse resultado concorda com aqueles encontrados por Horbe *et al.* (2005), ao verificarem que, ao longo da drenagem, a turbidez sofreu maior variação, principalmente na vazante. Por não haver valores considerados altos em condições naturais, em comparação com áreas fortemente antropizadas, a entrada de efluentes, esgotos domésticos e demais poluentes de origem antrópica alteram a turbidez e, junto aos demais parâmetros do fator 1, retratam a influência do uso e a ocupação do solo na bacia. Sendo assim, o fator 1 relaciona-se à entrada de partículas e efluentes no corpo hídrico.

**Tabela 5:** Matriz de peso fatorial das variáveis físico-químicas nos três fatores

Variável	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Turbidez	<b>0.817</b>	0.256	0.268
OD	<b>0.731</b>	-0.014	0.155
Coliformes	<b>0.713</b>	0.436	-0.034
DBO (5,20)	<b>-0.656</b>	-0.320	0.473
Sólidos totais	<b>0.583</b>	-0.546	0.229
pH	0.338	<b>-0.759</b>	0.224
Condutividade	-0.402	<b>0.560</b>	0.193
P total	0.136	<b>0.560</b>	-0.538
T da água	-0.311	-0.451	<b>0.674</b>
N total	-0.279	-0.516	<b>-0.551</b>
Variância	2,9481	2,3288	1,5076
Var acumulada	0,295	0,528	0,678

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O fator 2 é explicado pelas variáveis pH, condutividade e fósforo total e vincula-se à concentração de nutrientes e sais dissolvidos, ambos de origem dos efluentes domésticos, da poluição difusa por fertilizantes usados na agricultura, bem como dos efluentes da piscicultura em tanque escavados. A concentração de fósforo no ponto 3 mostrou-se elevada, em relação aos demais, sustentando a ideia de sua origem dos usos da água nos bairros existentes na bacia hidrográfica.

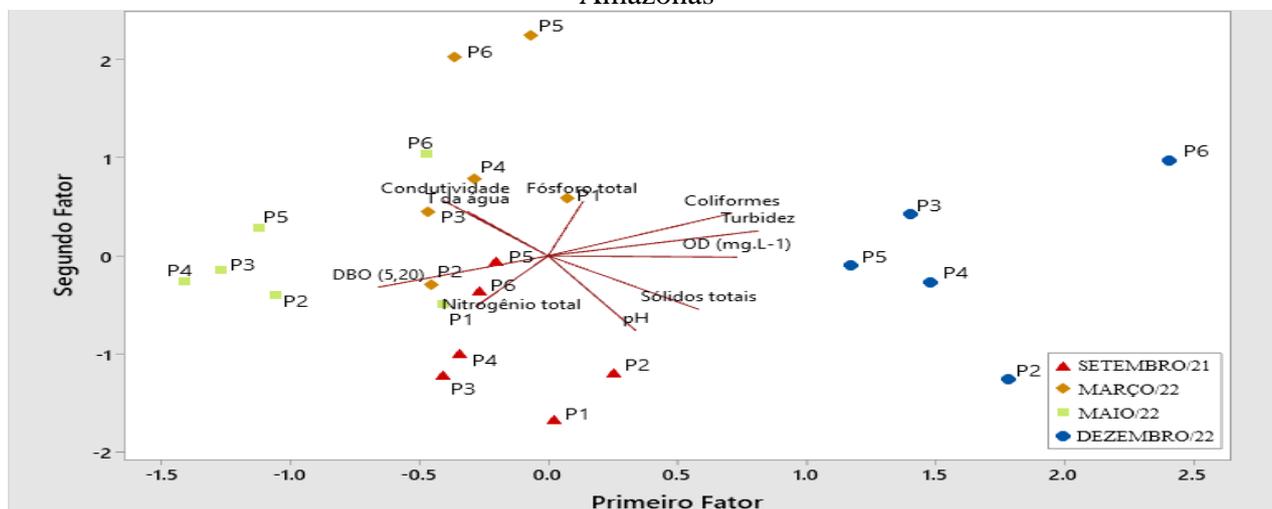
Costa *et al.* (2021), em seus estudos sobre a qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Tarumã-Açu, Manaus, Amazonas, também recorreram à análise das componentes principais. Os parâmetros de maior peso para as duas componentes adotadas, as quais explicaram 84,21% dos dados originais, foram o pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica. Os autores ainda relataram a influência do aumento do pH, no período de baixas cotas do rio, e da condutividade e dos sólidos nas áreas de solo exposto. Então, parecido com o que acontece na bacia hidrográfica a oeste, a bacia hidrográfica do Rio Puraquequara sofre os impactos ambientais do crescimento da cidade de Manaus.

O fator 3 foi representado pela temperatura e pelo nitrogênio total. Salienta-se que tanto o fósforo total como o nitrogênio total apresentaram pesos fatoriais aproximados, entretanto obtiveram os maiores pesos em fatores diferentes. Por isso, a terceira componente concatena-se, também ela, com a carga de nutrientes e com a temperatura, por conta da variação natural existente entre os pontos 1 a 6.

O gráfico da carga fatorial dos parâmetros de qualidade da água ajuda a compreender como as diferentes coletas e análises, em diferentes pontos e períodos do ano, contribuíram para os resultados constatados. No gráfico, observa-se as quatro campanhas realizadas diferindo entre si. As coletas de maio (maior cota em relação às demais) e as de dezembro (menor cota) estão dispostas em direções opostas ao longo do primeiro fator e revelam que a menor cota do rio concentra as partículas, aumentando os sólidos, o pH, a turbidez, a concentração de coliformes termotolerantes e o oxigênio

dissolvido. Já a maior cota conecta-se ao aumento da DBO no corpo hídrico. As coletas de setembro e março dispõem-se mais ao longo do segundo fator, podendo ser consideradas como uma transição entre os extremos (parâmetros do fator 1) e relacionadas com o aumento do pH no período de vazante (setembro) e de condutividade no período de chuvas na região (março) (**Figura 14**).

**Figura 14:** Carga fatorial dos parâmetros de qualidade da água do Rio Puraquequara, Manaus, Amazonas



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Em suma, a análise fatorial ajudou a entender melhor o que acontece na bacia hidrográfica do Rio Puraquequara, como também permitiu um exame em conjunto dos parâmetros, facilitando o entendimento, agrupando-os em poucos componentes e fatores. Apesar de não se ter uma redução do número de parâmetros, os resultados apontam que estes são correlacionados, e, caso não se disponha de tempo ou recursos humanos ou laboratoriais, a turbidez, a condutividade, o pH, os sólidos totais dissolvidos, a temperatura e o oxigênio dissolvido são facilmente obtidos através de aparelhos portáteis, sendo muito úteis no monitoramento da qualidade de água na bacia.

#### 4. CONCLUSÃO

A qualidade da água da bacia do Rio Puraquequara está sendo comprometida devido à expansão urbana em sua margem direita, a qual vem crescendo ao longo dos anos, no entanto, com a preservação da floresta, vê-se atenuada na margem esquerda. O Rio Puraquequara caracteriza-se pela sua acidez ( $3 < \text{pH} < 6$ ), temperatura na faixa dos  $26,52\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $31,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , baixa concentração de sólidos totais ( $< 25\text{ mg.L}^{-1}$ ), fósforo total ( $< 0,01\text{ mg.L}^{-1}$ ), nitrogênio total (média  $0,7\text{ mg.L}^{-1}$ ), turbidez (média  $7,13\text{ NTU}$ ), condutividade (média  $8\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) e coliformes termotolerantes (média  $85\text{ UFC}$ ), em condições naturais. A demanda bioquímica de oxigênio revelou-se elevada em algumas coletas e oscilou entre  $4,48\text{ mg.L}^{-1}$  e  $20,1\text{ mg.L}^{-1}$ . O caso está diretamente relacionado com o local e dia de coleta, ou seja, à carga de efluentes diária que adentra o sistema hídrico. O oxigênio dissolvido apresentou bons resultados na maior parte do tempo, em relação ao que se espera das águas amazônicas (média  $3,99\text{ mg.L}^{-1}$ ). As maiores concentrações de fósforo total, turbidez, sólidos totais, coliformes termotolerantes e o aumento do pH, nos meses de menor cota do rio, resultam da influência do uso e na ocupação do solo e dos usos múltiplos da água. Mesmo assim, as condições atuais não divergem tanto dos padrões exigidos na Resolução CONAMA 357/205, exceto no que tange às condições naturais, como o pH, e não se equiparam às de outros cursos d'água que têm suas drenagens na cidade de Manaus e estão poluídos e impróprios para diversos usos.

A análise fatorial, junto com a correlação, foi relevante para a compreensão da interação entre os parâmetros de qualidade da água, os pontos de coleta e o período do ano. Embora não tenha

proporcionado à redução das variáveis físico-químicas e biológicas, tal análise revelou que os parâmetros turbidez, oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, DBO, sólidos totais, pH, condutividade, fósforo total, temperatura e nitrogênio total, nessa ordem, são importantes para o processo de monitoramento da qualidade da água. Esses parâmetros responderam às situações de desequilíbrio ambiental, provocadas pela presença antrópica na bacia ou pelos processos naturais desse ecossistema.

A questão do barramento hidráulico no Rio Puraquequara é um novo horizonte a ser sondado, a fim de que se possa entender os limites da influência do Rio Negro e do Rio Amazonas na qualidade da água no baixo curso. Evidencia-se a necessidade da atuação do comitê de bacia do Rio Puraquequara no planejamento sistemático, necessitando elaborar o plano de bacia e o enquadramento dos corpos hídricos, com vistas a fortalecer, ademais, a outorga de águas superficiais, que já é concedida pelo Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM), posto que as pesquisas estão apontando para um futuro deterioramento da qualidade hídrica. Necessita-se agir o quanto antes, caso contrário, as medidas tomadas tendem somente a atenuar a poluição do rio e não mais atender aos seus usos mais exigentes.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015. Agradecimentos também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas, FAPEAM, pela bolsa de pós-graduação concedida ao primeiro autor.

## REFERÊNCIAS

BERTOSSI, Ana Paula Almeida; MENEZES, João Paulo Cunha de; CECÍLIO, Roberto Avelino; GARCIA, Giovanni de Oliveira; NEVES, Mirna Aparecida. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando Estatística Multivariada. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 34, n. 5, p. 2025, 17 out. 2013. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n5p2025>.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Organizadores: Carlos Jesus Brandão *et al.* São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

COLETTI, Christiane; TESTEZLAF, Roberto; RIBEIRO, Túlio A. P.; SOUZA, Renata T. G. de; PEREIRA, Daniela de A.. Water quality index using multivariate factorial analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 14, n. 5, p. 517-522, maio 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010000500009>.

CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005, nº 53, p. 58-63.

CONAMA. Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 jan. 2001, nº 18, Seção 1, p. 70-71.

COSTA, Eduardo Bulcão da Silva; SILVA, Clauzionor Lima; SILVA, Márcio Luiz. Caracterização física de bacias hidrográficas na região de Manaus – AM. **Caminhos de geografia**, [S.L.], v. 14, n. 46, p. 93- 100, 2013. <https://doi.org/10.14393/RCG144619846>.

COSTA, Jamerson Souza da; RODRIGUES, Liange de Sousa; DA SILVA, Aline Gabriela Castro; REIS, Thatierlen da Costa; DE MELO, Maria da Glória Gonçalves; LIBERATO, Maria Astrid Rocha Estado de conservação e qualidade da água em uma bacia hidrográfica periurbana na Amazônia Central. **Scientia Plena**, [S.L.], v. 17, n. 9, p. 1-19, 2021. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2021.091701>.

CPRM. **Boletim de monitoramento hidrometeorológico da Amazônia ocidental**. Boletim nº 2, 14 de janeiro de 2022. Disponível em: [https://r.search.yahoo.com/\\_ylt=AwrEpI4rPVRjuUAoYDXz6Qt.;\\_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1666493868/RO=10/RU=http%3a%2f%2fwww.cprm.gov.br%2fsace%2fboletins%2fAmazonas%2f20220114\\_13-20220115%2520-%2520135218.pdf/RK=2/RS=k9yb7U3yXb4D1CzET7Jsfs6nYzQ-](https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrEpI4rPVRjuUAoYDXz6Qt.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1666493868/RO=10/RU=http%3a%2f%2fwww.cprm.gov.br%2fsace%2fboletins%2fAmazonas%2f20220114_13-20220115%2520-%2520135218.pdf/RK=2/RS=k9yb7U3yXb4D1CzET7Jsfs6nYzQ-.). Acesso em: 22 out. 2022.

FINKLER, Nicolás Reinaldo; PERESIN, Denise; COCCONI, Jardel; BORTOLIN, Taison Anderson; RECH, Adivandro; SCHNEIDER, Vania Elisabete. Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. **Rev. Ambient. Água**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 782- 792, 2015. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1468>.

FRITZSONS, Elenice, MANTOVANI, Luiz Eduardo; WREGGE, Marcos Silveira. Os biomas e os climas das capitais do Brasil. **Revista brasileira de geografia física**, [S.L.] v. 10, n. 4, p. 1152- 1160, 2017.

GUEDES, Hugo A. S.; SILVA, Demetrius D. da; ELESBON, Abrahão A. A.; RIBEIRO, Celso B. M.; MATOS, Antonio T. de; SOARES, José H. P.. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 16, n. 5, p. 558-563, maio 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662012000500012>.

HELENA, Beatriz; PARDO, Rafael; VEGA, Marisol; BARRADO, Enrique; FERNÁNDEZ, José Manuel; FERNÁNDEZ, Luis. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, [S.L.], v. 34, n. 3, p. 807-816, 15 fev. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1354\(99\)00225-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1354(99)00225-0).

HORBE, Adriana Maria Coimbra; GOMES, Israel Leibnitz Ferreira; MIRANDA, Sebastião Fonseca; SILVA, Maria do Socorro Rocha da. Contribuição à hidroquímica de drenagens no Município de Manaus - AM. **Acta Amazonica**, [S.L.], v. 35, n. 2, p. 119-124, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672005000200002>.

LEMOS, Lila Sigrid Macena; COSTA, Reinaldo Corrêa. Bacias Hidrográficas em Manaus. In: COSTA, Reinaldo Corrêa (org.). **Riscos, fragilidades & problemas ambientais urbanos em Manaus**. Manaus: Inpa, 2017. p. 1-189.

MARINHO, Rogério Ribeiro; ZANIN, Paulo Rodrigo; FILIZOLA JUNIOR, Naziano Pantoja. The Negro River in the Anavilhanas Archipelago: streamflow and geomorphology of a complex anabranching system in the amazon. **Earth Surface Processes and Landforms**, [S.L.], v. 47, n. 4, p. 1108-1123, 17 jan. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.5306>.

MIRANDA, Michel Jader de Oliveira. **O uso de geotecnologias na análise temporal do processo de expansão urbana sobre a bacia hidrográfica do Puraquequara: Manaus – AM**. 2017. 112 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Geografia, Instituto de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

MORE. **Mecanismo online para referências, versão 2.0**. Florianópolis: UFSC: REXLAB, 2013. Disponível em: <http://www.more.ufsc.br/>. Acesso em: 31 maio 2023.

NASCIMENTO, Clive Reis; SILVA, Maria do Socorro Rocha da. Alterações em parâmetros físicos e em concentrações de cátions e ânions em uma micro-bacia hidrográfica de Manaus devido a expansão urbana. **Caminhos de Geografia**, [S.L.], v. 11, n. 33, p. 208-219, 22 mar. 2010. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg113315891>.

NEVES, Renato Kennedy Ribeiro. **Subsídios para o planejamento e gestão dos recursos hídricos na bacia do Rio Puraquequara – AM**. 2018. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2018.

NEVES, Renato Kennedy Ribeiro; BATISTA, Ieda Hortêncio; SILVA, José Roselito Carmelo da; SOUZA FILHO, Elton Alves de; NEVES, Eduardo Papi Lemos das. Evolução espaço-temporal do uso e cobertura da terra na bacia do rio Puraquequara (Manaus-AM). **Caminhos de Geografia**, [S.L.], v. 21, n. 73, p. 347-355, 9 mar. 2020. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg217348564>.

PINTO, Antônia Gomes Neta; HORBE, Adriana Maria Coimbra; SILVA, Maria do Socorro Rocha da; MIRANDA, Sebastião Atila Fonseca; PASCOALOTO, Domitila; SANTOS, Helder Manuel da Costa. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do Rio Negro na orla de Manaus/AM. **Acta Amazonica**, [S.L.], v. 39, n. 3, p. 627-638, set. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672009000300018>.

QUEIROZ NETO, João Carlos de; SOUZA FILHO, Elton Alves de; SOUZA, David Robert Santos de; SARKIS, Gisele da Silva; ALBUQUERQUE, Carlossandro Carvalho de; BATISTA, Ieda Hortêncio. Caracterização de parâmetros físico-químicos da água em trechos do rio Puraquequara sob influência de abatedouro bovino em Manaus- Brasil. **Revista Geonorte**, [S.L.], v. 12, n. 40, p. 77-91, 28 jan. 2022. Revista Geonorte. <http://dx.doi.org/10.21170/geonorte.2020.v.12.n.40.77.91>.

RÍOS- VILLAMIZAR, Eduardo Antonio; ADENEY, J. Marion; PIEDADE, Maria Teresa Fernandez; JUNK, Wolfgang Johannes. Hydrochemical classification of Amazonian rivers: a systematic review and meta-analysis. **Caminhos de Geografia**, [S.L.], v. 21, n. 78, p. 211-226, 4 dez. 2020. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg217853272>.

ROCHA, Alzilene Teixeira da. **Gestão da água em Manaus: criação do comitê de bacia hidrográfica do Rio do Puraquequara**. 2014. 123 f. Dissertação (Mestrado), Curso de Geografia, Instituto de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

RUBIM, Maria Anete Leite; LIMA, Rita Mileni de Souza. Uma década de avaliação do estado trófico da bacia do Rio Puraquequara. In: RUBIM, Maria Anete Leite; FERRAZ, Lídia Rochedo (org.). **Puraquequara em mosaico: histórias, vidas e recursos naturais Manaus: FUA**, 2020. p. 1- 307.

SANTOS, Joyce Andreia dos. **Efeitos do pH sobre a incubação e o desenvolvimento inicial de peixes com diferentes estratégias reprodutivas**. 2017. 36 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017.

SILVA, Ana Elisa Pereira; ANGELIS, Carlos Frederico; MACHADO, Luiz Augusto Toledo; WAICHAMAN, Andrea Viviana. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazonica**, [S.L.], v. 38, n. 4, p. 733-742, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672008000400017>.

SILVA, Maria do Socorro Rocha; MIRANDA, Sebastião Átila Fonseca; DOMINGOS, Roberto Naves; SILVA, Sergio Luiz Rodrigues; SANTANA, Genilson Pereira. Classificação dos rios da Amazônia: uma estratégia para a preservação desses recursos. **Holos Environment**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 163- 174, 2013. <https://doi.org/10.14295/holos.v13i2.7344>.

SIQUEIRA, Gilmar W.; APRILE, Fabio; MIGUÉIS, Antonio Miguel. Diagnóstico da qualidade da água do Rio Parauapebas (Pará - Brasil). **Acta Amazonica**, [S.L.], v. 42, n. 3, p. 413-422, set. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672012000300014>.

SIQUEIRA, Luan Ferreira; FILIZOLA, Naziano. Estudo hidrológico do efeito de barramento hidráulico no rio Tarumã-Açu, Manaus-AM. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 315-335, 1 abr. 2021. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v22i2.1752.4>.

SOUZA, Cíntia Rodrigues de; AZEVEDO, Celso Paula de; LIMA, Roberval Monteiro de. **Espécies florestais para produção de energia**. Circular técnica 31, Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2008.

SOUZA, Valmir da Silva; NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues. Seção geológica Manaus – Presidente Figueiredo (AM), borda norte da Bacia do Amazonas: um guia para excursão de campo. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 16-29, 1 mar. 2009. Sociedade Brasileira de Geologia. <http://dx.doi.org/10.25249/0375-7536.20093911629>.

SOUZA-FILHO, Elton Alves de; BATISTA, Ieda Hortêncio; ALBUQUERQUE, Carlossandro Carvalho de. Levantamento de aspectos físico-químicos das águas da microbacia do Mindu em Manaus-Amazonas. **Revista Geográfica de América Central**, [S.L.], v. 2, n. 63, p. 341-367, 17 jun. 2019. Universidad Nacional de Costa Rica. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.63-2.13>.

SOUZA FILHO, Elton Alves; ALVES, Samara Beatriz da Silva Mendonça; NEVES, Renato Kennedy Ribeiro; BATISTA, Ieda Hortêncio; ALBUQUERQUE, Carlossandro Carvalho; DAMASCENO, Solange Batista; NASCIMENTO, Dênis Agueru. Estudo comparativo de aspectos físico-químicos entre águas da microbacia do Mindu e Igarapés sob influência antrópica na cidade de Manaus-AM. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 2419-2433, 2020. *Brazilian Journal of Development*. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n1-178>.



---

#### Informações sobre a Licença

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.

#### License Information

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which allows for unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, as long as the original work is properly cited.