

## HIDROQUÍMICA E ANÁLISE DA CAPACIDADE DE AUTODEPURAÇÃO DO RIO PACIÊNCIA, ILHA DO MARANHÃO, NORDESTE DO BRASIL

*HYDROCHEMISTRY AND ANALYSIS OF THE SELF-PURIFICATION CAPACITY OF THE PACIÊNCIA RIVER, MARANHÃO ISLAND, NORTHEAST BRAZIL*

**Karina Suzana Feitosa PINHEIRO<sup>1</sup>, José Elói Guimarães CAMPOS<sup>2</sup>, Cláudio José da Silva de SOUSA<sup>1</sup>, Daniel de Lima Nascimento SÍRIO<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Maranhão. Avenida Lourenço Vieira da Silva, 1000 - Jardim São Cristovão, São Luís – MA.  
E-mails: karinapineiro@professor.uema.br; claudiojose@professor.uema.br; danielsirio@professor.uema.br

<sup>2</sup>Universidade de Brasília. Instituto de Geociências. Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC - Ala Central. Brasília – DF.  
E-mail: eloi@unb.br

Introdução  
Área de estudo  
Materiais e método  
Coleta de amostras e análise das águas  
Análise multivariada dos parâmetros de qualidade das águas  
Aplicação do modelo de Streeter-Phelps  
Resultados e discussão  
Qualidade das águas do Rio Paciência  
Análise multivariada – PCA e HCA  
Capacidade de autodepuração do Rio Paciência  
Considerações Finais  
Referências

**RESUMO** - O estudo avaliou a qualidade das águas do Rio Paciência e sua autodepuração. Foram analisados treze parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em seis pontos ao longo do Rio Paciência através da Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise de Grupos Hierárquicos (HCA); e do modelo de *Streeter-Phelps*, para estimativa a autodepuração do rio. O Rio Paciência apresentou dificuldades em seu processo de recuperação, tendo sua capacidade de autodepuração afetada tanto pela sazonalidade climática da região, quanto pelas influências externas, como o lançamento de esgotos e a contribuição de afluentes. De acordo com os resultados, no mês de abril, todos os pontos estudados ao longo do rio apresentaram valor de DBO fora do estabelecido pela Resolução CONAMA n.º. 357/2005 e seu complemento 430/2011. OD atingiu o limite mínimo permitido de 5 mg.L<sup>-1</sup> em apenas um ponto, em seu alto curso. Em dezembro, nenhum ponto analisado atendeu à legislação, com OD abaixo de 5 mg.L<sup>-1</sup> e DBO acima do limite de 5 mg.L<sup>-1</sup>. Os métodos utilizados demonstraram compatibilidade com os fenômenos naturais observados na bacia; representaram as condições da qualidade das águas e o processo de autodepuração do rio, destacando-se como ferramentas essenciais para subsidiar ações de saneamento, licenciamento ambiental e gestão das águas.

**Palavras-chaves:** Poluição hídrica. Autodepuração. Modelo Streeter-Phelps.

**ABSTRACT** - The study assessed the water quality of the Paciência River and its self-purification capacity. Thirteen physicochemical and bacteriological parameters were analyzed at six points along the river using Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Cluster Analysis (HCA), as well as the Streeter-Phelps model to estimate the river's self-purification. The Paciência River faced challenges in its recovery process, with its self-purification capacity affected by both the region's climatic seasonality and external influences, such as wastewater discharge and tributary contributions. According to the results, in April, all studied points along the river showed DBO values exceeding the limits established by CONAMA Resolution n.º. 357/2005 and its complement, 430/2011. Dissolved oxygen (OD) reached the minimum allowed threshold of 5 mg.L<sup>-1</sup> at only one point, in the upper course of the river. In December, none of the points analyzed met legal standards, with OD below 5 mg.L<sup>-1</sup> and DBO above the 5 mg.L<sup>-1</sup> limit. The applied methods proved to be compatible with the natural phenomena observed in the basin, accurately representing the water quality conditions and the river's self-purification process. These methods stand out as essential tools to support sanitation actions, environmental licensing, and water management.

**Keywords:** Water pollution. Self-purification. Streeter-Phelps model.

### INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica, como unidade de planejamento, resulta em um contexto complexo, pois conjuga aspectos naturais, com as ações antrópicas decorrentes do uso e ocupação dos espaços. Associado a esse fato, os impactos ambientais gerados, ampliados de forma dinâmica com a urbanização e conseqüente crescimento populacional, aumentam a complexidade dos

processos da bacia hidrográfica. Nesse contexto, a qualidade das águas superficiais, principalmente de rios urbanos, é comprometida por lançamentos de efluentes domésticos e industriais, por excedentes do escoamento pluvial e por resíduos sólidos. Os efluentes (domésticos e/ou industriais), por sua vez, podem atingir o corpo hídrico de forma concentrada, com localização definida e

frequentemente com regime contínuo de produção.

Esses lançamentos, geram cargas poluentes que podem ser depuradas naturalmente no decurso de um rio. Segundo Batalha & Rocha (1986), esse processo de depuração é natural e está associado a aspectos físicos (diluição, sedimentação e turbulência), químicos (oxidação dos redutores) e biológicos (ação de bactérias e algas), os quais implicam na purificação e equilíbrio de corpos hídricos, ou seja, na sua autodepuração.

De acordo com Von Sperling (2014), a autodepuração é um processo que se desenvolve ao longo do tempo, com a dimensão do corpo d'água sendo predominantemente longitudinal. Nesse sentido, a autodepuração pode ser entendida como estágios de sucessão ecológica. Esses estágios, segundo Batalha & Rocha (1986), são classificados em três zonas: de degradação, de decomposição ativa e de recuperação. Von Sperling (2014) acrescenta uma quarta, sendo denominada zona de autodepuração ou zona de águas limpas.

Estudos sobre autodepuração de corpos d'água refletem a dinâmica existente em uma bacia hidrográfica, ao mesmo tempo, em que traduzem a capacidade de assimilação da matéria orgânica e consumo de oxigênio dissolvido pelo corpo hídrico. Dependendo dos usos preponderantes de cada trecho do corpo hídrico, o entendimento de autodepuração muda. Isso significa que um trecho do corpo hídrico pode ser considerado depurado e adequado aos seus usos múltiplos segundo seu enquadramento, mesmo que não apresente a mesma qualidade que possuía antes da perturbação (Lima, 1997; Benassi, 2002; Von Sperling, 2014). Isso se deve ao limite de lançamento de matéria orgânica biodegradável associado a cada corpo hídrico, sendo importante, o estudo da sua capacidade de depuração de compostos orgânicos (Monteiro, 2004; Almeida, 2006).

Nesse contexto, desde a década de 1980, a bacia hidrográfica do Rio Paciência tem sido intensamente ocupada (Sousa, 2022), Consolidando-se como a principal área de expansão urbana na Ilha do Maranhão. No entanto, esse crescimento ocorreu de forma espontânea, assim como em muitas outras regiões do Brasil. Como consequência foram gerados passivos ambientais, tal como: poluição dos mananciais superficiais pelo lançamento de efluentes domésticos; resíduos sólidos urbanos e diversas outras

atividades antrópicas. Essa bacia metropolitana é relevante para o abastecimento humano, por conter baterias de poços tubulares, configurando-se como a principal área de recarga de recursos hídricos da Ilha (Sousa, 2021), além de exercer um importante papel de manutenção do ecossistema local em diversos aspectos ambientais, e por desempenhar funções sociais e econômicas relevantes na região.

Estudos realizados no Rio Paciência (Soares et al., 2011; Oliveira et al., 2012; Cavalcante Júnior, 2016; Corrêa et al., 2019; Rabelo et al., 2017; Barbalho et al., 2018; Rocha et al., 2021; Santos et al., 2023) analisaram a qualidade da água por meio de parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Essas pesquisas destacaram as fontes pontuais de poluição, os impactos na saúde humana, os efeitos na fauna aquática e os níveis tróficos das águas da bacia. Ainda assim, esses estudos se tornaram exíguos em representar os fenômenos naturais e antrópicos de uso e ocupação do espaço urbano na bacia e suas consequências na qualidade das águas do Rio Paciência.

Além disso, há uma lacuna na literatura no que diz respeito à aplicação de análises multivariadas para avaliar a qualidade das águas na referida bacia, permitindo identificar padrões e associações entre parâmetros, e distinguindo fontes de poluição e a capacidade de autodepuração do Rio Paciência, lacuna esta que o presente estudo busca preencher.

Nesse cenário, a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, Lei Federal n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, estabelece a bacia hidrográfica como a unidade territorial para fins de planejamento da gestão das águas, com o uso múltiplo dos recursos hídricos, de forma sustentável. Em vista disso, é necessário o conhecimento da qualidade das águas dos corpos hídricos e sua capacidade de autodepuração, como um aspecto importante no processo de saneamento e licenciamento ambiental, no atendimento às leis e resoluções, e no processo de planejamento e gestão das águas como um todo.

Diante do exposto, esse artigo visa qualificar as águas do Rio Paciência e estimar sua condição de autodepuração. De forma específica, buscou-se: investigar a qualidade das águas a partir dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos; e estimar a capacidade de autodepuração do Rio Paciência.

## ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Paciência está localizada na Ilha do Maranhão, inserida no Golfão Maranhense e apresenta uma área territorial de 150,51 km<sup>2</sup> (NUGEO, 2016), abrangendo quatro municípios, São Luís (capital do estado), São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. Seu rio principal, com comprimento aproximado de 27 km, nasce na porção central da Ilha do Maranhão,

entre os bairros São Cristóvão e Santa Bárbara, a uma altitude de 65 m, com foz na Baía de Curupu. Quanto ao fluxo, o rio enquadra-se como turbulento, com variação da velocidade do escoamento transitório, e não uniforme. Os principais afluentes do Rio Paciência pela margem esquerda são o Riacho Itapiracó e Rio Turu, com extensão aproximada de 6 km e 8 km respectivamente.

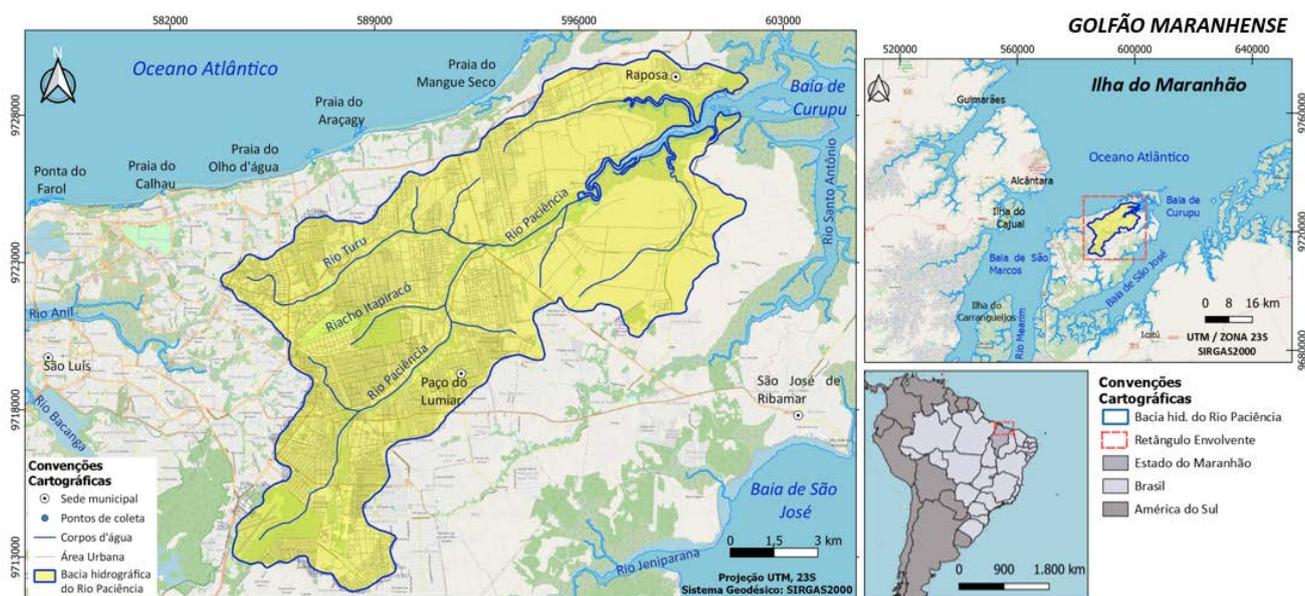


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Rio Paciência na Ilha do Maranhão.

Atualmente, a bacia hidrográfica do Rio Paciência apresenta 48,76% de seu território ocupado por áreas urbanizadas, o que resulta em fontes prováveis de contaminação dos recursos hídricos, a saber: lava-jatos, postos de combustíveis, mecânicas automotivas (oficinas), estações de tratamento de esgotos (ETEs), cemitérios, lixões, extração mineral (areia e argila), além de lançamentos de efluentes domésticos e acúmulo de resíduos sólidos, diretamente no Rio Paciência e seus principais afluentes (Figura 2). Além disso, no baixo curso da bacia, são encontrados efluentes procedentes de propriedades rurais de hortifruticultura, portos ao longo do rio, descarte

de resíduos do comércio de pescado e prováveis vazamentos de combustíveis de embarcações que representam risco adicional à contaminação dos cursos d'água na bacia.

Além das fontes prováveis de contaminação das águas, a ineficiência do saneamento básico é prevalente como fator poluidor dos recursos hídricos na bacia.

Considerando esse contexto, a rede de esgoto existe apenas na área urbana do município de São Luís, sendo que alguns bairros da capital possuem fossas sépticas e/ou o esgoto que correm a céu aberto em valas de drenagem (Anjos Neto, 2016).

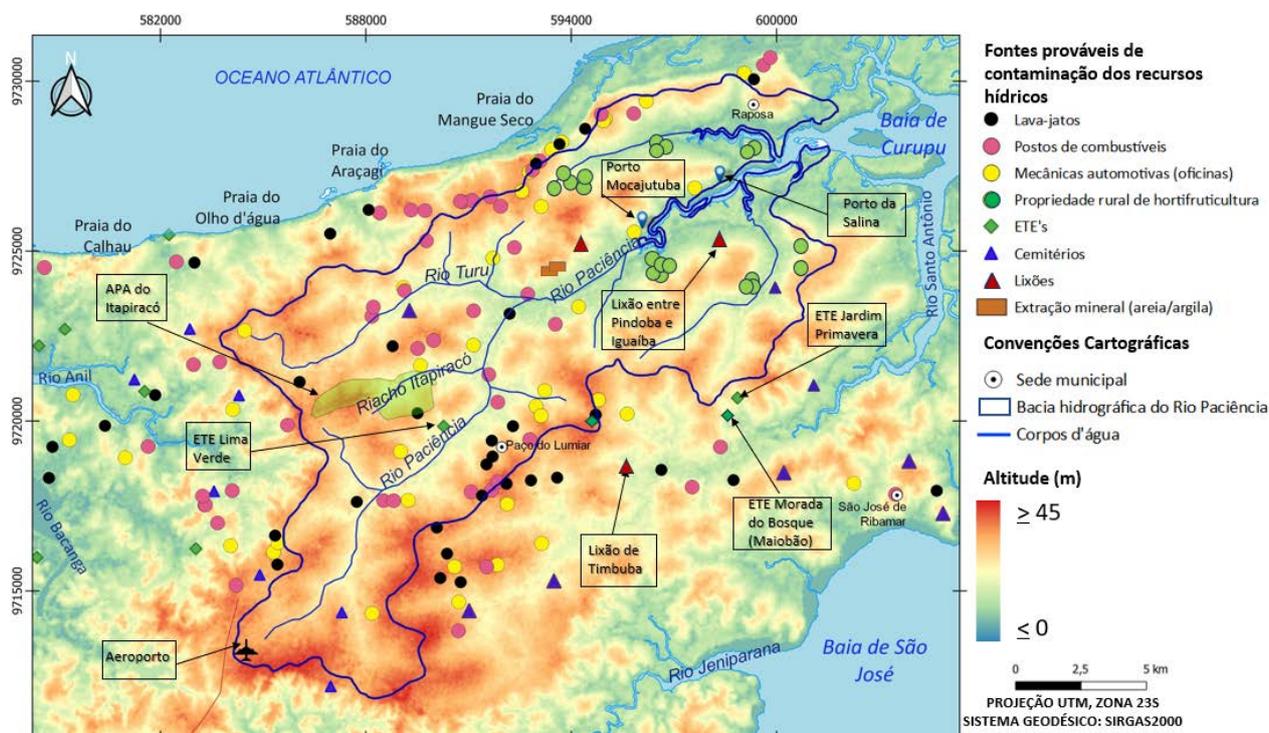
## MATERIAIS E MÉTODO

Os procedimentos metodológicos aplicados envolveram: amostragem e análise das águas do Rio Paciência, análise multivariada dos parâmetros de qualidade das águas e avaliação da capacidade de autodepuração do Rio Paciência.

### Coleta de amostras e análise das águas

Foram coletadas duas amostras de água por curso do Rio Paciência (CETESB; ANA, 2011 & ABNT, 1997), no mês de maio, que corresponde ao período chuvoso e no mês de novembro,

período seco, no ano de 2022. Considerando o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Rio Paciência, predominantemente urbano, foram selecionados treze parâmetros: a) *físico-químicos*: temperatura, pH, condutividade elétrica - CE, fósforo total, nitrogênio total, nitrogênio-nitrato, nitrogênio-nitrito, turbidez, sólidos dissolvidos totais - SDT, oxigênio dissolvido - OD, demanda bioquímica de oxigênio - DBO; e, b) *microbiológicos*: coliformes totais e *Escherichia coli*.



**Figura 2** - Fontes potenciais de contaminação das águas da bacia hidrográfica do Rio Paciência.

Foi empregada a sonda Multiparâmetro da AKSO, modelo AK87, para determinação dos parâmetros temperatura, pH, CE, e OD *in loco* conjuntamente com a coleta de amostras. Através do Kit microbiológico de cartelas *Colipaper petri* com meio de cultura em forma de gel desidratado da Alfabik foram determinados os parâmetros coliforme total e *Escherichia coli*. Os demais parâmetros foram analisados segundo *Standard Methods for Examination of Water Wastewater 22ed* (ALPHA, 2012).

### **Análise multivariada dos parâmetros de qualidade das águas**

Aos parâmetros de qualidade das águas, foram aplicados a Análise de Componentes Principais (PCA), técnica estatística multivariada, que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais (Johnson & Wichern, 2007; Hongyu, 2015). Desta forma, foram identificados os parâmetros mais relevantes na caracterização da qualidade das águas na bacia hidrográfica do Rio Paciência, para cada mês de estudo, utilizando-se o *software* estatístico *Past*, versão 4.08 (LO4D, 2023). Segundo esses autores, as componentes principais apresentam propriedades importantes: cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos

da variação total contida nos dados.

Os dados da PCA são representados através de projeção gráfica denominada *biplot*, que representa a correlação entre variáveis e sua influência em relação aos eixos das componentes principais representativas em uma análise. No gráfico *biplot*, segundo Palácio (2020): as unidades de estudo que são próximas no espaço, têm características similares nas suas variáveis; o cosseno do ângulo entre dois vetores corresponde a sua correlação, quanto mais próximo for um vetor do outro, mais forte é a correlação; o cosseno do ângulo entre um vetor e uma componente principal corresponde a sua correlação, isso significa, que quanto mais próximo for um vetor de um eixo (x ou y) de uma componente principal, maior a relação entre estes; uma unidade de estudo na direção e sentido de uma variável e afastada do centro de origem tem um valor alto para essa variável, isso significa, que quanto mais comprido o vetor, maior é sua relevância na correlação.

Além dos pontos destacados anteriormente, pode ocorrer entre vetores, correlação nula, quando a angulação entre eles for ortogonal, e correlação inversa, quando eles estiverem em direções opostas. Ademais, variáveis, cujos vetores estão mais próximos do eixo principal, são as mais importantes para explicar ou interpretar a interferência da componente principal na variável ou no parâmetro estudado (Vicine, 2005; Figueiredo et al., 2014; Lóbon et

al., 2015; Palácio, 2020).

Concomitante à análise de componentes principais foi realizada uma análise de agrupamento hierárquico (HCA) dos dados multivariados da qualidade das águas para o mês de maio e novembro. A análise de agrupamento é uma técnica multivariada com o objetivo de reunir dados em grupos ou *cluster*, com características as mais similares possível (Härdle & Simar, 2007). Entre os métodos de agrupamento, utilizou-se o método aglomerativo hierárquico, que consiste em reunir a partir de um conjunto de dados ou parâmetros separados, e a cada etapa, reúnem-se subconjuntos dos dados mais próximos, para construir um novo subconjunto, até a obtenção do conjunto total de todos os dados estudados (Rogerson, 2012).

A análise de agrupamento foi processada por meio do *software Palaeontological Statistics - PAST*, 4.08 (LO4D, 2023). Após inserir a matriz dos dados de qualidade das águas no programa, foram realizados os comandos: *Multivariate - Cluster Analysis*. Na sequência, na seção *Algorithm*, escolhe-se o método *Paired group*

(*UPGMA*), que consiste no cálculo de uma série de medidas de similaridade ou distância entre todos os grupos e subgrupos de dados através de dendogramas. Os resultados são apresentados através de dendogramas. A medida de similaridade adotada foi através do método de correlação de Pearson (Rencher, 2002).

### Aplicação do modelo de Streeter-Phelps

A capacidade de autodepuração do Rio Paciência foi estimada pelo modelo Streeter-Phelps (1925) conforme Von Sperling (2014) para a condição de contribuições múltiplas, com o lançamento pontual de esgoto (nas proximidades dos pontos P1, P2 e P3) e contribuições de afluentes (Riacho Itapiracó e Rio Turu) nas imediações dos pontos P3 e P4 (Figura 3). Foram estimadas a concentração e déficit de oxigênio no Rio Paciência após mistura com efluentes (esgoto e tributário); a concentração de  $DBO_5$  e da  $DBO_u$  no Rio Paciência após a mistura com esgoto e tributário; e, a curva de depleção do oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio em função da distância no tempo.



Nota: O ponto P1, no município de São Luís, localiza-se no bairro Jardim São Cristóvão, na Av. Lourenço da Silva. No seu entorno encontram-se academia de ginástica, postos de combustíveis, restaurantes e bares. O ponto P2, no município de São José de Ribamar, localiza-se na BR-135, conhecida Estrada de Ribamar. No entorno desse ponto, encontram-se postos de combustíveis, escolas e condomínios, como Village do Bosque II, além, de conveniências, de loja de autopeças, dentre outros serviços. O ponto P3, no município de Paço do Lumiar, localiza-se na Rua São Pedro, na Vila Maioba do Jenipeiro, nas proximidades da Escola de Futebol Fluminense. Já o ponto P4, localiza-se na Rua Principal da Pindoba, próximo Valparaiso Adventure Park. O ponto P5, localiza-se nas proximidades do porto Mocajutuba, no município de Paço do Lumiar. O ponto P6, localiza-se no bairro Iguaiá no município de Paço do Lumiar, na Rua do Porto da Salina.

**Figura 3** - Localização dos pontos de coleta à montante dos pontos de mistura no Rio Paciência.

A demanda última de oxigênio foi calculada de acordo com Von Sperling (2014) considerando a Equação (1), em que:  $DBO_u$  = demanda última de oxigênio, logo após a mistura ( $mg.L^{-1}$ );  $DBO_5$  = concentração de  $DBO_5$ , logo

após a mistura ( $mg.L^{-1}$ );  $DBO_r$  = concentração de  $DBO_5$  do rio ( $mg.L^{-1}$ );  $DBO_e$  = concentração de  $DBO_5$  do esgoto ( $mg.L^{-1}$ ); e,  $K_t$  = constante para transformação da  $DBO_5$  em  $DBO_u$  (-).

$$DBO_u = DBO_{50} \cdot K_T = \frac{(Q_r \cdot DBO_r + Q_e \cdot DBO_e)}{Q_r + Q_e} \cdot K_T \quad (1)$$

O  $K_T$  foi determinado através da Equação (2), em que, utilizou-se o coeficiente de desoxigenação –  $K_1$  ( $\text{dia}^{-1}$ ), obtido em condições controladas em laboratório, e que depende das características da matéria orgânica, temperatura e presença de substâncias inibidoras.

$$K_T = \frac{1}{1 - e^{-5 \cdot K_1}} \quad (2)$$

Foram considerados, valores típicos tabelados de  $K_1$ , para esgoto bruto concentrado, variando de 0,35 a 0,45 ( $\text{dia}^{-1}$ ). O coeficiente de desoxigenação ( $K_1$ ) foi corrigido para a temperatura de  $K_{1T}$ , por meio da metodologia de Arrhenius (1889) modificada por Streeter-Phelps (1925), como descrito na Equação (3) (Queiroz et al., 2015), em que:  $K_{1T} = K_1$  a uma temperatura  $T$

$$K_{1T} = K_1 \cdot \theta^{(T-20)} \quad (3)$$

$$Ct = C_s - \left[ \frac{K_d \cdot DBO_u}{K_2 - K_d} \cdot (e^{-K_d \cdot t} - e^{-K_2 \cdot t}) + (C_s - C_0) \cdot e^{-K_2 \cdot t} \right] \quad (4)$$

O valor do coeficiente de reaeração ( $K_{2(20)}$ ) adotado foi em relação a rios com baixa velocidade, à temperatura de 20°C, conforme Fair et al. (1973) e Arceivala (1981), variando de 0,37 (corpo d'água com profundidade rasa) a 0,23 (para corpos d'água com profundidade profunda). O valor de  $K_2$  foi corrigido à temperatura de  $K_{2T}$ , igualmente ao coeficiente  $K_1$  por meio da metodologia de Arrhenius (1889), conforme Equação 3.

Foi empregado o valor de  $K_d$  em função da vazão do Rio Paciência para cada trecho de estudo, por meio da Equação (5), segundo Von Sperling (2014), em que:  $Q = \text{vazão}$  ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) para profundidades  $H$  entre 0,3 e 10 m e vazões entre 0,15 e 250  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

$$K_d = 1,8 \times Q^{-0,49} \quad (5)$$

A velocidade do fluxo dos trechos em estudo

qualquer ( $\text{dia}^{-1}$ );  $K_{1(20)} = K_1$  à temperatura de 20°C ( $\text{dia}^{-1}$ );  $T =$  temperatura do líquido (°C);  $\theta =$  coeficiente de temperatura (-) igual a 1,024.

$$K_{1T} = K_{1(20)} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (3)$$

O perfil do OD em função do tempo foi determinado segundo o modelo Streeter-Phelps (1925), dado pela Equação (4), em que:  $C_t =$  concentração de OD no tempo;  $C_o =$  concentração de oxigênio logo após a mistura ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ );  $DBO_u =$  demanda última de oxigênio logo após a mistura ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ );  $K_d =$  coeficiente de decomposição da DBO no rio no tempo ( $\text{dias}^{-1}$ );  $K_2 =$  coeficiente de reaeração ( $\text{dia}^{-1}$ );  $t =$  tempo de percurso (dias);  $C_s =$  concentração máxima ou de saturação de oxigênio ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ).

foi determinada com o auxílio de um molinete Modelo CPD-20, e a batimetria do Rio Paciência foi realizada nos pontos P1, P2, P3 e P4, com uma sonda Sonar, modelo *Garmim Striker*. A vazão foi calculada de acordo Santos et al. (2001), conforme Equação (6), em que:  $Q =$  vazão ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ );  $A =$  área do rio (média das distâncias entre as margens multiplicada pela profundidade média do canal) em metro.

$$Q = V \cdot A \quad (6)$$

Na calibração do modelo, foram ajustados os coeficientes de desoxigenação ( $K_1$ ), decomposição ( $K_d$ ) e reaeração ( $K_2$ ) conforme Von Sperling (2014). Sequencialmente, foi calculado o Coeficiente de Determinação (CD), e o Erro Relativo. Além disso, o modelo foi avaliado através do erro absoluto entre os valores de OD e DBO estimados e os observados em campo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão estruturados da seguinte maneira, relacionando-se: a qualidade das águas do Rio Paciência, em termos físico-químicos e microbiológicos, com aplicação de análise multivariada dos dados e a estimava da capacidade de autodepuração do rio Paciência, para os períodos chuvoso e seco na região.

### Qualidade das águas do Rio Paciência

Os resultados qualitativos das águas do Rio Paciência para o mês de maio (período chuvoso) e novembro (período seco) do ano de 2022, para os pontos estudados P1, P2, P3, P4, P5 e P6 podem ser observados na tabela 1. Na figura 4,

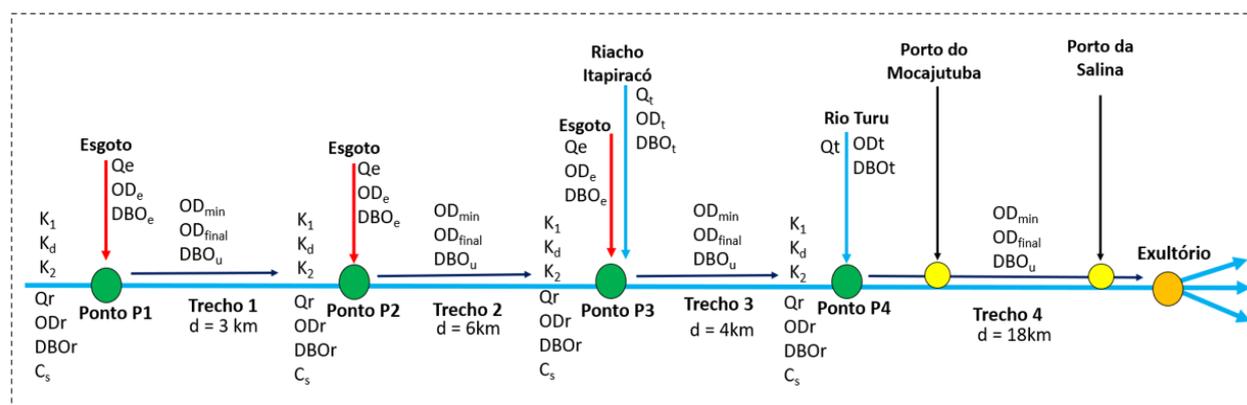
localiza-se cada ponto, com destaque para os pontos de mistura, em que foram realizadas as coletas de amostras para análise nos períodos citados, bem como, os pontos de lançamento de esgoto, e, os pontos à montante do ponto de lançamento de esgoto e pontos afluentes, em que foram realizadas coletas de amostras para a estimativa de carga pontual e autodepuração do Rio Paciência.

Verifica-se a partir dos resultados que o Rio Paciência apresenta características térmicas similares em toda sua extensão. Em média, no mês de maio, a temperatura do Rio Paciência se manteve

**Tabela 1 - Qualidade das águas do Rio Paciência para os meses de maio e novembro de 2022.**

Pontos		Temperatura (° C)	pH	Turbidez (NTU)	SDT (mg.L <sup>-1</sup> )	Condutividade elétrica (µS.cm <sup>-1</sup> )	OD (mg.L <sup>-1</sup> )	DBO (mg.L <sup>-1</sup> )
P1	Maio	27,80	8,08	4,20	187,00	287	3,30	7,20
	Nov.	30,90	7,40	4,20	188,00	239	2,40	5,21
P2	Maio	27,90	7,95	13,00	203,00	255	5,80	12,74
	Nov.	29,10	7,40	13,00	208,00	254	1,50	3,21
P3	Maio	27,60	8,10	82,00	152,00	180	5,00	10,97
	Nov.	29,10	7,20	83,00	140,00	183	2,40	5,21
P4	Maio	27,60	8,23	37,00	170,00	233	4,00	8,75
	Nov.	27,90	7,00	37,00	183,00	235	4,00	8,75
P5	Maio	29,40	8,32	115,00	212,00	254	4,80	10,53
	Nov.	29,50	7,40	115,00	220,00	260	4,50	9,86
P6	Maio	30,80	8,33	83,00	147,00	209	5,70	12,52
	Nov.	30,90	7,80	85,00	150,00	210	4,60	10,08
Pontos		Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	Nitrogênio Total (mg.L <sup>-1</sup> )	Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	Coliforme Total (UFC/100 ml)	<i>Escherichia Coli</i> (UFC/100 ml)	
P1	Maio	0,95	4,61	0,01	0,35	1.500	640	
	Nov.	1,53	33,7	0,01	0,35	1.600	620	
P2	Maio	1,28	1,81	0,01	0,30	1.200	1.200	
	Nov.	2,12	32,83	0,01	0,30	2.160	2.400	
P3	Maio	1,44	1,82	0,02	0,61	480	420	
	Nov.	1,67	20,21	0,02	> 2,5	1.542	530	
P4	Maio	2,37	2,69	0,01	0,89	1.200	240	
	Nov.	1,16	20,99	0,01	0,89	1.200	800	
P5	Maio	3,54	4,12	0,02	1,25	512	410	
	Nov.	1,23	25,00	0,02	> 2,5	1.200	720	
P6	Maio	3,35	4,52	0,02	1,25	520	420	
	Nov.	1,09	18,09	0,02	> 2,5	1.200	645	

Nota: UFC (Unidade Formadora de Colônia).



Nota:  $Q_e$  = vazão do esgoto ( $m^3.s^{-1}$ );  $Q_r$  = vazão do rio ( $m^3.s^{-1}$ );  $OD_e$  = Oxigênio Dissolvido no esgoto;  $DBO_e$  = Demanda Bioquímica no Esgoto ( $mg.L^{-1}$ );  $OD_r$  = Oxigênio Dissolvido no rio ( $mg.L^{-1}$ );  $OD_{min}$  = Oxigênio Dissolvido mínimo permitido no trecho;  $OD_{final}$  = Oxigênio Dissolvido ao final do trecho ( $mg.L^{-1}$ );  $DBO_r$  = Demanda Bioquímica de Oxigênio no rio ( $mg.L^{-1}$ );  $DBO_u$  = Demanda última de Oxigênio ( $mg.L^{-1}$ );  $K_d$  = coeficiente de decomposição ( $dia^{-1}$ );  $C_s$  = concentração máxima ou de saturação de oxigênio ( $mg.L^{-1}$ );  $d$  = comprimento do trecho (km).

**Figura 4 - Dados de entrada e saída do modelo Streeter-Phelps para o Rio Paciência.**

em 28,51 °C. No mês de novembro, foi verificada uma amplitude de temperatura de 3,3 °C, com variação entre 27,6 e 30,9 °C. Nesse contexto, segundo Von Sperling (2005), a temperatura da água pode variar em função de fontes naturais e de lançamento de efluentes domésticos e/ou industriais. A temperatura é um importante parâmetro e deve ser avaliado em conjunto com outras variáveis, ao considerar que isso influencia nas

reações químicas.

O pH apresentou leve tendência de crescimento do alto para o baixo curso da bacia, com valor médio variando de 7,71 a 7,96. Para Maier (1987), o pH nas águas dos rios brasileiros varia de neutro a ácido e pode se alterar ao longo de um rio. Um exemplo dessa variação, segundo Silva et al. (2008), é o rio Amazonas que apresenta elevação gradativa do pH, de 4,0, no

seu alto curso, até o seu máximo 7,8, no seu baixo curso, em sua foz, em águas marinhas. De forma geral, as águas do Rio Paciência evidenciaram tendência levemente ácida a alcalina, variando de 6,0 a 9,0, intervalo de maior tolerância da maioria das espécies de peixe para água doce (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008)

No que diz respeito aos resultados de oxigênio dissolvido - OD, segundo Libânio (2010), em termos de corpos d'água, a solubilidade do OD varia com a altitude e com a temperatura. Ao nível do mar, na temperatura de 20°C, a concentração de saturação para água limpa é igual a 9,2 mg.L<sup>-1</sup>. Valores em torno de 4 a 5 mg.L<sup>-1</sup> culminam na morte de peixes mais exigentes. No mês de novembro, os valores mais baixos foram registrados no alto e no médio curso do rio: no ponto P1 (2,4 mg.L<sup>-1</sup>) no ponto P2 (1,5 mg.L<sup>-1</sup>) e no ponto P3 (2,4 mg.L<sup>-1</sup>). Esses valores estão associados, possivelmente, aos despejos de efluentes domésticos, uma vez que esses trechos do rio concentram os setores mais urbanizados da bacia.

A DBO é um parâmetro indicativo da presença de matéria orgânica na água. Ela é utilizada para verificar a saúde de determinado corpo d'água e representa a quantidade de oxigênio consumido por microrganismos presentes em determinado corpo d'água (Rosa et al., 2020). Neste aspecto, Silva e Porto (2003) atribuem as altas taxas de DBO em um corpo hídrico urbano à carga difusa mobilizada pelo escoamento superficial da bacia, lançamentos clandestinos e pontuais de esgotamento sanitário. No caso do Rio Paciência, os valores variaram entre 3,21 mg.L<sup>-1</sup> e 12,52 mg.L<sup>-1</sup>.

Em maio, os maiores valores de DBO registrados ocorreram nos pontos P2 (12,74 mg.L<sup>-1</sup>) e P6 (12,52 mg.L<sup>-1</sup>). Nas proximidades do ponto P2, foi identificado o lançamento *in natura* de esgoto doméstico, além de contribuições difusas procedentes dos bairros Jardim São Cristovão III, Ipem São Cristovão, Condomínio Vitória, entre outros. O ponto P6, no baixo curso, concentra todas as águas oriundas de todo o escoamento ao longo da bacia, além disso, nessa região, o sistema de saneamento doméstico é realizado predominantemente por fossas sépticas.

No que concerne à turbidez das águas, foi verificado que as chuvas tiveram pouca interferência no comportamento desse parâmetro, já que dentro de diferentes sazonalidades

para o mesmo ponto, essa variação foi muito discreta (2 NTU). Tal parâmetro, traduz entre outros aspectos, a capacidade da água em dispersar a radiação solar e tolerar a influência direta dos sólidos em suspensão. O material suspenso impede que o feixe de luz solar penetre na água, reduzindo a fotossíntese da vegetação submersa e das algas (Tavares, 2005).

Valores de turbidez acima de 100 NTU foram registrados no ponto P5 (Porto do Mocajutuba), no baixo curso da bacia, local de grande movimentação de embarcações, o que aumenta a possibilidade de revolvimento de sedimentos das margens e fundo do rio, o que pode contribuir para os valores elevados registrados nos meses de maio e novembro. Ainda, tanto o ponto P5 (Porto Mocajutuba) quanto o ponto P6 (Porto da Salina), por se localizarem no baixo curso, especificamente na foz do Rio Paciência, estão sujeitos à influência de maré.

Os sólidos dissolvidos totais (SDT) correspondem aos resíduos que passam através de um filtro de porosidade de 0,45 µm. Sua concentração normalmente é proporcional à condutividade e à salinidade presentes na amostra (Baumgarten & Pozza, 2001). Na bacia hidrográfica em estudo, esse parâmetro variou de 140 mg.L<sup>-1</sup> a 220 mg.L<sup>-1</sup>. Importante destacar que os SDT são compostos menores que 2µm, logo, inseridos na categoria de coloides, incluindo íons (principalmente de cálcio, magnésio, potássio, sódio, bicarbonato, cloreto e sulfato) e pequenas quantidades de matéria orgânica dissolvida. Em ambientes poluídos, esses compostos estão presentes em efluentes domésticos e industriais que apresentam predominantemente matéria em estado coloidal.

Os valores de SDT, na maioria dos pontos, tiveram maior concentração no mês de novembro (período seco). Compreende-se que concentrações elevadas de SDT no período mais seco são explicadas pelo uso e ocupação do solo nas imediações do ponto de coleta e pelos lançamentos pontuais de efluentes domésticos. Os valores mais elevados foram no ponto P2 (208 mg.L<sup>-1</sup>), no alto curso, e no ponto P4 (183 mg.L<sup>-1</sup>), no médio curso. Esses pontos se localizam no setor mais urbanizado da bacia, com presença significativa de atividades geradoras de efluentes domésticos.

No baixo curso, o ponto P5 (Porto Mocajutuba) destaca-se com uma concentração de 220 mg.L<sup>-1</sup>. Neste setor da bacia, além do

porto, o uso e ocupação do solo é predominantemente voltado para áreas com vegetação secundária, com presença de propriedades rurais de hortifruticultura e ineficiência dos sistemas de esgotamento sanitário (fossas sépticas, valas, entre outros).

No ponto P3, notou-se uma inversão na concentração de SDT, dado que ocorreu uma maior concentração no mês chuvoso ( $152 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e uma menor concentração no mês seco ( $140 \text{ mg.L}^{-1}$ ), comparativamente aos outros pontos de monitoramento nos quais a maior concentração ocorreu no mês seco e a menor no mês chuvoso. No P3, apesar de ter sido identificado o lançamento pontual de efluentes domésticos, o que deveria contribuir para o aumento da concentração de SDT, observou-se o menor valor no curso do Rio Paciência. Isso aguçou a percepção de que a coleta de amostras no médio curso se deu nos horários de menor demanda de água para abastecimento.

No que tange a condutividade elétrica (CE), a Resolução CONAMA n.º. 357 (Brasil, 2005) não estabelece limites para esse parâmetro. Todavia, mesmo sem ser utilizada como um parâmetro restritivo de potabilidade no Brasil, ele é indicativo das condições hidroquímicas básicas da qualidade de corpo hídricos, principalmente, em análise de água de baixo custo (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008). De acordo com Esteves (2011) e Von Sperling (2005), nas regiões tropicais, a CE está relacionada às características geoquímicas regionais e condições climáticas (periodicidade de precipitações). Além disso, o uso do solo pode modificar diretamente a composição química da água de corpos hídricos.

No Rio Paciência, os registros da CE variaram de  $180 \mu\text{S.cm}^{-1}$  a  $287 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , com média igual a  $235 \mu\text{S.cm}^{-1}$ . A média no mês de maio ( $236 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ) foi discretamente superior à do mês de novembro ( $230 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ). No alto curso da bacia, foi registrado o maior valor de CE no período chuvoso e isso se deve aos horários de coleta que foram realizados no início da manhã, coincidente com a maior demanda por abastecimento de água. Em contrapartida, nos pontos P3 e P4, onde eram esperados valores mais elevados, devido a identificação de lançamentos de esgoto *in natura*, os valores de CE ficaram, para P3, próximos de  $180 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , e para P4, próximos de  $233 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , provavelmente relacionados aos horários de maior demanda por abastecimento por água.

No baixo curso, os valores de CE no ponto P5 podem estar associados ao uso e ocupação do solo no médio curso da bacia (setor mais urbanizado), por causa da influência antrópica - principalmente pelo lançamento de efluentes domésticos - e da herança das CE's dos pontos P3 e P4, com tendência de elevação devido a influência de maré. No P6, no entanto, observou-se uma tendência de queda de condutividade elétrica, isso provavelmente relaciona-se a lançamentos pontuais e/ou difusos, que podem ter diminuído a temperatura das águas e favorecido a diminuição da CE. Segundo Silva et al. (2008), a condutividade elétrica da água aumenta com a temperatura. Se o rio estiver mais frio do que o mar, a condutividade pode ter diminuído temporariamente devido à influência térmica, principalmente no período chuvoso, como observado no ponto P6.

No Rio Paciência o fósforo total, variou de  $0,95 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $3,54 \text{ mg.L}^{-1}$ . Os maiores valores foram observados no mês de maio nos pontos P4, P5 e P6, respectivamente, de  $2,37 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $3,54 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $3,35 \text{ mg.L}^{-1}$ . Nas proximidades do ponto P4, ocorre a confluência do Rio Turu com o Rio Paciência, com o escoamento proveniente do bairro Parque Vitória, bem como de outros bairros: Residencial Pinheiros, Altos do Turu, Miritiua e Conjunto Habitacional Turu. Já no entorno dos pontos P5 e P6, no baixo curso da bacia, ocorrem áreas de horticultura e de pequenos rebanhos de caprinos, suínos e bovinos de criadores locais.

No que concerne ao nitrogênio, em águas superficiais ele ocorre de diversas formas. Conforme Vieira (2017), pode ser encontrado como: nitrogênio molecular ( $\text{N}_2$ ), escapando para a atmosfera, nitrogênio orgânico (dissolvido ou em suspensão), amônia (livre  $\text{NH}_3$  e ionizada  $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Os esgotos domésticos constituem a principal fonte desse elemento químico, notadamente, na forma de nitrogênio orgânico (devido à presença de proteínas) e nitrogênio amoniacal. Os esgotos sanitários apresentam, normalmente, de 20 a 85  $\text{mg.N.L}^{-1}$ , dos quais, 8 a 35  $\text{mg.N.L}^{-1}$  são de nitrogênio orgânico e de 12 a 50  $\text{mg.N.L}^{-1}$ , de nitrogênio amoniacal (Metcalf & Eddy, 1991). Na pesquisa em curso, as espécies de nitrogênio foram consideradas na forma de nitrito, nitrato e nitrogênio Total.

A Resolução CONAMA n.º. 357 (Brasil, 2005) não dispõe sobre os padrões para coliforme

total, sendo utilizado os coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, como indicador para avaliar a qualidade microbiológica da água, destacando que a escolha de ambos ou apenas de um fica a critério do órgão ambiental competente (BRASIL, 2005). Conforme o instrumento normativo supracitado, para águas de Classe II, a concentração na água não deverá exceder 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral (BRASIL, 2005, p. 63). Na área de estudo, as maiores concentrações de *Escherichia coli* foram registradas, notadamente, no mês de novembro: no alto curso, ponto P2 (2.400 UFC/100 ml); no médio e baixo curso, nos pontos P4 (800 UFC/100 ml) e P5 (750 UFC/100 ml), respectivamente.

#### **Análise multivariada – PCA e HCA**

A partir da Análise de Componentes Principais (PCA) dos parâmetros da qualidade das águas, foram identificados padrões hidroquímicos predominantes, a variação e a correlação entre os parâmetros estudados. Os 13 parâmetros

analisados em cada um dos 6 pontos, ao longo do Rio Paciência, foram organizados em cinco componentes principais, que explicam a variância total dos dados de qualidade das águas em cada período. Nesse sentido, segundo Gotelli & Ellison (2011), a maioria da variação dos dados é capturada pela primeira componente principal (CP1) e pela segunda componente principal (CP2) podendo-se descartar as demais componentes que explicam a variância residual.

Nessa conjuntura, na análise dos dados do mês de maio de 2022 (Tabela 2), a componente principal CP1, representou 51,64% da variância dos parâmetros, e a CP2, explicou 23,97%, resultando em uma variância total dos dados de aproximadamente de 76% para o período chuvoso. Na CP1, os parâmetros temperatura, Ph, turbidez, fósforo total, nitrito, nitrato e coliforme total apresentaram maior peso, no conjunto de dados, com maior influência na variância dos dados nessa componente. Na CP2, os parâmetros OD, DBO, nitrogênio total e *Escherichia coli* destacam-se, com peso superior a 0,3, com maior influência na variação dos dados dessa componente.

**Tabela 2** - Peso de cada parâmetro na composição da Componente Principal (CP) para o mês de maio de 2022. Em negrito, os parâmetros com maior peso ( $\geq 0,3$ ), assim como, o autovetor e a porcentagem correspondente a variância da CP no conjunto de dados.

Parâmetros	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Temperatura	<b>0,303</b>	0,040	0,350	0,417	-0,074
pH	<b>0,329</b>	0,276	0,026	0,020	0,271
Turbidez	<b>0,356</b>	-0,025	0,001	-0,389	-0,208
SDT	-0,148	0,081	0,514	-0,633	0,022
Condutividade	-0,228	0,298	0,444	-0,070	-0,046
OD	0,164	<b>-0,466</b>	0,247	0,138	0,161
DBO	0,164	<b>-0,466</b>	0,247	0,137	0,160
Fósforo Total	<b>0,337</b>	0,126	0,223	-0,085	0,439
Nitrogênio Total	0,122	<b>0,423</b>	0,277	0,375	-0,417
Nitrito	<b>0,344</b>	-0,103	-0,042	-0,146	-0,575
Nitrato	<b>0,350</b>	0,221	0,001	-0,042	0,230
Coliformes Total	<b>-0,346</b>	0,202	0,053	0,225	0,211
<i>Escherichia coli</i>	-0,236	<b>-0,311</b>	-0,403	0,098	-0,170
Autovalor	6,71	3,11	1,86	0,84	0,46
% Variância	51,64	23,97	14,35	6,53	3,53

No *biplot* (Figura 5a), no Quadrante I, nas proximidades dos pontos P5 e P6, observa-se uma correlação direta entre nitrogênio total, Ph, nitrato, fósforo total e temperatura, com destaque para a forte correlação entre pH, nitrato e fósforo total. Em ambientes aquáticos sob condição alcalina, com pH superior a 8, os nitratos encontram-se dissolvidos, porém, as formas amoniacais se tornam mais prevalentes e podem ser perdidas por volatilização, como ocorre na maioria dos pontos estudados (Esteves, 2011; Palácio, 2020).

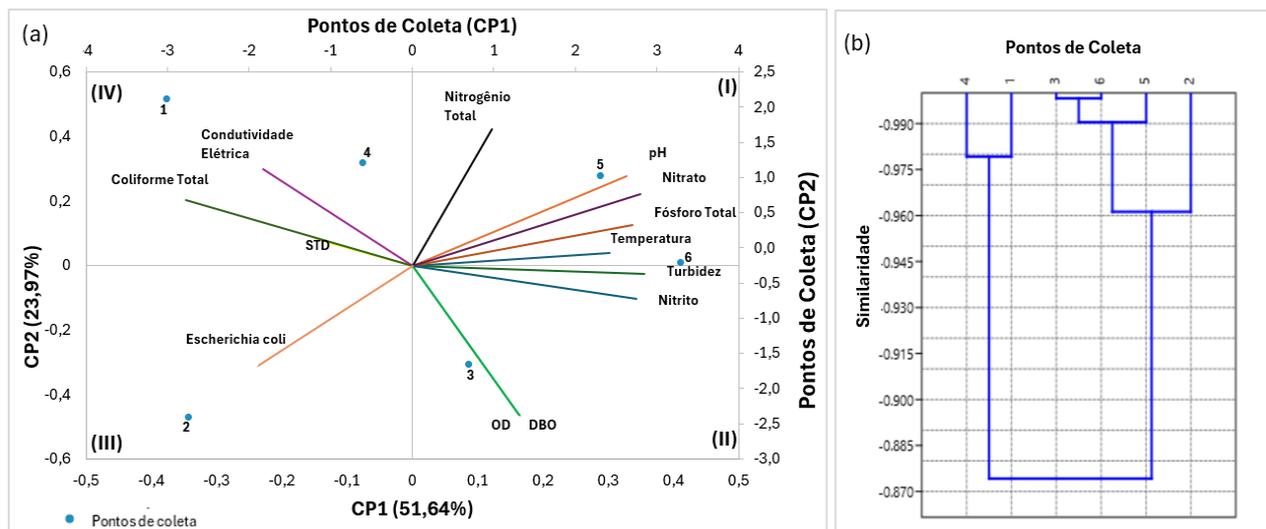
Com relação ao fósforo total e o nitrato, eles têm origem nas atividades agropecuárias (presentes em fertilizantes químicos, em estrumes e adubos orgânicos), e no lançamento de esgotos domésticos e/ou industriais. No entorno do ponto P5, foram registradas atividades agropecuárias, com hortifruticulturas e áreas com criações de caprinos e suínos. Além disso, neste ponto localiza-se o porto do Mocajutuba, onde se observou o descarte de resíduos de pescado.

Observa-se, na figura 5a, que próximo ao

ponto P5, em termos hidroquímicos, existe uma correlação inversa ao ponto P2, para os parâmetros pH, nitrato e *Escherichia coli*. Embora não haja uma relação direta de causa e efeito entre nitrato e *Escherichia coli*, ambos frequentemente coexistem em ambientes poluídos. Tanto o nitrogênio quanto a presença de *Escherichia coli* podem indicar poluição de origem por efluentes domésticos, sugerindo a presença de esgoto *in natura* ou inadequadamente tratado.

No Quadrante II, verifica-se uma forte correlação entre o OD e a DBO. Compreende-se

que a DBO é uma medida do oxigênio consumido por microrganismos ao decompor matéria orgânica, seus níveis elevados indicam uma maior quantidade de matéria orgânica que precisa ser decomposta, o que resulta em maior consumo de oxigênio. Neste sentido, observa-se que nas proximidades do ponto P3, os vetores que representam OD e DBO se sobrepõem e possuem tamanhos aproximados, o que indica similaridade e representatividade na caracterização química das águas nesse ponto, ou seja, quanto um parâmetro aumenta o outro diminui na mesma medida, e vice-versa.



**Figura 5** - Análise de Componentes Principais (ACP) para os dados físico-químicos e microbiológicos das águas do Rio Paciência para o mês de maio de 2022: (a) biplot, (b) dendrograma.

Observa-se, ainda, que ocorre uma correlação inversa da turbidez *versus* SDT e coliformes totais, assim como correlação inversa entre OD e DBO *versus* condutividade elétrica. A correlação entre turbidez e SDT já era esperada, considerando que quando a turbidez das águas é mais evidente, menor será a concentração de SDT, e vice-versa. Também se observa, que o parâmetro coliforme total tem correlação inversa com o OD e DBO. De forma geral, a presença de coliformes totais na água pode ser fator para o aumento da DBO, e consequente diminuição do OD, ou seja, os microrganismos, incluindo os coliformes, que estão presentes na água degradam a matéria orgânica, e nesse processo há um aumento na DBO e diminuição do OD.

No dendrograma (Figura 5b), são delineados agrupamentos hierárquicos confirmando a similaridade entre os pontos de coleta no mês de maio. O primeiro agrupamento é formado pelos pontos P1 e P4, onde a similaridade bioquímica das águas é ditada pelos parâmetros coliforme total, SDT e condutividade elétrica. Importante

ressaltar, que em ambientes aquáticos a presença de coliforme total indica a contaminação fecal da água, que pode estar acompanhada pelo aumento de SDT, em particular de compostos orgânicos e/ou nutrientes. Essa situação pode influenciar na condutividade elétrica da água.

Neste contexto, as condições das águas no P1 e P4 favorecem a similaridade bioquímica observada, com o lançamento pontual de esgoto doméstico no ponto P1, e confluência do Rio Turu com o Rio Paciência, nas proximidades do ponto P4, que retrata o escoamento superficial de bairros populosos, como: Residencial Pinheiros, Altos do Turu, Miritiua e Conjunto Habitacional Turu, dentre outros.

O segundo agrupamento no dendrograma é constituído pelos pontos P2, P3, P5 e P6, com maior proximidade entre os pontos P3 e P6, resultando em maior similaridade dos parâmetros turbidez, nitrito, OD e DBO. Já os parâmetros nitrogênio total, pH, nitrato, fósforo total e temperatura são predominantes na caracterização hidroquímica do ponto P5, mais do que, nos

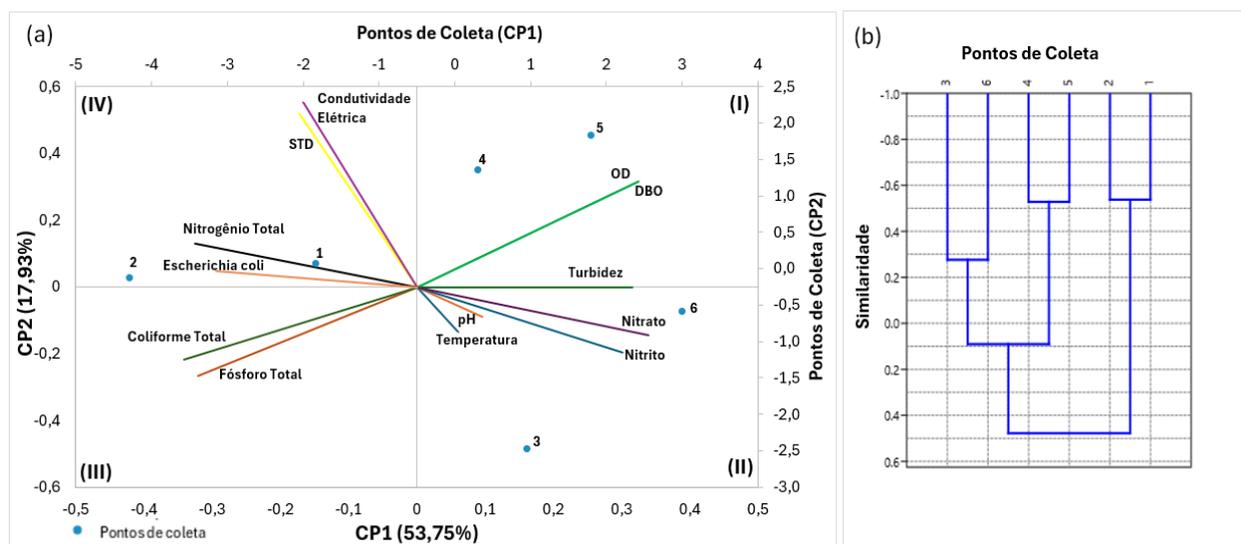
demais pontos desse grupo. O ponto P2, apesar de fazer parte do segundo agrupamento, se encontra isolado, com as condições hidroquímicas ditadas pela *Escherichia coli*.

Na tabela 5 e na figura 6 observa-se o PCA para novembro de 2022. Na tabela 5 são evidenciados dois componentes principais para explicar a variância dos dados, sendo a CP1 (no eixo x) que explica 53,75%; e a CP2 (no eixo y), que explica 17,93%. Elas totalizam 72% da

variância total dos parâmetros analisados para o referido mês. Na CP1, os parâmetros turbidez, OD, DBO, fósforo total, nitrito, nitrato e coliforme total apresentaram maior peso, com maior influência na variância dos dados nessa componente. Na CP2, os parâmetros SDT, condutividade elétrica, OD e DBO se destacam, com pesos superiores a 0,3, indicando maior interferência na variância dos dados nessa componente.

**Tabela 5** - Peso de cada parâmetro na composição da Componente Principal (CP) para o mês de novembro de 2022. Em negrito, os parâmetros com maior peso ( $\geq 0,3$ ), assim como, o autovetor e a porcentagem correspondente a variação da CP no conjunto de dados.

Parâmetros	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Temperatura	0,061	-0,137	0,634	-0,332	0,197
pH	0,096	-0,090	0,660	-0,001	-0,381
Turbidez	<b>0,316</b>	0,000	0,048	0,481	0,182
SDT	-0,173	<b>0,520</b>	0,126	0,280	0,256
Condutividade Elétrica	-0,167	<b>0,554</b>	0,177	0,148	0,060
OD	<b>0,325</b>	<b>0,316</b>	0,031	-0,046	-0,216
DBO	<b>0,325</b>	<b>0,315</b>	0,031	-0,046	-0,215
Fósforo Total	<b>-0,320</b>	-0,266	0,033	0,308	0,077
Nitrogênio Total	<b>-0,325</b>	0,129	0,246	-0,077	0,428
Nitrito	<b>0,302</b>	-0,198	0,165	0,404	0,194
Nitrato	<b>0,340</b>	-0,145	0,052	0,314	0,177
Coliformes Total	<b>-0,341</b>	-0,218	0,111	0,207	-0,089
<i>Escherichia coli</i>	-0,295	0,047	0,085	0,384	-0,596
Autovalor	6,99	2,33	1,92	1,21	0,53
% Variação	53,75	17,93	14,82	9,34	4,15



**Figura 6** - Análise de Componentes Principais (ACP) para os dados físico-químicos e microbiológicos das águas do Rio Paciência para o mês de novembro de 2022: (a) *biplot*, (b) dendrograma.

Na figura 6, no *biplot*, são observadas fortes correlações diretas entre o OD, DBO, no Quadrante I; forte correlação entre pH, temperatura, nitrato e nitrito, no Quadrante II; forte correlação entre coliforme total e fósforo total, no Quadrante III; e, forte correlação entre nitrogênio total e *Escherichia coli*, bem como, dos SDT e condutividade elétrica, no Quadrante

IV. No entanto, entre os pares nitrogênio total e *Escherichia coli* e os SDT e condutividade elétrica as correlações são moderadas.

Verifica-se, uma correlação inversa entre OD e DBO com coliforme total e fósforo total. Nesse contexto, a correlação direta entre coliforme total e fósforo total indica poluição orgânica e excesso de nutrientes, que podem levar a baixos níveis de

OD e altos níveis de DBO. Outra correlação inversa observada está entre o par nitrogênio total e *Escherichia coli* e os parâmetros no Quadrante II, Temperatura, pH, Nitrato e Nitrito. Nessas correlações, a temperatura da água potencializa a taxa das reações físicas, químicas e biológicas, e em termos simples, o pH da água pode ser influenciado por sua temperatura devido à dissociação de moléculas de água em íons hidrogênio ( $H^+$ ) e hidróxido ( $OH^-$ ).

Ocorre uma relação inversa entre a turbidez (nas proximidades do ponto P6), nitrogênio total (nas proximidades do ponto P1) e *Escherichia coli* (nas proximidades do ponto P2). Nesse aspecto, importante destacar que ambientes aquáticos com altos níveis de turbidez podem favorecer sedimentação de bactérias, incluindo *Escherichia coli*, removendo-as da coluna d'água e reduzindo sua contagem. Isso ocorre porque as partículas podem atuar como superfícies para a adesão de bactérias, que subsequentemente se depositam no fundo do corpo d'água.

No que concerne aos agrupamentos, no mês de novembro foram identificados basicamente três, como observado no dendograma (Figura 6b), o primeiro entre os pontos P1 e P2, o segundo entre os pontos P4 e P5 e o terceiro entre o P3 e P6. Ocorre uma similaridade bioquímicas entre os pontos P1 e P3, mais significativas para os parâmetros nitrogênio total e *Escherichia coli* em forte correlação. Já entre pontos P4 e P5, as condições hidroquímicas são ditadas pelos parâmetros OD e DBO, e entre os pontos P3 e P6, pelos parâmetros turbidez, nitrato, nitrito, pH e temperatura.

Em síntese, é observado que ocorre maior variabilidade dos dados na ACP de maio (76%) do que na de novembro (72%), com maior influência dos parâmetros: temperatura, pH, turbidez, nitrito, nitrato, fósforo total e coliforme total na variância dos dados para o período chuvoso, como demonstrado na CP1 para o referido mês. Para o período seco (novembro), os parâmetros OD, DBO e nitrogênio total foram destaque na composição da CP1. Ainda para o mês de novembro, os parâmetros SDT e condutividade elétrica tiveram maior influência na variação total dos dados do que no mês de maio.

#### **Autodepuração do Rio Paciência**

A autodepuração do Rio Paciência foi estimada do alto para o baixo curso do rio, para os meses de abril e dezembro de 2023, a partir do ponto P1, que recebe lançamento de esgoto domé-

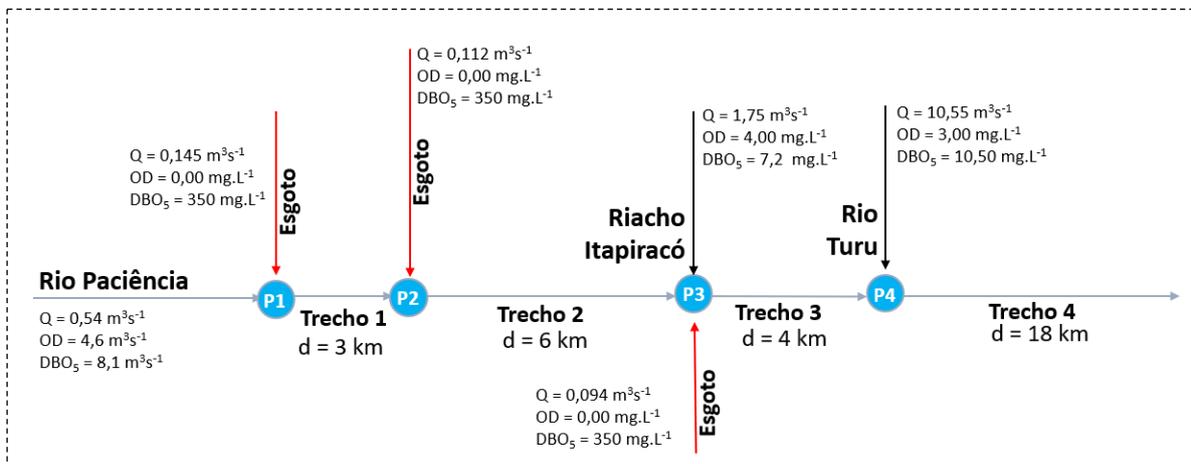
tico, ao longo de um trecho de aproximadamente 3 km, até as proximidades do ponto P2. A partir desse ponto, que recebe lançamento de esgoto, percorre-se um segundo trecho, de cerca de 6 km, até as proximidades do ponto P3, que recebe também esgoto e a contribuição do Riacho Itapiracó. Desse ponto, seguindo um trecho em torno de 4 km, chega-se ao ponto P4, que recebe a contribuição do Rio Turu. Após esta confluência, o quarto trecho do Rio Paciência investigado, tem percurso até sua foz, cerca de 18 km.

Para a autodepuração, os coeficientes de desoxigenação ( $K_1$ ), decomposição ( $K_d$ ) e reaeração ( $K_2$ ) foram calibrados conforme Von Sperling (2014). No entanto, o comportamento das curvas OD *versus* DBO obteve melhor resultado com valores de  $K_1$ ,  $K_d$  e  $K_2$  tabelados e ajustados à temperatura da água em cada trecho. Além disso, considerou-se a velocidade do Rio Paciência e sua profundidade em cada ponto. Neste aspecto, há indícios de que, em algumas situações (rios não profundos), os valores tabelados segundo Fair et al. (1973) e Arceivala (1981) resultaram em melhores ajustes a dados medidos de OD do que os valores obtidos pelas fórmulas hidráulicas. Além disso, o ajuste mais adequado dos coeficientes de desoxigenação ( $K_1$ ), decomposição ( $K_d$ ) e reaeração ( $K_2$ ) se deu quando as curvas apresentaram melhor simetria no comportamento OD *versus* DBO<sub>5</sub>, considerando que, quando o OD se eleva, a DBO<sub>5</sub> naturalmente apresenta uma tendência ao decréscimo.

Foram utilizados para a estimativa, uma carga de DBO<sub>5</sub>, segundo Von Sperling (2014), de 350 mg.L<sup>-1</sup> ao considerar o pior cenário possível de carga orgânica para o esgotamento sanitário doméstico. Foram também utilizados, os valores de densidade demográfica (IBGE, 2022) para cada bairro inserido dentro da área de contribuição de cada um dos pontos estudados, visando a estimativa da vazão efluente de esgoto doméstico.

Nesse sentido, a figura 7, o diagrama hidrográfico do Rio Paciência demonstra o lançamento de esgotos e confluências ao longo de seu percurso, com dados de entrada para o modelo de autodepuração Streeter-Phelps, para o mês de abril, que inclui o período chuvoso na região.

Nos gráficos da autodepuração estimada para o Rio Paciência, para os meses de abril e dezembro, observa-se a evolução das curvas de OD *versus* DBO<sub>5</sub>, bem como, o limite estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 357 de 2005



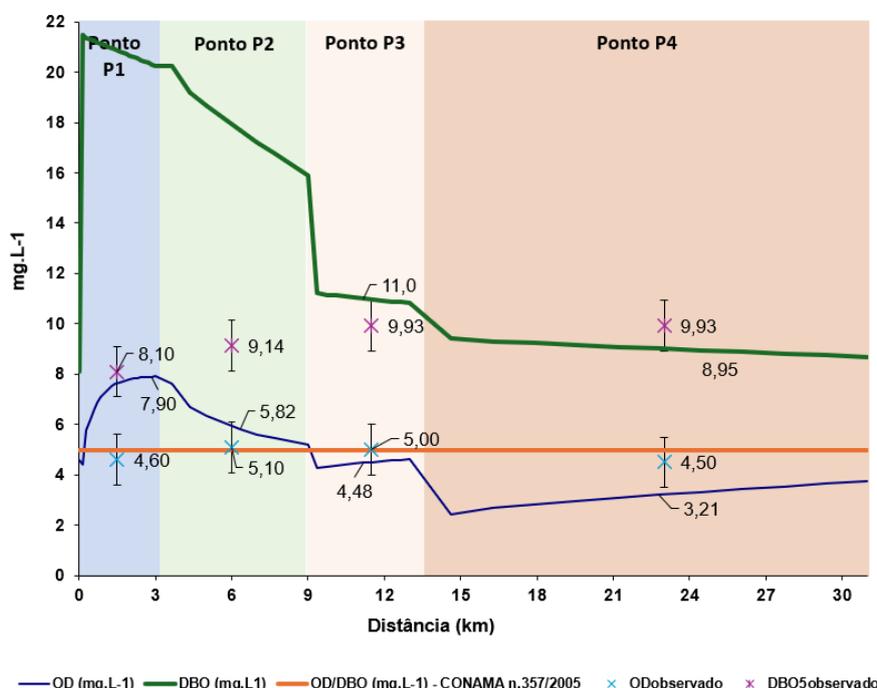
**Figura 7** - Diagrama hidrográfico do Rio Paciência do mês de abril de 2023 para o lançamento de esgoto e confluências com o Riacho Itapiracó e Rio Turu ao longo de seu percurso.

para o OD (valor mínimo de 5 mg.L<sup>-1</sup>) e DBO (valor máximo de 5 mg.L<sup>-1</sup>) com referência a Classe 2 para águas doces com qualidade capaz de atender ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças e frutíferas e à criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana. Além disso, são plotados os valores observados de oxigênio dissolvido (OD<sub>obs</sub>) e demanda última (DBO<sub>obs</sub>) nos pontos de mistura em cada trecho.

Para o mês de abril (Figura 8), no trecho P1 (+ 3 km), o OD apresentou um crescimento de 4,60 mg.L<sup>-1</sup> até 7,90 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto, a DBO<sub>5</sub> iniciou o trecho com 8,1 mg.L<sup>-1</sup>, e teve um crescimento razoável até 21 mg.L<sup>-1</sup>, a uma distância aproximada de 1 km, finalizando o trecho com

20,2 mg.L<sup>-1</sup>. No trecho P2 (+ 6 km), a uma distância de 4 km do início do percurso do ponto P1, o OD começou a decrescer, à valores médios de 5,81 mg.L<sup>-1</sup>. Igualmente, a DBO<sub>5</sub> decresceu até 15,9 mg.L<sup>-1</sup>, ao final do trecho.

Santos et al. (2020) aplicaram o modelo de Streeter-Phelps na microbacia do Rio Irurá, em Santarém (PA), identificando seções com níveis críticos de oxigênio dissolvido (OD), cujas concentrações diminuíram à medida que a distância em relação aos pontos de lançamento de efluentes aumentou. Essa conclusão é semelhante à de Gonçalves et al. (2012), para o córrego São Simão, em São Paulo (SP), que observaram um prolongamento da curva de autodepuração durante o período chuvoso, contrastando com os resultados obtidos para o período seco.



**Figura 8** - Curva de autodepuração do Rio Paciência para o mês de abril de 2023.

No início do trecho P3 (+ 4 km), a uma distância de 9,4 km do início do percurso no ponto P1, o valor de OD teve um decréscimo moderado, variando de 5,22 mg.L<sup>-1</sup> a 4,26 mg.L<sup>-1</sup>. Por outro lado, a DBO<sub>5</sub> teve um declínio razoável, alterando de 15,9 mg.L<sup>-1</sup> a 8,6 mg.L<sup>-1</sup>. Nesse trecho, além do lançamento de esgoto doméstico, ocorre a confluência do Riacho Itapiracó, que recebe o escoamento proveniente de bairros como: Alto Turu, Vila São José, Vila Maioba do Jenipapeiro, e de diversos condomínios da região com o Rio Paciência.

Já no trecho P4 (+ 18 km), logo no início, entre as distâncias de 13 e 15 km, ocorreu um declínio do OD, de 4,45 mg.L<sup>-1</sup> para 2,49 mg.L<sup>-1</sup>, com um aumento da DBO de 8 mg.L<sup>-1</sup> para 8,45 mg.L<sup>-1</sup>. Nesse trecho, o Rio Paciência recebe contribuições do Rio Turu, seu principal afluente, com escoamento advindo dos bairros Residencial Pinheiros, Altos do Turu, Miritiua, Conjunto Habitacional Turu, dentre outros. Ademais, nesse trecho, o Rio Paciência, recebe igualmente escoamentos superficiais originários dos bairros Vila Luizão, Parque Jair e Vila Pirâmide, entre outros. Verifica-se, portanto, que a maior DBO<sub>5</sub> ocorreu imediatamente no início do trecho, e que decaiu ao longo do percurso, e finalizando com 6,31 mg.L<sup>-1</sup>. O OD, praticamente se manteve com 2,38 mg.L<sup>-1</sup>, finalizando o trecho com 2,41 mg.L<sup>-1</sup>.

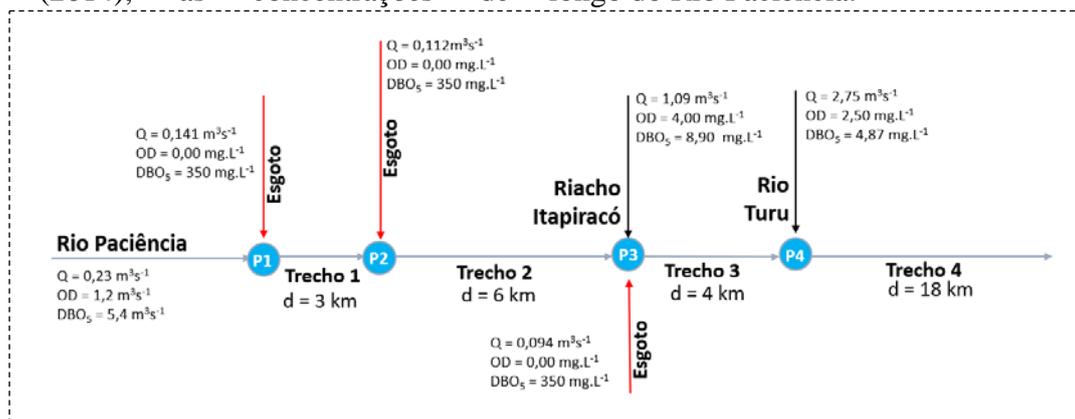
Diante do exposto para o mês de abril, compreende-se, que o aumento da vazão do Rio Paciência, não é resultante apenas do escoamento gerado pelas chuvas, mas também, da confluência do Riacho Itapiracó, que contribuiu para transporte e espalhamento de poluentes, favorecendo assim, o aumento do OD e diminuição da DBO para a decomposição da matéria orgânica. Nesse aspecto, segundo Von Sperling (2014), as concentrações de

constituintes em um corpo d'água são alteradas devido a processos de advecção, de difusão e de conversão. A partir dos resultados, compreende-se, que a vazão do esgoto ao somar-se com a vazão do rio, contribui para o processo de transporte, espalhamento e diluição da matéria orgânica principalmente no período chuvoso.

Percebe-se, ainda, para o mês de abril (Figura 8), que os valores estimados de OD foram mais próximos dos valores observados para os pontos P2 e P3, nos quais os desvios padrão foram maiores que o erro absoluto, entre o calculado pelo modelo Streeter-Phelps e o valor observado. O valor observado do ponto P2 de 5,10 mg.L<sup>-1</sup> foi o único em conformidade com a Classe 2 da Resolução CONAMA n°. 357/2005 e seu complemento 430/2011, ou seja, discretamente acima do mínimo de 5 mg.L<sup>-1</sup> estabelecido pela resolução. A DBO<sub>5</sub> se aproximou do valor observado, apenas no ponto P4, onde o desvio padrão foi maior que o erro absoluto entre o modelo e o valor observado. Todos os pontos apresentaram valor fora do estabelecido pela legislação, estando acima do máximo permitido de 5 mg.L<sup>-1</sup>.

No estudo realizado por Paz & Barbosa (2011), no Rio Capibaribe (PE), onde o esgoto é lançado *in natura*, verificou-se que a concentração de OD não atingiu, em nenhum momento, o limite mínimo permitido de 5 mg.L<sup>-1</sup>. Por outro lado, a DBO esteve dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n°. 357/2005 em 46,5% do trecho analisado.

Na figura 9 observam-se os dados de entrada do modelo de autodepuração Streeter-Phelps para o mês de dezembro, com informações de vazão, do OD e DBO<sub>5</sub> do esgoto doméstico e dos tributários Riacho Itapiracó e Rio Turu, para os pontos estudados (P1, P2, P3 e P4), bem como, a extensão de cada trecho, entre esses pontos, ao longo do Rio Paciência.



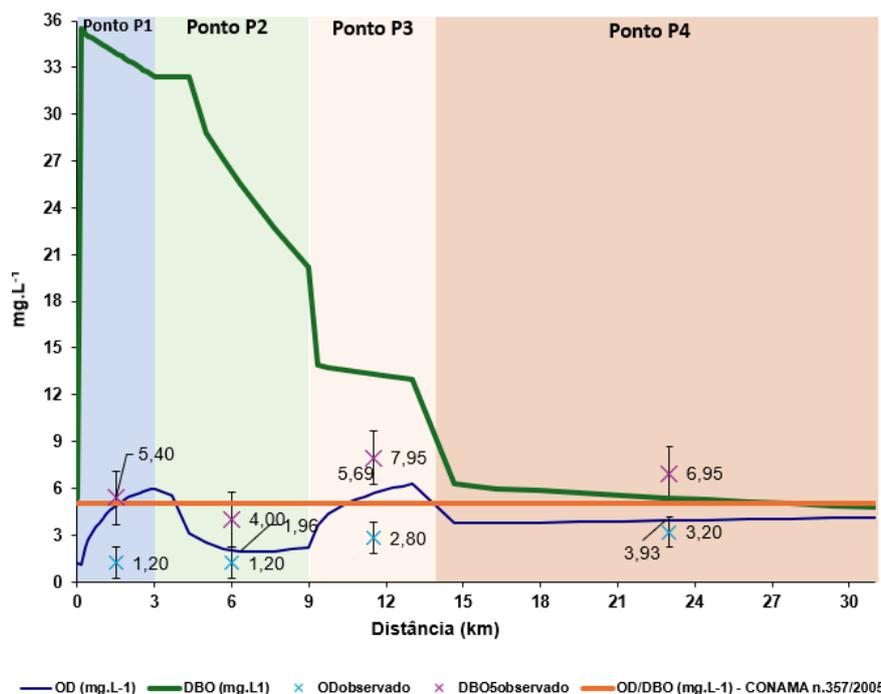
**Figura 9** - Diagrama hidrográfico do Rio Paciência do mês de dezembro de 2023 para o lançamento de esgoto e confluências com o Riacho Itapiracó e Rio Turu ao longo de seu percurso.

Para o mês de dezembro (Figura 10), no trecho P1 (+3 km), o OD variou de 1,20 mg.L<sup>-1</sup> no início do trecho a 5,99 mg.L<sup>-1</sup> no final. Em média, o valor de OD foi de 4,40 mg.L<sup>-1</sup>. Já a DBO<sub>5</sub> iniciou o trecho com 5,4 mg.L<sup>-1</sup>, e a partir de então, elevou-se a valores acima de 32 mg.L<sup>-1</sup>, finalizando o trecho com 32,42 mg.L<sup>-1</sup>. No trecho P2 (+ 6 km), o OD e a DBO<sub>5</sub> igualmente decresceram, finalizando o trecho com 2,23 mg.L<sup>-1</sup> e 19,00 mg.L<sup>-1</sup> respectivamente. A partir de 9 km do início do percurso no ponto P1, no trecho P3 (+ 4 km), ocorreu uma recuperação do OD, que se elevou e finalizou o trecho com 6,27 mg.L<sup>-1</sup>. De forma simétrica, a DBO<sub>5</sub> decresceu e praticamente se manteve em torno de 13 mg.L<sup>-1</sup>.

No trecho P4 (+ 18 km), a partir da distância de 13 km do início do percurso no ponto P1, ocorreu um decréscimo do OD de 6,27 mg.L<sup>-1</sup> a 3,74 mg.L<sup>-1</sup>. De igual modo, a DBO<sub>5</sub> decresceu de 12,96 mg.L<sup>-1</sup> a 6,31 mg.L<sup>-1</sup> até a distância de 26 km, do início do percurso. A partir de então, o OD iniciou sua recuperação, e finalizou o trecho com 4,15 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto a DBO<sub>5</sub> decresceu e finalizou o trecho com 4,80 mg.L<sup>-1</sup>.

No mês de dezembro, percebeu-se, que os valores estimados de OD foram mais próximos dos valores observados nos pontos P2 e P4, nos quais os desvios padrão foram maiores que o erro absoluto, entre os valores calculados pelo modelo Streeter-Phelps e os valores observados. Nesse mês, nenhum ponto se apresentou em conformidade com a Resolução CONAMA n.º. 357/2005 e seu complemento n. 430/2011, com valores abaixo do mínimo estabelecido de 5 mg.L<sup>-1</sup>. A DBO<sub>obs</sub> se aproximou dos valores observados no ponto P4, onde os desvios padrão foram maiores que o erro absoluto entre o modelo e os valores observados.

Verificou-se no modelo que a carga de DBO nos pontos P1 e P2, foi, aproximadamente, 2,5 e 2,0 vezes maior, respectivamente, que o valor estimado pelo modelo e os medidos em laboratório. Portanto, para o mês de dezembro, os valores de DBO, tanto os calculados, quanto os observados, em todos os pontos, foram superiores ao valor máximo da DBO segundo a Resolução CONAMA n.º. 357/2005 e seu complemento n. 430/2011, que é de 5 mg.L<sup>-1</sup>.



**Figura 10** - Curva de autodepuração do Rio Paciência para o mês de dezembro de 2023.

Diante do exposto, percebe-se, que os maiores valores de DBO foram no período seco, no mês de dezembro, do ponto P1 ao P3, quando a mobilidade da matéria orgânica diminuiu pelo decréscimo das vazões, em consequência da estiagem, favorecendo o consumo do OD, principalmente, nos pontos de mistura do Rio Paciência com efluentes domésticos e tributários.

Já no ponto P4, percebeu-se que o Rio Turu, maior afluente do Rio Paciência, teve maior influência na elevação da DBO no mês de abril. Estudo realizado por Sales et al. (2014), igualmente constatou que a presença da entrada lateral de efluentes representa uma fonte com influências consideráveis, alterando o perfil da DBO ao longo do rio. Já a concentração de OD no corpo

hídrico, por exemplo, foi controlada por fatores que, provavelmente, se relacionam diretamente com a solubilidade do oxigênio nas águas.

Nesse sentido, quando se analisa as condições de um determinado trecho do Rio Paciência,

verifica-se que a solubilidade do oxigênio sofre influência direta das condições locais em cada ponto investigado, dos aspectos hidroquímicos, hidrodinâmicos, do uso e ocupação do solo, e do padrão das chuvas e temperatura da região.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A degradação da qualidade das águas no Rio Paciência está associada principalmente ao lançamento de efluentes domésticos e ao uso e ocupação do solo na bacia, cujo padrão se modificou de forma significativa nos últimos 20 anos, que se alterou de área rural para uma área eminentemente urbana, o que caracteriza a bacia atualmente e resulta em contribuições de fontes pontuais e difusas de poluição hídrica, conjugada a um ineficiente sistema de tratamento do esgotamento sanitário. Essa situação potencializa-se temporalmente durante o ano, considerando o padrão das chuvas em cada período, o que altera pronunciadamente os valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas do Rio Paciência.

Neste contexto, a análise multivariada constituiu-se como uma ferramenta robusta para entender o comportamento dos parâmetros e permitiu identificar padrões hidroquímicos predominantes, a maior influência da variabilidade e a correlação entre os parâmetros, sinalizando, os de maior significância em cada período e, aqueles que mais interferem na qualidade das águas do rio Paciência. Dentre todos os parâmetros analisados, aqueles que tiveram maiores influência sobre a variabilidade deles, foi o OD e DBO para o período chuvoso e SDT e Condutividade Elétrica para o período

seco.

A aplicação do modelo de autodepuração de Streeter-Phelps para contribuições múltiplas permitiu identificar a capacidade de autodepuração por trecho do Rio Paciência em seus principais cursos (alto e médio) - sendo os setores mais urbanizados da bacia responsáveis por lançamentos pontuais de efluentes domésticos e dos principais afluentes do Rio Paciência (Riacho Itapiracó e Turu). Os resultados de OD e DBO revelaram que o Rio Paciência apresentou dificuldade de se autodepurar. Além disso, constatou-se que a capacidade de autodepuração do Rio Paciência é influenciada pela sazonalidade das chuvas na região, e pelas contribuições, quer sejam de esgotos ou tributários.

Logo, considera-se oportuno o monitoramento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Paciência. Elegem-se os pontos amostrais 2 (alto curso), 3 (médio curso), 4 (médio curso) e 5 (baixo curso), como ideais para o monitoramento da qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Paciência. A qualidade das águas nesses pontos reflete os usos e ocupação do solo na bacia, bem como a presença de fontes pontuais de lançamento de efluentes domésticos, e a influência de marés, em sua foz, característica de áreas costeiras.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB), ao Departamento de Engenharia Civil (DEC), ao Laboratório de Recursos Hídricos (LabHidro) do Núcleo Geoambiental (NUGEO) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio durante o desenvolvimento da pesquisa.

## REFERENCES

- ALMEIDA, T.V.D. **Índice de qualidade da água e coeficientes de autodepuração de trechos do rio Pomba**. Viçosa, 2006. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION- **ALPHA**. Standard Methods for Examination of Water Wastewater 22ed, Washington D.C, 2012.
- ANJOS NETO, S.P. **Aspectos históricos e diagnóstico técnico operacional do sistema de esgotos sanitários de São Luís**. São Luís, 2016. 68 p. Dissertação (Mestrado), Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Centro Universitário do Maranhão.
- ARCEIVALA, S.J. **Wastewater treatment and disposal. Engineering and ecology in pollution control**. New York, Marcel Dekker, 892 p., 1981.
- ARRHENIUS, S. Über die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Säuren. *Z. Physik. Chem.*; n. 4, p. 226-248, 1889.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1997.
- BARBALHO, A.C.; VIEIRA, S.C.; SANTOS, J.A.P.; COELHO, C.N.N.; SILVA, M.R.C.; PIMENTEL, M.L.C. **Qualidade da água do Rio Paciência: saúde e meio**. In: XXVI JORNADA DE PARASITOLOGIA E MEDICINA TROPICAL DO MARANHÃO/ VI CONGRESSO MARANHENSE DE HISTÓRIA DA MEDICINA. *Anais...*São Luís-MA, 2018.
- BATALHA, B.L. & ROCHA, A.A. Autodepuração nos cursos d'água. *Revista DAE*, v. 46, n. 144, p. 27 – 32, 1986.

- BAUMGARTEN, M.G.Z. & POZZA, S.A. (2001). **Qualidade de águas**: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental. Rio Grande: Ed. FURG. 166p.
- BENASSI, S.F. **Estudo das variáveis limnológicas e do processo de autodepuração na descontinuidade serial do ribeirão Bonito (SP)**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2002.
- BRASIL. Resolução **CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Brasília/DF, Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNIS: Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto - 2021 Brasília: **SNIS**. Disp. em: < <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 14/07/2023.
- CALDAS, H.F.M.; BRANDÃO, D.N.; CARDOSO, A.S.; SOBRAL, M.C.; MARWELL, D.T.B. Avaliação da qualidade da água do eixo leste do projeto de integração do rio São Francisco usando análise estatística multivariada. In: XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. CARUARU – PE, 2020. Disp. em: <[https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/130/XV-SRH\\_NE0120-1-20200731-201036.pdf](https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/130/XV-SRH_NE0120-1-20200731-201036.pdf)>. Acesso em 11 de janeiro de 2023.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2011). 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, São Paulo: CETESB; Brasília: ANA.
- CONAMA. Resolução **nº 357**, de 17 de março de 2005. Brasília/DF, Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005.
- CORRÊA, E.L.S.; PINHEIRO, K.S.F.; SOUSA, C.J.S.; DIAS, L.J.B.S. Qualidade das águas e nível trófico da bacia do rio Paciência, na Ilha do Maranhão, Brasil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 21, n. 2, p. 437-453, 2019.
- ESTEVEZ, F. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 826 p., 2011.
- FAIR, G.M.; GEYER, J.C.; OKUN, D.A. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas resuales (**Water and wastewater engineering**). Trad. Salvador Ayaaneguij. México, Editorial Limusa, v. 2, 764 p., 1973.
- FIGUEIREDO, J.A.; NORIEGA, C.D.; OLIVEIRA, E.M.C.; NETO, R.R.; BARROSO, G.F.; FILHO, M.A. Avaliação biogeoquímica de águas fluviais com ênfase no comportamento dos compostos de nitrogênio e fósforo total para diagnoses provenientes do sistema aquático Bacia do Rio Doce, no Espírito Santo. **Geochimica Brasiliensis**, v. 28, n. 2, p. 215-226, 2014.
- GONÇALVES, J.C.S.I.; SARDINHA, D.S.; SOUZA, A.D.G.; DIBIAZI, A.L.B.; GODOY, L.H.; CONCEIÇÃO, F.T. Avaliação espaço-temporal da qualidade da água e simulação de autodepuração na bacia hidrográfica do córrego São Simão, SP. **Revista Ambiente e Água, Taubaté**, v.7, n.3, p.141-154, 2012.
- GOTELLI, N.J. & ELLISON, A.M. **Princípios de Estatística Em Ecologia** - ARTMED EDITORA. 528 p., 2011.
- HONGYU, K. **Comparação do GGE-biplot ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipo × ambiente**. 2015. Piracicaba, 155 p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- HONGYU, K.; SANDANIELO, V.L.M.; OLIVEIRA JUNIOR, G.J. Análise de Componentes Principais: Resumo Teórico, Aplicação e Interpretação. **EeS Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016
- IBGE. Censo Demográfico. **Características gerais dos moradores 2020-2021**. Coordenação de Pesquisas por Amostra de Domicílios. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.
- IBGE. Censo Demográfico. **População por bairros 2021-2022**. Coordenação de Pesquisas por Amostra de Domicílios. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. (2023). “**BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - Série Histórica - Dados Mensais – de precipitação**”. Brasília Acessado em 13 de outubro de 2023. Sítio eletrônico < [http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoes\\_automticas](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoes_automticas) >.
- JOHNSON, R.A. & WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6th. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall. 773 p., 2007.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Editora Átomo, 640 p., 2010
- LIMA, R.N.S.; RIBEIRO, C.B.M.; BARBOSA, C.C.F.; FILHO, O.C.R. Estudo da poluição pontual e difusa na bacia de contribuição do reservatório da usina hidrelétrica de Funil utilizando modelagem espacialmente distribuída em Sistema de Informação Geográfica. **Eng Sanit Ambient**, v.21, n. 1, p. 139-150, 2016
- LO4D. (2023). **Statistical Analysis APP for windows – past, 4.08**. Disponível em:< <https://past.enlo4d.com/windows#features>>. Acesso em: 14/07/2023.
- LÓBON, G.S.; SCALIZE, P.S.; ANTUNES, I.M.H.R.; ALBUQUERQUE, M.T.D. **Influência das chuvas na qualidade da água distribuída ao consumo humano**. XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento de 24 a 29 de maio de 2015 – Poços de Caldas – MG.
- MAIER, M.H. Ecologia da bacia do rio Jacaré Pepira (47°55’–48°55’W; 22°30’–21°55’S–Brasil): qualidade da água do rio principal. **Ciência e Cultura**, v. 39, n. 2, p. 164-185, 1987.
- MONTEIRO, A.J. **Eutrofização**-Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil e Arquitetura, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2004.
- NÚCLEO GEOAMBIENTAL - NUGEO. **Bacias hidrográficas e climatologia no Maranhão**. São Luís: NUGEO/CCA/UEMA, 2016. 165p. Disp. em: < <http://www.nugeo.uema.br/upnugeo/publicacoes/Bacias%20Hidrogr%C3%A1ficas%20e%20Climatologia%20-%20MA> >. Acesso em: 10 fev. 2018.
- OLIVEIRA, D.R.P.; CASTRO, A.C.L.; NASCIMENTO, A.R.; SOARES, L.S.; PORTO, H.L.R. Avaliação do Grau de Contaminação Microbiológica do Estuário do Rio Paciência, Estado do Maranhão. **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, v. 45, n. 1, p. 56 – 61, 2012.
- PALÁCIO, F.X. **Análisis multivariado para datos biológicos: teoría y su aplicación utilizando el lenguaje**. R.F.X. Palácio; M.J. Apodaca; J.V. Crisci.-1a ed. -Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación de Historia Natural Félix de Azara, 2020.
- PAZ, D.F. & BARBOSA, I.M.B R. Estudo da redução da Carga Orgânica lançada em um trecho do Rio Capibaribe para atendimento à legislação ambiental. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011. Maceió. **Anais...Maceió: ABRH**, p. 1-14, 2011.
- QUEIROZ, F.M.; MATOS, A.T.; VON SPERLING, M. Estimativa do coeficiente de reaeração da água em canal raso de fundo deslizante. **Eng. Sanit Ambient**, v. 20, n. 1, p. 79-88, 2015.
- RABELO, W.P.S.; ARAÚJO, G.S.; FURTADO, J.G.C.; MARINHO, S.C.; RABELO, H.P.S.M.; RODRIGUES, A.L.P.; GOMES, W.C. Análise dos Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos da Água do Rio Paciência, São Luís, MA. **Revista Ceuma Perspectivas, Edição Especial**. I Fórum de Meio Ambiente do Estado do Maranhão, Ceuma, v. 30, n. 01, 2017.
- ROCHA, M.C.; PINHEIRO, K.S.F.; SOUSA, C.J.S.; BEZERRA, J.F.R. Saneamento e qualidade das águas na bacia hidrográfica do rio Paciência, Ilha do Maranhão, Brasil. 2021. **Revista GEOTemas**, Pau dos Ferros, RN, Brasil, v. 11, 2021.
- ROSA, L.; CHIARELLI, D.D.; RULLI, M.C.; DELL’ANGELO, J.; D’ODORICO, P. Global agricultural economic water scarcity. **Science Advances**, v. 6, n. 18, eaaz6031, 2020.
- SALES, P.C.L.; RAGONHA, F.H.; RODRIGUES, E.I.; DEUS, M.S. M.; LOPES, M.S.; TAKEDA, A.M. Primeiros registros de espécies de Oligochaeta aquática (Annelida - Clitellata) do Estado Piauí (Nordeste – Brasil). **Arquivos do MUDI**, v. 18, n. 2, p. 1–4, 2015.

- SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba-PR, 2001.p. 372.
- SANTOS, R.F.; SANTOS, Z.; SOUSA, M.S.; LOPES, R.B.; MOURA, L.S. Modelagem matemática da autodepuração da microbacia do Irurá no município de Santarém-Pará. **Revisa Tecnologia**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 1-14, 2020.
- SANTOS, S.A.; GASTALDINI, M.C.C.; PIVETTA, G.G.; FILHO, O.S. (2018). Qualidade da água na bacia hidrográfica urbana Cancela Tamandará, Santa Maria/RS. **Soc. Nat. Uberlândia**, v.30, n.2, p.23-44.
- SANTOS, T.I.O.; BRAGA, C.B.C.; GOMES, L. B.; SILVA, L.S.; MARTINS, A.S.; JESUS, R. S.; RODRIGUES, E.H. Avaliação da Qualidade d'água de Corpos Hídricos Monitorados pela Agência Nacional de Água em São Luís – MA. **Revista Interfaces**, v. 11, n. 3, 2023.
- SILVA, AE. P; ANGELIS, C.F.; MACHADO, L.T.; WAICHAMAN, A.V. **Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus**. ACT Amazônica, 2008. Disponível em:< <https://www.scielo.br/j/aa/a/mwHP8HMv955dkZ984LmmGLt/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 25 de abril de 2023.
- SILVA, A.S.; PORTO, M.F.A. A utilização do modelo WinHSPF no estudo das cargas difusas de poluição da bacia do ribeirão da Estiva, SP. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. Anais...Curitiba: ABRH, 2003.
- SOARES, L.S.; JÚNIOR SILVA, M.G.; CASTRO, A.C.L.; SAINT-PAUL, U. Comunidade De Peixes Como Indicador de Qualidade Ambiental de Alguns Canais de Maré do Estuário do Rio Paciência, São Luís–MA. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 24, n. 1, p. 01-12, 2011.
- SOUSA, C.J.S. **Caracterização dos aquíferos na Ilha do Maranhão: reconhecimento, levantamento de áreas estratégicas e contribuições ao processo de gestão**. Brasília, 2021. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas), Universidade de Brasília.
- SOUSA, C.J.S. **Análise Espacial do processo de ocupação da Ilha do Maranhão entre 1973 a 20010: uma abordagem baseada em imagens multitemporais de sensoriamento remoto**. In: Amorim, J.G.B. Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável: perspectivas interdisciplinares., São Paulo: Editora Dialética, 2022, v. 2, p. 55-88.
- STREETER, H.W & PHELPS, E.B. **A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River, U.S. Public Health Service Bulletin**, No. 146, p. 1-75, 1925
- TAVARES, A.R. **Monitoramento da qualidade das águas do rio Paraíba do Sul e diagnóstico de conservação**. São José dos Campos, 176p., 2005. Dissertação (Mestrado), Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, São Paulo.
- TUNDISI, J.G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.
- VIEIRA, R.F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**-Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- VON SPERLING, M. **Estudo e modelagem da qualidade da água de rios**. 2. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG. v.7, 2014.

*Submetido em 12 de outubro de 2024*

*Aceito para publicação em 25 de fevereiro de 2025*