

Avaliação Integrada da Qualidade da Água em Área Estuarina sob Influência do Saneamento Descentralizado: Ilha de Eufrasina (PR)

Kamila G. Barbosa[1]; Ana K. K. Portela[1]; Silvia P. Melegari[1]

[1]Universidade Federal do Paraná, Centro de Estudos do Mar, Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Pontal do Paraná, Paraná, Brasil

E-mail: ***kamilabarbosagaldino12@gmail.com***

Palavras-Chave: matéria orgânica, nutrientes, estuário

Introdução

A Ilha de Eufrasina, localizada no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), no litoral do Paraná, abriga uma comunidade tradicional cuja dinâmica social e econômica está diretamente relacionada ao ambiente costeiro. A pesca artesanal, o turismo de base comunitária e outras atividades desenvolvidas no território dependem das condições ambientais do estuário e de seus recursos naturais. Entretanto, as características insulares, o acesso predominantemente marítimo e as limitações de infraestrutura historicamente dificultaram a implantação de sistemas convencionais de coleta e tratamento de esgoto. Essa realidade representa um desafio para a gestão sanitária e ambiental do território, uma vez que a disposição inadequada de efluentes pode contribuir para a degradação dos ambientes aquáticos e aumentar a exposição da população a agentes potencialmente prejudiciais à saúde. (PORTOS DO PARANÁ, 2024; ROSA; TEIXEIRA; HORA, 2023).

A busca por soluções compatíveis com as características de comunidades isoladas resultou na implantação de sistemas descentralizados de tratamento de efluentes na Ilha de Eufrasina por meio do projeto Comunidades Sustentáveis, desenvolvido em parceria entre os Portos do Paraná e a Universidade Federal do Paraná (UFPR). A proposta considera as limitações territoriais para a implantação de redes convencionais e busca reduzir o lançamento de efluentes sem tratamento adequado no ambiente costeiro. Entretanto, a instalação da infraestrutura constitui apenas uma etapa da intervenção, sendo necessário avaliar sua efetividade a partir de indicadores ambientais capazes de demonstrar possíveis alterações nas condições sanitárias do estuário após o início do funcionamento dos sistemas. (PORTOS DO PARANÁ, 2024; FERNANDES et al., 2023).

A avaliação das condições sanitárias de ambientes costeiros depende do acompanhamento de parâmetros capazes de identificar alterações relacionadas ao aporte de efluentes domésticos. Entre esses parâmetros, os indicadores microbiológicos apresentam relevância por permitirem caracterizar a presença de contaminação ambiental e subsidiar a avaliação de possíveis riscos associados ao contato humano com a água. Em sistemas estuarinos, a distribuição desses indicadores também pode variar em função de processos físicos e ambientais, como precipitação, circulação e regime de marés, tornando necessário um acompanhamento sistemático para compreender a dinâmica espacial e temporal das condições sanitárias. (SILVA et al., 2022).

A avaliação da qualidade sanitária da água na Ilha de Eufrasina apresenta uma importância ambiental e social, uma vez que permite verificar as condições do ambiente utilizado cotidianamente pela população e acompanhar os possíveis efeitos da implantação dos sistemas de tratamento. A geração de informações antes e durante o funcionamento da infraestrutura possibilita analisar a variação dos indicadores microbiológicos e verificar se a intervenção está associada à melhoria das condições sanitárias da baía. Dessa forma, o monitoramento poderá contribuir para a proteção da população, para o acompanhamento da efetividade do saneamento descentralizado e para o planejamento de ações futuras de gestão ambiental no território. (FERNANDES et al., 2023; ROSA; TEIXEIRA; HORA, 2023).

A relevância da pesquisa também está relacionada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente ao ODS 6, que estabelece metas relacionadas ao acesso ao saneamento e à redução da poluição hídrica, e ao ODS 14, voltado à conservação e ao uso sustentável dos oceanos e recursos marinhos (ONU, 2015). Nesse sentido, o presente estudo busca avaliar a influência da implantação dos sistemas descentralizados de tratamento de efluentes sobre as condições ambientais da baía adjacente à Ilha de Eufrasina, por meio do monitoramento periódico de parâmetros físico-químicos e microbiológicos em amostras de água coletadas em pontos previamente definidos na área de estudo, complementado pela avaliação das condições de balneabilidade. A análise integrada desses parâmetros permitirá acompanhar a variação temporal das características da água e identificar possíveis alterações associadas ao funcionamento dos sistemas de tratamento, contribuindo para a avaliação de sua efetividade e para o aprimoramento de estratégias de saneamento e conservação ambiental em comunidades costeiras.

Material e Métodos

O monitoramento da qualidade da água e das condições de balneabilidade foi realizado em cinco pontos previamente definidos na área de estudo, identificados como P1 a P5. Para este resumo expandido, são apresentados resultados preliminares obtidos entre abril e agosto de 2026, correspondentes às campanhas realizadas em 23/04, 26/05, 22/06, 07/07 e 05/08. O estudo integra uma pesquisa de mestrado ainda em andamento, de modo que o conjunto de dados apresentado representa uma etapa parcial do monitoramento previsto. As amostragens seguiram as recomendações da NBR 9898 (ABNT, 1987).

As amostras foram coletadas a 30 cm de profundidade, utilizando garrafas apropriadas e garrafa de amostragem do tipo Van Dorn, sendo posteriormente acondicionadas em caixa térmica para transporte. Buscou-se padronizar o estágio de maré durante as campanhas, utilizando como referência a tábua de marés e o marégrafo de Paranaguá-PR, consultados por meio do aplicativo Tides, a fim de reduzir a influência da variação do nível da água sobre os resultados.

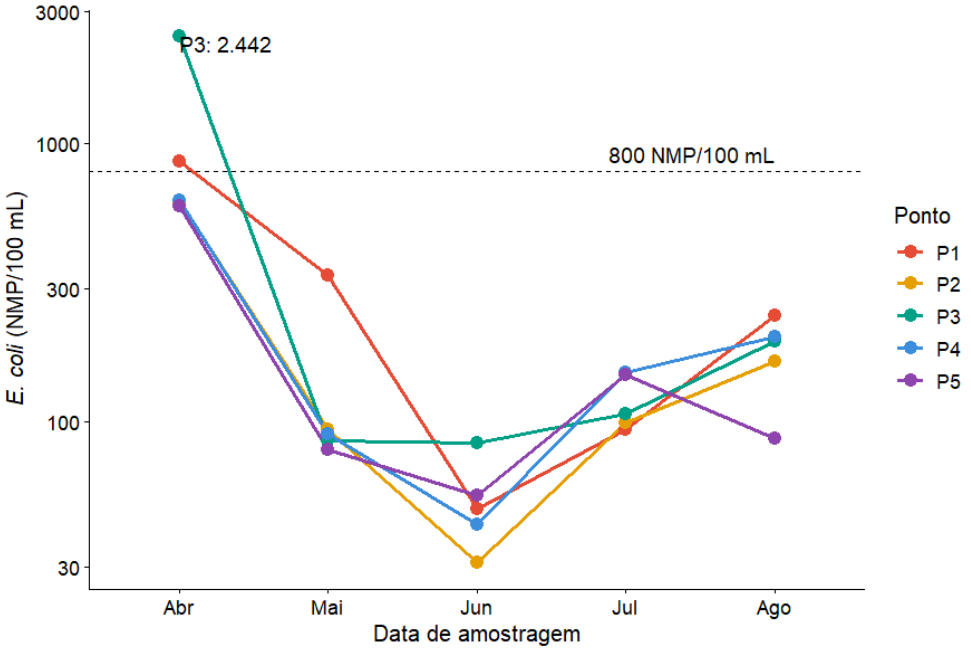
Os parâmetros temperatura, pH, salinidade e oxigênio dissolvido foram determinados *in situ*, utilizando termômetro, pHmetro, refratômetro e oxímetro, respectivamente. As demais análises foram realizadas em laboratório, seguindo metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017) e os critérios estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011. Foram analisados turbidez, amônia, nitrito, nitrato, fósforo, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$), carbono orgânico total (COT), sólidos totais e clorofila. A avaliação microbiológica contemplou coliformes totais, *Escherichia coli* e *Enterococcus*.

Os dados obtidos nas campanhas de abril a agosto de 2026 foram organizados e submetidos à análise descritiva, considerando a variação dos parâmetros entre os pontos amostrais e os períodos de coleta. A classificação das condições de balneabilidade será realizada conforme os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 274/2000. Por se tratar de resultados preliminares de uma dissertação em andamento, as análises apresentadas correspondem ao conjunto de dados disponível até agosto de 2026, permanecendo o monitoramento e as análises complementares em desenvolvimento.

Resultados e Discussão

Entre abril e agosto de 2026, foram analisadas 25 amostras de água superficial, correspondentes a cinco pontos de coleta (P1 a P5) e cinco campanhas amostrais. Os resultados evidenciaram variação temporal dos parâmetros microbiológicos e físico-químicos, com maior alteração nos indicadores de contaminação fecal durante a campanha de abril. A distribuição dos valores de Escherichia coli é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Variação temporal das concentrações de Escherichia coli nos pontos P1 a P5, entre abril e agosto de 2026.



Fonte: (O autor,2026)

Em abril, foram registrados os maiores valores de E. coli, com 2.442 NMP/100 mL em P3 e 864 NMP/100 mL em P1, enquanto os demais pontos apresentaram valores inferiores a 800 NMP/100 mL. A partir de maio, observou-se redução expressiva das concentrações, com valores entre 79 e 338 NMP/100 mL, seguida por menores registros em junho, quando as concentrações variaram de 31 a 84 NMP/100 mL. Em julho e agosto houve aumento moderado, mas sem retorno aos níveis observados em abril, com intervalos de 93,5–150 e

86,5–240 NMP/100 mL, respectivamente. Considerando todo o período, 23 das 25 amostras (92%) apresentaram valores iguais ou inferiores a 800 NMP/100 mL.

Essa redução após abril indica uma diminuição da carga de contaminação fecal no período subsequente, embora a oscilação observada entre as campanhas demonstre que a qualidade microbiológica da água ainda apresenta variabilidade temporal. E. coli é amplamente utilizada como indicadora de contaminação fecal e, em ambientes sujeitos à influência de esgoto doméstico, seus níveis podem responder às condições de lançamento, diluição e transporte da massa de água (SILVA et al., 2022). Em estudo realizado em área de balneabilidade, Ribeiro et al. (2022) também destacaram a importância da avaliação conjunta de indicadores microbiológicos e físico-químicos para interpretar possíveis efeitos de aportes de efluentes sobre a qualidade da água.

Apesar de 92% das amostras apresentarem E. coli ≤800 NMP/100 mL, esse resultado não permite, isoladamente, estabelecer uma classificação formal de balneabilidade. A Resolução CONAMA nº 274/2000 define a classificação a partir de séries de cinco semanas consecutivas e de critérios baseados na proporção de resultados em cada faixa. Assim, os dados obtidos devem ser interpretados, neste momento, como uma comparação preliminar com o valor de referência, devendo o monitoramento ser mantido para possibilitar a avaliação formal das condições de balneabilidade (BRASIL, 2000).

Os demais parâmetros analisados apresentaram comportamento igualmente variável ao longo do período (Figura 2). O pH variou de 7,06 a 8,90, com média de 7,86. Considerando como referência a faixa de 6,5 a 8,5 estabelecida para águas salobras de Classe 1 na Resolução CONAMA nº 357/2005, 21 das 25 observações (84%) permaneceram dentro desse intervalo, enquanto quatro registros, todos em julho, apresentaram valores superiores a 8,5. O aumento pontual do pH pode estar associado à dinâmica natural do sistema estuarino e às variações nas condições biogeoquímicas da água, não sendo possível atribuir sua ocorrência exclusivamente ao funcionamento dos sistemas de tratamento.

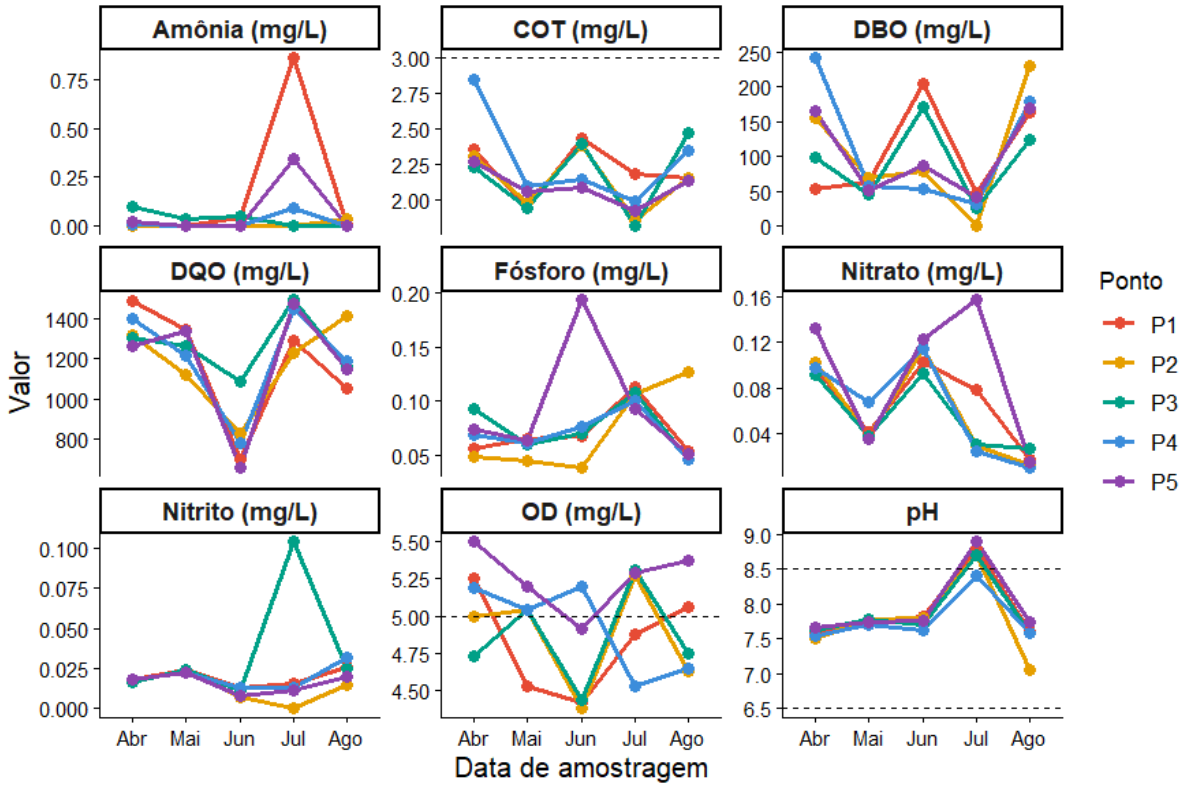
O oxigênio dissolvido (OD) apresentou valores entre 4,38 e 5,50 mg/L, com média de 4,94 mg/L. Do total de amostras, 14 (56%) apresentaram valores iguais ou superiores a 5 mg/L, enquanto 11 (44%) ficaram abaixo desse valor de referência. A ocorrência de concentrações inferiores a 5 mg/L merece atenção, pois o OD responde diretamente aos processos de consumo e produção de oxigênio no ambiente, incluindo a decomposição da matéria orgânica. Nesse sentido, a interpretação do OD deve ser realizada conjuntamente com DBO, DQO e nutrientes, especialmente em ambientes estuarinos com elevada variabilidade hidrodinâmica.

O carbono orgânico total (COT) variou entre 1,81 e 2,85 mg/L, com média de 2,18 mg/L, permanecendo abaixo de 3 mg/L em todas as amostras. Em contrapartida, a DBO variou de 0 a 241,5 mg/L, com maior valor em P4 durante abril, enquanto a DQO variou de 654,25 a 1.498,75 mg/L, com máximo em P3 em julho. Esses resultados indicam heterogeneidade na presença e na demanda por matéria oxidável, reforçando a necessidade de interpretar os parâmetros em conjunto e acompanhar sua evolução temporal.

Entre os nutrientes, a amônia variou de 0 a 0,861 mg/L, o nitrito de 0 a 0,105 mg/L, o nitrato de 0,010 a 0,158 mg/L e o fósforo solúvel de 0,039 a 0,194 mg/L. Os maiores valores foram observados em campanhas e pontos distintos, com destaque para a amônia em P1 em julho, o nitrito em P3 em julho e o fósforo solúvel em P5 em junho. A distribuição desses nutrientes sugere que os processos de aporte, transformação e transporte de matéria no estuário apresentam dinâmica espacial e temporal. Entretanto, como a planilha analítica registra fósforo solúvel e amônia sem especificar, respectivamente, a forma exata correspondente ao

parâmetro legal de fósforo total e nitrogênio amoniacal total, esses resultados não foram tratados como excedências legais diretas.

Figura 2 – Variação temporal dos parâmetros físico-químicos e de nutrientes nos pontos P1 a P5, entre abril e agosto de 2026.



Fonte: (O autor,2026)

De modo geral, os resultados preliminares demonstram redução importante das concentrações de E. coli após a primeira campanha, acompanhada por oscilações dos parâmetros físico-químicos ao longo dos meses. Esse padrão é compatível com a natureza dinâmica de sistemas estuarinos, nos quais maré, circulação, diluição, ressuspensão e transformação da matéria podem modificar a distribuição dos constituintes da água. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece padrões para a qualidade de águas superficiais segundo sua classe, enquanto a Resolução CONAMA nº 430/2011 trata especificamente das condições e padrões de lançamento de efluentes; portanto, esta última não deve ser utilizada diretamente para classificar a água da baía (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011).

Conclusões

A análise integrada dos indicadores empregados permitiu caracterizar a resposta ambiental do sistema estuarino frente ao contexto de implantação do saneamento descentralizado na Ilha de Eufrasina. A variabilidade registrada entre campanhas evidencia que a qualidade da água resulta da interação entre processos microbiológicos, biogeoquímicos e hidrodinâmicos, tornando inadequada a interpretação de um único parâmetro como indicador isolado de alteração ambiental.

Os resultados obtidos constituem uma linha de base temporal para o acompanhamento da efetividade dos sistemas de tratamento, permitindo estabelecer o estado inicial do ambiente e subsidiar comparações com campanhas subsequentes. Nesse contexto, a continuidade amostral apresenta caráter essencial para distinguir flutuações intrínsecas à dinâmica estuarina de alterações persistentes associadas à modificação do aporte de efluentes.

A abordagem adotada demonstra a aplicabilidade do monitoramento integrado de variáveis microbiológicas e físico-químicas para a avaliação de intervenções de saneamento em comunidades insulares, nas quais as particularidades geomorfológicas e hidrodinâmicas condicionam a dispersão e a transformação dos constituintes introduzidos no ambiente aquático. A consolidação de uma série temporal mais extensa poderá, portanto, fornecer evidências mais robustas sobre a resposta do sistema à implantação da infraestrutura sanitária e subsidiar a avaliação ambiental de estratégias descentralizadas de tratamento de efluentes em sistemas costeiros.

Agradecimentos

À UFPR, ao CEM, à APPA e ao projeto Comunidades Sustentáveis pelo apoio à realização deste estudo

Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23. ed. Washington, DC: APHA, 2017. Disponível em: Google Books – Standard Methods, 23ª edição. Acesso em: 07 set. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9898: preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. Disponível em: ABNT Catálogo. Acesso em: 07 set. 2026. A norma estabelece procedimentos para coleta e preservação de amostras de água e efluentes.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Brasília, DF: CONAMA, 2000. Disponível em: Resolução CONAMA nº 274/2000 – ANA. Acesso em: 07 set. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 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. Brasília, DF: CONAMA, 2005. Disponível em: Resolução CONAMA nº 357/2005 – CONAMA. Acesso em: 07 set. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF: CONAMA, 2011. Disponível em: Resolução CONAMA nº 430/2011 – CONAMA. Acesso em: 07 set. 2026.

FERNANDES, Bruno; TRENTO, Luã Gabriel; OLIVEIRA, Nadia Rosário de; SORRENTINO, Marcos. O saneamento rural e a construção de comunidades agroecológicas: experiência intervencionista no distrito de Tupi (Piracicaba/SP). *Revista*

Brasileira de Agroecologia, v. 18, n. 5, p. 485-501, 2023. DOI: 10.33240/rba.v18i5.51179. Disponível em: Revista Brasileira de Agroecologia – artigo. Acesso em: 07 set. 2026.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: United Nations, 2015. Disponível em: United Nations – 2030 Agenda for Sustainable Development. Acesso em: 07 set. 2026.

PORTOS DO PARANÁ. Portos do Paraná e UFPR firmam parceria para instalação de sistema de esgoto na Ilha de Eufrasina. Curitiba, 28 maio 2024. Disponível em: Portos do Paraná – projeto de saneamento na Ilha de Eufrasina. Acesso em: 07 set. 2026.

RIBEIRO, Natasha Ulhiana Ferreira et al. Qualidade da água do rio Paraná em região de balneabilidade: discussão sobre os impactos potenciais do lançamento de efluentes provenientes de tratamento secundário. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 27, n. 3, p. 445-455, 2022. DOI: 10.1590/S1413-415220210126. Disponível em: SciELO – artigo completo. Acesso em: 07 set. 2026.

ROSA, Marlison Noronha; TEIXEIRA, Denilson; HORA, Karla Emmanuela Ribeiro. Ações participativas em saneamento rural: bases conceituais e diretrizes metodológicas. *Saúde e Sociedade*, v. 32, n. 2, e201040pt, 2023. DOI: 10.1590/S0104-12902023201040pt. Disponível em: SciELO – artigo completo. Acesso em: 07 set. 2026.

SILVA, Taíssa de Souza Menezes da et al. Perfil de sensibilidade aos antimicrobianos das cepas de *Escherichia coli* isoladas de amostras de águas superficiais do Rio Carioca-RJ, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 27, n. 4, p. 673-682, 2022. DOI: 10.1590/S1413-415220200405. Disponível em: SciELO – artigo completo. Acesso em: 07 set. 2026.