



Influência da sazonalidade sobre as águas estuarinas de um furo amazônico (Arrozal – Barcarena, Pará, Amazônia Oriental)

Cássila dos Santos Simão¹  

Maamar El-Robrini²  

Maria de Lourdes Souza Santos³  

Nazareno Melo da Silva⁴  

Destaques

- Teores mais elevados de condutividade elétrica (CE) das águas do Furo do Arrozal no período seco.
- Valores de pH acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357 durante o período seco em todo o Furo do Arrozal.
- Concentração de N-amoniaco acima do limite da Resolução CONAMA nº 357 na confluência do Furo do Arrozal com o ERP.
- Concentração de nitrato acima do limite da Resolução CONAMA nº 357 em todo o Furo do Arrozal ao longo do ano.

Resumo: A sazonalidade e o antropismo refletem-se nos parâmetros físico-químicos, nutrientes e clorofila *a* das águas do Furo do Arrozal (Barcarena, Pará). A coleta de amostras de água foi realizada em oito estações fixas, ao final das estações chuvosa e seca. Os resultados variaram do final do período chuvoso para o seco: a transparência passou de 44 para 73 cm, e a turbidez, de 1 para 22 UNT; a condutividade elétrica (CE) aumentou de 0,01 para 0,06 mS/cm; os sólidos suspensos totais variaram de 1 a 14 mg/L; o pH apresentou valores mais elevados nas duas foz (Acará/Pará), 10,4 e 10,5; o nitrogênio amoniacal e o nitrato tiveram valores máximos, respectivamente, de 1,24 mg/L (P8/chuvoso) e 2,7 mg/L (P1/seco); o nitrito manteve-se estável (0,01 mg/L); o fosfato atingiu o valor máximo de 0,08 mg/L (P7/chuvoso); o fósforo total variou de 0,05 a 0,12 mg/L (seco); o silicato oscilou entre 1,31 e 5,94 mg/L (chuvoso); e a clorofila *a* variou de 7,36 mg/m³ (chuvoso) para 33,3 mg/m³ (seco). Às margens do furo, localizam-se a cidade de Barcarena e comunidades ribeirinhas influenciadas pelas águas dos estuários dos rios Pará e Acará.

Palavras-chave: Furo do Arrozal; Barcarena, Pará; parâmetros físico-químicos; nutrientes; clorofila *a*.

¹ Mestra em Planejamento, Manejo e Gestão de Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal do Pará (UFPA).

² Professor Titular das Faculdades de Oceanografia e Engenharia Naval da Universidade Federal do Pará (UFPA).

³ Professora Titular da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

⁴ Mestre em Planejamento, Manejo e Gestão de Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA).



INFLUENCE OF SEASONALITY ON THE ESTUARINE WATERS OF AN AMAZONIAN "FURO" (ARROZAL – BARCARENA, PARÁ, EASTERN AMAZON)

Abstract: Seasonality and anthropic influence are reflected in the physicochemical parameters, nutrients, and chlorophyll *a* of the estuarine waters of the Furo do Arrozal (Barcarena, Pará). Water samples were collected at eight fixed stations at the end of the rainy and dry seasons. The results changed from the end of the rainy to the dry season: transparency increased from 44 to 73 cm, and turbidity from 1 to 22 NTU; electrical conductivity (EC) rose from 0.01 to 0.06 mS/cm; suspended solids varied from 1 to 14 mg/L; pH values were higher at both mouths (Acará/Pará), 10.4 and 10.5; ammoniacal nitrogen and nitrate reached maximum values of 1.24 mg/L (P8/rainy) and 2.7 mg/L (P1/dry), respectively; nitrite remained stable (0.01 mg/L); phosphate reached a maximum value of 0.08 mg/L (rainy); total phosphorus ranged from 0.05 to 0.12 mg/L (dry); silicate ranged from 1.31 to 5.94 mg/L (rainy); and chlorophyll *a* increased from 7.36 mg/m³ (rainy) to 33.3 mg/m³ (dry). Along the margins of the "Furo" lie the city of Barcarena and nearby riverside communities influenced by the waters of the Pará and Acará estuaries.

Keywords: Furo do Arrozal; Barcarena, Pará; physicochemical parameters; nutrients; chlorophyll *a*.

INFLUENCE DE LA SAISONNALITÉ SUR LES EAUX ESTUARINES DE UN "FURO" (ARROZAL – BARCARENA, PARÁ, AMAZONIE ORIENTALE)

Résumé: La saisonnalité et l'anthropisme se reflètent dans les paramètres physico-chimiques, les nutriments et la chlorophylle *a* des eaux du Furo do Arrozal (Barcarena, Pará). Des échantillons d'eau ont été prélevés dans huit stations fixes à la fin des saisons pluvieuses et sèche. Les résultats ont varié de la fin de la saison des pluies à la saison sèche : la transparence est passée de 44 à 73 cm, et la turbidité, de 1 à 22 NTU ; la conductivité électrique (CE) est passée de 0,01 à 0,06 mS/cm ; les matières en suspension ont varié de 1 à 14 mg/L ; le pH a présenté des valeurs plus élevées aux deux embouchures (Acará/Pará), 10,4 et 10,5 ; l'azote ammoniacal et le nitrate ont atteint des valeurs maximales respectives de 1,24 mg/L (P8/pluvieuse) et 2,7 mg/L (P1/sèche) ; le nitrite est resté stable (0,01 mg/L) ; le phosphate a atteint une valeur maximale de 0,08 mg/L (pluvieuse) ; le phosphore total a varié de 0,05 à 0,12 mg/L (sèche) ; le silicate a oscillé entre 1,31 et 5,94 mg/L (pluvieuse) ; et la *chlorophylle a* est passée de 7,36 mg/m³ (pluvieuse) à 33,34 mg/m³ (sèche). Sur les rives du « Furo » se trouvent la ville de Barcarena et les communautés riveraines influencées par les eaux des estuaires des rivières Pará et Acará.

Mot-clé: Furo do Arrozal; Barcarena, Pará; paramètres physico-chimiques; nutriments; chlorophylle *a*.

INTRODUÇÃO

Apesar de Barcarena ser uma "cidade da floresta", por conservar uma cultura e economia relacionadas à floresta, esta cidade tem uma variedade de empreendimentos e atividades em funcionamento, com potencial impacto

ambiental (Carmo; Costa, 2016). Assim, tem-se o complexo industrial de Barcarena, em expansão, com novas indústrias e terminais portuários privativos (TUP). Entretanto, a vulnerabilidade ambiental é fortemente influenciada pelo alto índice de chuvas (Rodrigues *et al.*, 2020), que pode influenciar a qualidade das águas estuarinas.

Diante desse cenário, o Furo do Arrozal (Barcarena) localiza-se adjacente ao complexo industrial, que lança efluentes industriais (Piratoba *et al.*, 2017) no furo. Os estuários são altamente produtivos e servem como local de reprodução de espécies, abrigo e desenvolvimento de organismos aquáticos; entretanto, qualquer desequilíbrio pode afetar sua dinâmica (Miranda *et al.*, 2017). O furo representa uma comunicação natural entre o Estuário do Rio Pará (ERP) e o Estuário do Rio Acará (ERA), sofrendo influência da maré dinâmica. O furo representa um canal de passagem de embarcações, fundeio de barcas de transporte de grãos na foz do furo em frente ao ERP. Ainda, as comunidades ribeirinhas nas margens se utilizam das águas para diversos fins (pesca, abastecimento, recreação).

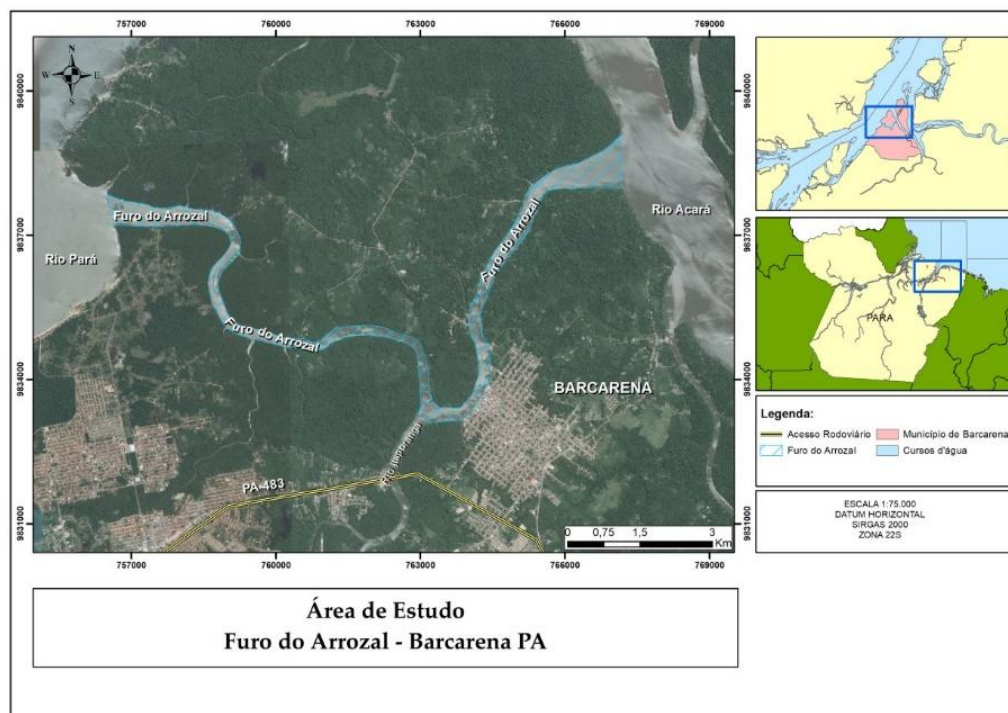
Não existem dados de monitoramento oficial contínuo ou histórico para o Furo do Arrozal, junto a órgãos competentes, impossibilitando a comparação com registros oficiais. Essa lacuna evidencia o caráter pioneiro deste artigo como fonte primária de dados ambientais. Trata-se dos efeitos da sazonalidade amazônica sobre os parâmetros físico-químicos, nutrientes dissolvidos e clorofila *a* nas suas águas estuarinas.

METODOLOGIA

Área de estudo

O Furo do Arrozal está localizado em Barcarena e pode ser acessado por vias terrestres (BR-316, Alça Viária e PA-438) ou por via aquática (ERA e ERP) (Figura 1). O furo apresenta comprimento de 17.389 m e larguras de 1.067,49 m e 616,56 m, respectivamente, na foz do ERA e do ERP.

Figura 1 - Localização do Furo do Arrozal, entre o ERA e ERP



Fonte: Os autores (2024).

Caracterização socioeconômica

A população de Barcarena, com 126.650 hab., está distribuída nas áreas rural (60%) e urbana (40%) (IBGE, 2023). A economia tem base tradicional na agricultura, porém avança com o turismo e as indústrias instaladas na cidade, onde está localizado o Porto de Vila do Conde, da Companhia Docas do Pará (CDP), além de TUPs, que formam o Distrito Portuário de Barcarena.

Caracterização ambiental

O clima equatorial úmido (Eq' oam/Equatorial Litorâneo Amazônico) da região enquadra-se na Zona Climática Tórrida (Novais; Machado, 2023). A temperatura do ar (chuvoso) é menor em relação ao período seco, enquanto a temperatura máxima do ar é de 31,4 °C (INMET, 2025). A evaporação fica entre 1.600,1 e 1.800 mm (Novais; Machado, 2023), e a umidade relativa do ar atinge 88% (primeiro trimestre do ano) (INMET, 2025). O ciclo sazonal anual das chuvas é marcado pelo movimento migratório da Zona de Convergência

Intertropical (ZCIT), definido como o máximo em precipitação tropical ou como um cinturão tropical de nuvens convectivas, cuja posição média varia sazonalmente de 9° N a 2° N no Oceano Atlântico Equatorial (Utida *et al.*, 2019). As precipitações atingem média de 2.566 mm no período chuvoso (dezembro-maio) e 420 mm no seco (junho-novembro) (INMET, 2025). Os ventos não têm muita intensidade e são frequentes entre agosto e janeiro, com velocidade média > 12,5 m/s (INMET, 2025).

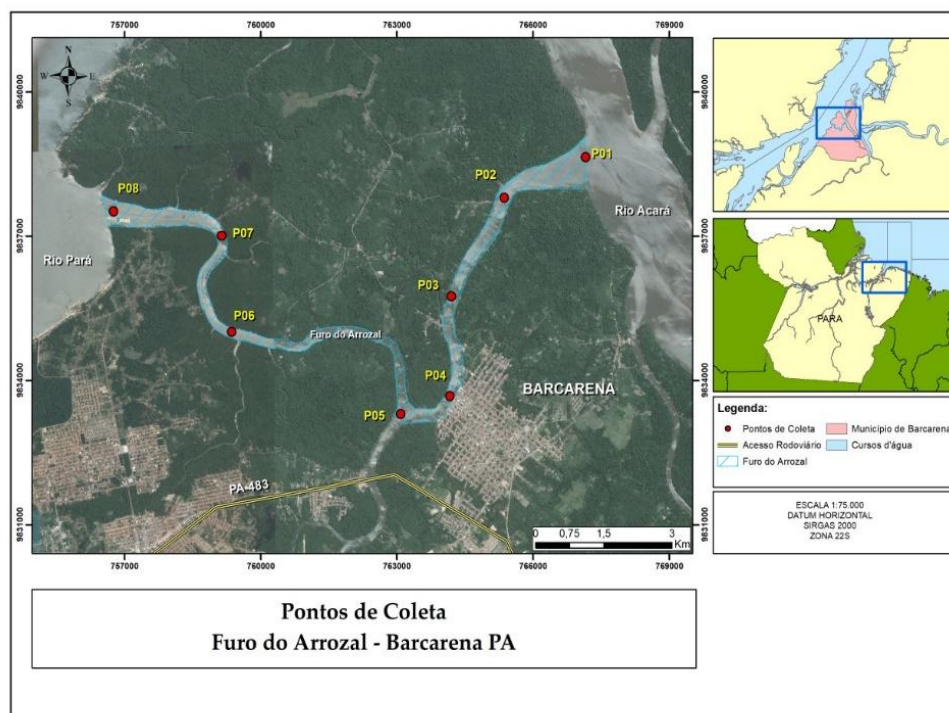
O Furo do Arrozal está inserido na Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste e na sub-região hidrográfica Guamá-Moju (ANA, 2025). As principais drenagens que compõem esta sub-bacia são os rios Guamá, Capim, Acará, Moju, Aiu-Açu, Acará Miri e Camari, os quais sofrem influência da maré dinâmica.

Na região, afloram os sedimentos do Grupo Barreiras na parte continental, e do Quaternário, na parte insular e nas margens dos rios (Porto, 2009). O relevo é subdividido em: (i) planalto rebaixado (Terra Firme), que fica fora da influência da maré; entre 5 m e 10 m, estão as Terras Altas, e os Platôs (> 10 m) (Porto, 2009). Já os tesos são elevações fora do alcance das águas, apenas na ocasião das inundações; (ii) planície de inundação (várzea) ocorre em terrenos baixos, planos às margens dos rios; as várzeas altas são formadas por restingas, diques e cordões arenosos, enquanto as várzeas baixas são representadas por igapós e lagos; (iii) e planície arenosa (praias < 2 m).

O regime do ERP é de macromaré semidiurna e é bem misturado; a preamar máxima atinge 4,4 m e a baixamar mínima, 0,2 m (DHN, 2025). No período chuvoso ocorre a maré dinâmica, e no seco, a maré salina (Rosário *et al.*, 2016). As correntes de maré alcançam velocidade máxima de 1,93 m/s na vazante e 1,72 m/s na enchente. A onda de maré é fortemente distorcida conforme se propaga estuário acima, gerando assimetrias positivas de maré ao longo do estuário (Prestes *et al.*, 2020).

Aquisição de dados e coleta de amostras de água

Figura 2 - Mapa de localização dos pontos de amostragem (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8) de água e medição de parâmetros físicos no Furo do Arrozal.



Fonte: Os autores (2024).

A metodologia foi fundamentada em uma abordagem quantitativa, com caráter descritivo e analítico, visando avaliar a qualidade da água no Furo do Arrozal, sob influência de pressões ambientais e sazonalidade. As campanhas de amostragem ocorreram em 06/05/2018 (final do chuvoso) e 18/11/2018 (final do seco), em situação de baixamar. Essa metodologia teve implicações na interpretação dos dados, uma vez que os efeitos de diluição (cheia) e de concentração (estiagem) podem estar mesclados, resultando em condições intermediárias.

Os pontos de amostragem (8) foram definidos da seguinte maneira: a montante (P1), próximo ao ERA, e a jusante (P8), próximo ao ERP, considerando zonas com diferentes níveis de pressão antrópica (áreas urbanizadas, industriais, portuárias e menos impactadas). Foram distribuídos ao longo do furo (Figura 3): P1, na foz do furo, próximo ao ERA; P2, afastado de P1, com interferência do ERA;

P3, próximo de Barcarena, onde a água pode contrastar com P4, frente à Barcarena; P5 e P6, próximos à foz dos canais de maré de Itaporanga e Murucupi, respectivamente; P7, localizado na curvatura próxima ao ERP; e P8, na foz do furo, onde ocorrem os despejos de resíduos industriais e domésticos e o fundeio de barcas. Em cada ponto, realizaram-se medições *in situ* de parâmetros físico-químicos da água superficial (20 cm), utilizando sonda multiparâmetro (Hanna, modelo 9828), abrangendo temperatura, pH, condutividade elétrica (CE), turbidez, oxigênio dissolvido (OD), sólidos suspensos totais (SST) e transparência da água, obtida mediante o uso do disco de *Secchi*. Simultaneamente, foram coletadas amostras para análises de nutrientes inorgânicos (nitrato, nitrito, N-amoniaco, fósforo total, fosfato e silicato), SST e clorofila *a*.

As análises seguiram os protocolos da *American Public Health Association* (APHA, 1999). A comparação dos resultados foi realizada com base nos padrões da Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005), adotando-se como referência a classe 3 para águas salobras (navegação), uma vez que o furo faz a conexão dos trechos superiores (Zona de Rio/ZR) do ERP e do ERA. A ZR sofre a influência da maré dinâmica (Miranda *et al.*, 2017). Para análises estatísticas e descritivas, foi utilizada a metodologia de Hammer *et al.* (2001).

Figura 3 - Pontos de amostragem: P1 (foz do Furo do Arrozal em direção ao ERA), P2 (curvatura do furo, próximo ao ERA), P3 (próximo à Barcarena), P4 (frente à Barcarena), P5 (frente ao rio Itaporanga), P6 (próximo ao rio Murucupi), P7 (curvatura próxima ao ERP), P8 (foz do furo em direção ao ERP).



Fonte: Os autores (2024).

Processamento de amostras de água

A amostragem de água para determinação das variáveis físico-químicas nos pontos de coleta foi do tipo simples (CETESP, 2020). As amostras de água foram conservadas sob refrigeração ($\pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$) em caixas isotérmicas e transportadas logo após a coleta até o laboratório. A determinação das variáveis obedeceu aos procedimentos e metodologias do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005) e HACH (2007).

Para determinação do Nitrato, Nitrito, N-amoniaco, Fósforo e Silicato, foram filtrados 500 ml das amostras de água, utilizando filtros de $0.45\text{ }\mu\text{m}$ GF/F 47 mm, que foram armazenadas em frascos de polietileno e refrigeradas para posterior análise.

A análise dos nutrientes foi realizada em duplicata (Grasshoff; Enrhard; Kremlin, 1983). Para o Fosfato, em uma alíquota de 15 ml de amostra, foram adicionados ácido ascórbico e reagente mistura para Fosfato, os quais, reagindo com o Fosfato, promovem a formação do complexo colorido. Após isso, a leitura da absorbância foi feita em comprimento de onda = 880 nm no espectrofotômetro. A amostra com 10 ml de silicato foi adicionada à reagente mistura para silicato (heptamolibdato de amônio tetrahidratado), ácido oxálico (10% p/v) e ácido ascórbico (2,8% p/v), nesta ordem, sempre agitando entre cada adição.

Os compostos de sílica dissolvida reagem com solução de molibdato quando a amostra é acidificada. Essas reações são necessárias para a manutenção da estabilidade dos compostos formados. A leitura foi feita após 20 min, em comprimento de onda = 810 nm, quando a reação atingiu seu máximo. Para amônia, as alíquotas de 25 ml foram colocadas em frascos de vidro de tampa esmerilhada, enxaguados várias vezes com água recém-destilada e com a amostra. Foram adicionados os reagentes fenol, citrato para amônio e ácido dicloroisocianúrico (DTT), sempre agitando o frasco. Após a adição, as amostras ficaram no escuro durante 12 horas e foram lidas em espectrofotômetro em comprimento de onda igual a 630 nm. A detecção do nitrito baseia-se na reação deste com amina aromática, formando um composto que reage com amina aromática secundária. Retirou-se alíquota de 15 ml da amostra e adicionaram-se os reagentes sulfanilamida e N(1-naftil)-etilenodiamina (NED), nesta ordem. Após o tempo de reação de 15 min, as amostras foram lidas em comprimento de onda de 540 nm. A determinação do nitrato foi feita a partir da redução do nitrato a nitrito. O redutor utilizado – a coluna de grânulos de cádmio envoltos em um manto de íons de cobre – possui essa função na análise. Depois de reduzidas, as amostras foram tratadas como Nitrito, adicionando-se os mesmos reagentes e sendo lidas com o mesmo comprimento de onda no espectrofotômetro.

Para a avaliação do aporte de matéria orgânica (MO) de origem fitoplanctônica, foram analisadas as concentrações de clorofila *a* (Strickland; Parsons, 1972). Após repouso dos filtros na acetona 90% no congelador por 24 horas, as amostras foram centrifugadas e quantificadas em fluorômetro *Turner*

Designs, modelo AU-10. Os valores relatados pelo fluorômetro antes da acidificação indicaram a clorofila *a*.

Análise estatística

A estatística descritiva (máximo, mínimo, média e desvio padrão) foi determinada para todas as variáveis físico-químicas e nutrientes dissolvidos. Foram feitos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Levene). Os dados que não atenderam às premissas de variâncias e normalidade foram analisados pelo teste de Mann-Whitney (M-W), e, para os dados que atenderam às premissas, foi utilizado o teste *t* de Student. O teste não paramétrico de M-W e o paramétrico *t* foram aplicados para verificar se houve diferenças estatisticamente significativas entre os períodos seco e chuvoso na área de estudo. Para melhorar a detecção de relações não lineares, os dados foram transformados por raiz cúbica ou log ($x + 1$) (Legendre; Legendre, 1998). Ambas as análises foram realizadas com o software PAST, no qual foram feitos gráficos do tipo “*violin and box*” para melhor observação das variáveis (Hammer *et al.*, 2001).

RESULTADOS

Os resultados da análise físico-química, de nutrientes e de clorofila *a* (Figuras 1, 2) permitem uma interpretação da qualidade da água do Furo do Arrozal e refletem o comportamento sazonal do índice de pluviometria: chuvoso (PC – maio) e seco (PS – novembro) do ano de 2018.

Tabela 1 - Valores dos dados obtidos no P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 nas águas do Furo do Arrozal, durante os períodos seco (PS - 1º valor) e chuvoso (PC - 2º valor)

Parâmetros	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Temperatura (°C)	28/30	28/30	28/30	28/30	28/31	28/30	29/30	29/30
pH	10,4/8,9	9,3/9,2	9,4/9,4	5,3/8,8	4,7/9,1	5,8/9,4	9,7/9,6	5,5/10,5
OD (mg/L)	4,7/4,4	4,7/4,4	4,6/4,3	4,6/4,3	4,6/4,2	4,5/4,4	4,4/4,4	4,4/4,4
CE (mS/cm)	0,01/0,0 5	0,04/0,0 5	0,02/0,0 4	0,02/0,0 6	0,02/0,0 6	0,03/0,0 6	0,04/0,0 6	0,04/0,0 5

Turbidez (UNT)	22/7	19/7	16/7	17/1	19/2	16/5	18/5	13/1
SS (mg/L)	14/7	3/7	12/7	1/1	13/2	2/5	11/5	0/2
Transparência (cm)	56/51	44/48	51/59,5	57/63	64/57,5	68/6	63/62	73/72
N -amoniacal (mg/L)	0,47/0,32	0,32/0,2	0,23/0,27	0,27/0,29	0,21/0,22	0,26/0,08	0,23/0,55	1,24/0,33
Nitrito (mg/L)	0,01/0,01	0,01/0,01	0,01/0,01	0,01/0,01	0,01/0,01	0,01/0,01	0,01/0,01	0,01/0,01
Nitrato (mg/L)	1,1/2,7	1,1/1	0,9/1	0,8/0,9	1,2/0,8	1,2/0,8	0,9/0,9	0,9/0,6
Fosforo Total (mg/L)	0,07/0,05	0,07/0,07	0,09/0,06	0,07/0,08	0,07/0,08	0,11/0,12	0,11/0,08	0,10/0,08
Fosfato (mg/L)	0,03/0,01	0,05/0,01	0,07/0,01	0,04/0,01	0,05/0	0,06/0,01	0,08/0,04	0,07/0,04
Silicato (mg/L)	1,35/0,84	1,31/0,86	2,72/0,67	0,07/0,08	2,20/1,63	5,39/1,70	5,61/0,60	5,94/0,74
Clorofila <i>a</i> (mg/m³)	4,88/21,6	4,54/6,31	7,36/33,3	0,69/	2,04/	1,04/-	5,63/-	0,69/-

Fonte: Os autores (2024).

Tabela 2 - Valores máximos, mínimos, média e desvio padrão (DP) dos dados obtidos nas águas estuarinas do Furo do Arrozal, durante os períodos seco (PS) e chuvoso (PC)

Parâmetros	Máximo		Mínimo		Média ± DP	
	PS	PC	PS	PC	PS	PC
Temperatura (°C)	31	29	30	28	30,1±0,35	28,3±0,46
pH	10,5	10,4	8,8	4,7	9,4±0,53	7,3±2,38
OD (mg/L)	4,4	4,7	4,2	4,4	4,4±0,08	4,6±0,12
CE (mS/cm)	0,06	0,04	0,04	0,01	0,1±0,01	0,0±0,01
Turbidez (UNT)	7	22	1	13	4,5±2,51	17,5±2,67
Sólidos em Suspensão (mg/L)	7	14	1	10	4,5±2,51	9,5±0,01
N -amoniacal (mg/L)	0,33	1,24	0,08	0,21	0,3±0,13	0,4±0,35
Nitrito (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0±0,0	0,0±0,0
Nitrato (mg/L)	2,7	1,2	0,6	0,8	1,1±0,66	0,1±0,02

Fosforo Total (mg/L)	0,12	0,12	0,05	0,07	0,1±0,02	0,1±0,02
Fosfato (mg/L)	0,04	0,08	0	0,03	0,0±0,02	0,1±0,02
Silicato (mg/L)	1,70	5,94	0,6	0,07	1,1±0,50	3,4±1,96
Clorofila <i>a</i> (mg/m ³)	33,3	7,36	6,3	0,69	7,7±13,55	3,4±2,57

Fonte: Os autores (2024).

Caracterização dos parâmetros físico-químicos das águas do furo do arrozal

A temperatura máxima da água no Furo do Arrozal foi de 31 °C, e a mínima de 30 °C no período seco; entretanto, no período chuvoso, os valores foram, respectivamente, de 28 °C e 29 °C, com variação sazonal de 3 °C (28 °C/P7 e 31 °C/P5) (Figuras 2 e 3; Tabelas 1 e 2). A média foi de 28,3 °C ±0,46 (chuvoso) e 30,1 °C ±0,35 (seco).

O pH no furo apresentou valores variados. Os pontos P4, P5, P6 e P8 (5,3; 4,7; 5,8; 5,5, respectivamente) apresentaram pH ácido no período chuvoso; já no seco, toda a água do furo apresentou nível básico de pH (8,9; 9,2; 9,4; 8,8; 9,1; 9,4; 9,6; 10,5). Nos pontos P1, P2, P3 e P7, o pH se manteve básico, com valores acima de 9,0 em ambos os períodos, excetuando-se o P1 (8,9/seco) (Figuras 2 e 3; Tabelas 1 e 2). O P1 (chuvoso) e o P8 (seco) destacaram-se por apresentarem valores de pH acima de 10, enquanto o P5 apresentou valor abaixo de 5 (chuvoso).

Na foz do ERA (P1), o pH foi de 10,4 (básico) no período chuvoso; já na foz em direção ao ERP, nesse mesmo período, o valor foi de 5,5 (ácido). Durante o período seco, as duas fozes do furo apresentaram pH básico (8,9/P1 e 10,5/P8) (Figuras 2 e 3; Tabelas 1 e 2). A média foi de 7,5 ± 2,38 (chuvoso) e 9,4 ± 0,53 (seco). O pH ficou acima dos valores estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357, durante o chuvoso nos pontos P1, P2, P3 e P7; e, no seco, nos pontos P2, P3, P5, P6, P7 e P8.

A turbidez das águas do Furo do Arrozal apresentou-se mais elevada no período chuvoso. No P1 foi constatada a turbidez máxima (22 UNT), sendo a mínima (13 UNT) registrada para esse período no P8 (Figuras 2 e 3; Tabelas 1 e 2). No período seco, a turbidez foi baixa, com valores máximos nos pontos P1, P2 e P3 (7 UNT) e mínimos nos pontos P4 e P8 (1 UNT). A média nos períodos

chuvoso e seco foi, respectivamente, de $17,5 \pm 2,67$ e $4,4 \pm 2,51$ UNT. Os resultados de turbidez no furo foram variáveis.

A variação do OD nas águas do furo não foi discrepante entre si. Observou-se que, no período chuvoso, as concentrações de OD foram ligeiramente maiores em comparação com o seco. Os pontos P1 e P2 apresentaram as maiores concentrações de OD (4,7 mg/L) no chuvoso, enquanto o P5 apresentou a menor concentração (4,2 mg/L) no seco. Nos pontos P7 e P8, o OD manteve-se constante em ambos os períodos (4,4 mg/L) (Figura 2; Tabela 1). A média nos períodos chuvoso e seco foi, respectivamente, de $4,6 \pm 0,12$ mg/L e $4,4 \pm 0,08$ mg/L (Tabela 2).

A transparência da água no furo variou entre 44 cm (próximo à foz com o ERA/P2) e 73 cm (foz com o ERP/P8) no chuvoso; entretanto, no seco, os valores variaram entre 48 cm e 72 cm, respectivamente, nas mesmas áreas (Figuras 2 e 3; Tabela 1). As médias no chuvoso e seco foram, respectivamente, de $59,5 \pm 9,40$ cm e $59,3 \pm 8,46$ cm. A CE das águas no furo oscilou entre 0,04 mS/cm (P2, P7, P8) e 0,01 mS/cm (P1) no chuvoso; e entre 0,06 mS/cm (P5, P6, P7) e 0,04 mS/cm (P3) no seco. A média ficou entre $0,03 \pm 0,01$ mS/cm (chuvoso) e $0,05 \pm 0,01$ mS/cm (seco).

As concentrações de SST oscilaram entre 14 mg/L (P1) no período chuvoso e 0 mg/L (P8); entretanto, no seco, foram menores, com valores de 7 mg/L (P1, P2, P3) e 1 mg/L (P4). A média foi de $7,0 \pm 0,01$ mg/L (chuvoso) e $4,5 \pm 2,51$ mg/L (seco) (Tabelas 1 e 2).

Caracterização dos nutrientes dissolvidos nas águas do Furo do Arrozal

O N-amoniaco variou de 1,24 mg/L (máximo/P8) a 0,21 mg/L (mínimo/P5) no chuvoso. No seco, os valores foram mais baixos, variando entre 0,33 mg/L (P8) e 0,08 mg/L (P6). A média foi de $0,40$ mg/L $\pm 0,35$ (chuvoso) e $0,28$ mg/L $\pm 0,13$ (seco). O N-amoniaco esteve acima do limite da CONAMA nº 357 apenas no ponto P8 (1,24 mg/L) durante o período chuvoso (Tabelas 1 e 2).

O nitrito, com concentração de 0,01 mg/L, manteve-se constante em todo o furo durante os dois períodos (Figuras 2 e 3; Tabelas 1 e 2) e ficou abaixo do limite da CONAMA nº 357; a média foi nula. O nitrato oscilou entre 1,2 mg/L (P5, P6) e 0,8 mg/L (P4) no período chuvoso, e entre 2,7 mg/L (P1) e 0,6 mg/L (P8) no seco. A média foi de 1,01 mg/L \pm 0,02 (chuvoso) e 1,09 mg/L \pm 0,66 (seco). As concentrações de nitrato ficaram acima do limite da CONAMA nº 357 em todo o furo e em ambas as estações sazonais (Tabelas 1 e 2).

A distribuição do fósforo total nas águas do furo apresentou resultado homogêneo para os pontos P1, P2, P4 e P5 (0,07 mg/L) no chuvoso e para P4, P5, P7 e P8 (0,08 mg/L) no seco. O fósforo total variou entre 0,12 mg/L (P7) e 0,07 mg/L (P5) no chuvoso, e entre 0,12 mg/L (P6) e 0,05 mg/L (P1) no seco. A média foi de 0,09 mg/L \pm 0,02 (chuvoso) e 0,08 mg/L \pm 0,02 (seco).

A concentração de fosfato nas águas do furo apresentou valores variáveis no chuvoso, com destaque para o P7 (0,08 mg/L, maior valor) e o P1 (0,03 mg/L, menor valor). Nos pontos P1, P2, P3, P4 e P6 (seco) houve homogeneidade nas concentrações (0,01 mg/L). No entanto, no seco, os valores variaram entre 0,04 mg/L (P7, P8) e 0,00 mg/L (P5). A média foi de 0,06 mg/L \pm 0,02 (chuvoso) e 0,02 mg/L \pm 0,02 (seco).

A concentração de silicato foi mais elevada no período chuvoso, nos pontos P6, P7 e P8 (5,39; 5,61; 5,94 mg/L, respectivamente) (Tabela 1). No seco, o silicato oscilou entre 1,70 mg/L (P6) e 0,08 mg/L (P4), comportando-se de forma distribuída conforme a sazonalidade, o que reflete a diversidade de valores no furo. A média foi de 3,25 mg/L \pm 1,96 (chuvoso) e 1,10 mg/L \pm 0,50 (seco).

A clorofila *a* apresentou baixas concentrações no chuvoso, com valores mais elevados no P7 (7,36 mg/m³) e menores no P4 e P8 (0,69 mg/m³). No seco, as concentrações variaram entre 33,34 mg/m³ (P3) e 6,31 mg/m³ (P2). A média foi de 3,36 mg/m³ \pm 2,57 (chuvoso) e 7,65 mg/m³ \pm 13,55 (seco) (Tabelas 1 e 2).

Estatística

Os valores médios da temperatura das águas no Furo do Arrozal foram relativamente próximos nos períodos seco e chuvoso. Mesmo com essa pequena

variação, os dados apresentaram diferença significativa entre as medianas (M-W; $p < 0,05$) em relação à sazonalidade, refletindo o regime de chuvas na região (Figura 4A). O pH apresentou média maior e menor nos períodos seco e chuvoso, respectivamente (Tabela 2), devido à entrada de água salina (Oceano Atlântico) no seco e à decomposição de MO durante o chuvoso. O pH não apresentou variação significativa entre as medianas ao longo do período de estudo.

A turbidez e os SST apresentaram o mesmo comportamento sazonal, com maiores valores médios no chuvoso e menores no seco (Tabela 2). Contudo, para ambos, não foi observada diferença significativa entre as medianas (M-W; $p < 0,05$) (Figura 4B).

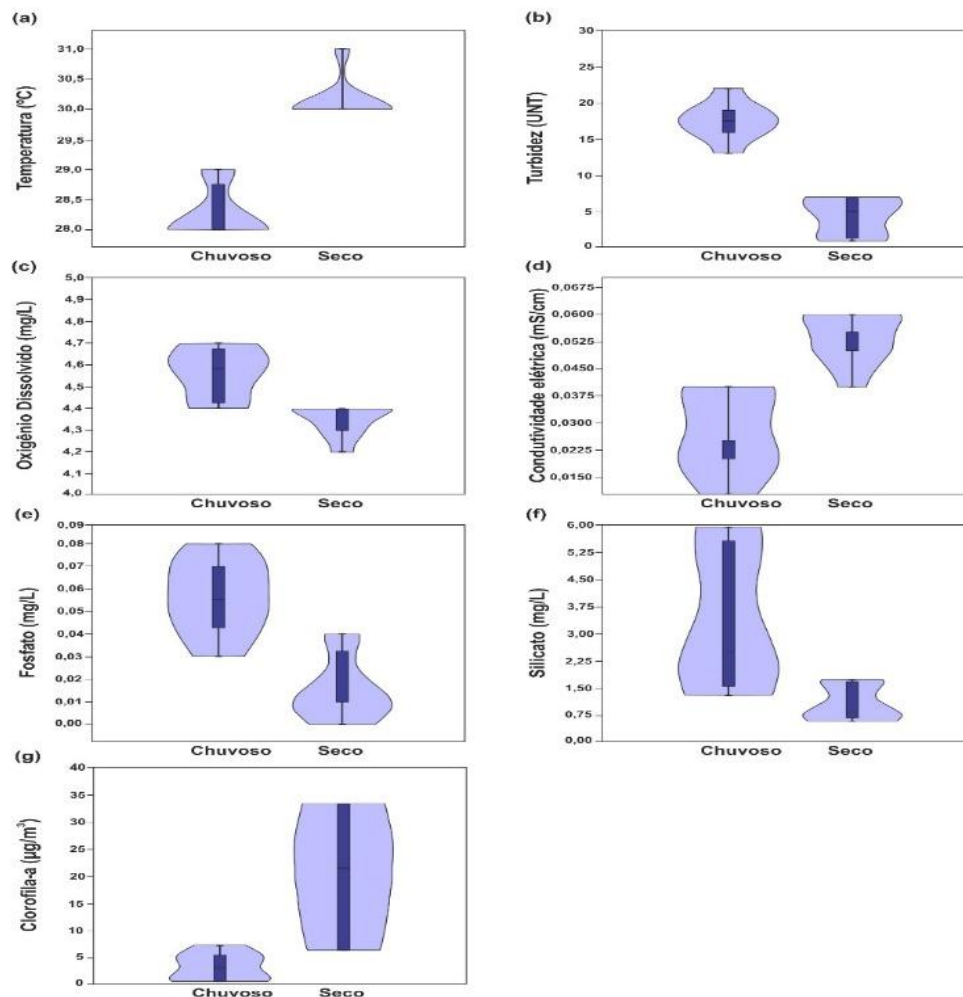
O OD apresentou valor médio maior no chuvoso e menor no seco (Tabela 2). A variação do OD entre os dois períodos foi significativa entre as médias (Teste t ; $p < 0,05$) (Figura 4C). A CE variou com maior valor médio no seco e menor no chuvoso (Tabela 2), apresentando diferença significativa entre as médias (Teste t ; $p < 0,05$) (Figura 4D).

Os compostos nitrogenados (N-amoniaco e nitrato) se comportaram de maneira inversa: o maior e o menor valor médio do N-amoniaco foram encontrados nos períodos chuvoso e seco, respectivamente (Tabela 2). Por outro lado, o nitrato apresentou valores maiores no seco e menores no chuvoso. Para esses componentes, não foi observada variação significativa entre as medianas.

Os compostos fosfatados comportaram-se de forma similar aos nitrogenados. O fosfato apresentou maior valor médio no chuvoso e menor no seco, enquanto o fósforo total apresentou maior e menor concentração média nos períodos chuvoso e seco, respectivamente (Tabela 2). No entanto, apenas o fosfato apresentou variação significativa entre as médias (Teste t ; $p < 0,05$) (Figura 4E).

As maiores e menores médias de silicato ocorreram nos períodos chuvoso e seco, respectivamente. A clorofila *a* também apresentou variação sazonal, com maior valor no seco e menor no chuvoso. Ambas as variáveis apresentaram diferença significativa entre as médias (Teste t ; $p < 0,05$) (Figuras 4F e 4G).

Figura 4 - Gráficos do tipo “violin and box” das variáveis bióticas e abióticas significativas no Furo do Arrozal: (A) Temperatura, (B) Turbidez, (C) OD, (D) CE, (E) Fósforo, (F) Silicato e (G) Clorofila *a*



Fonte: Os autores (2024).

DISCUSSÃO

Parâmetros físico-químicos das águas do furo do arrozal

A temperatura depende de fatores como clima, composição geológica, CE das rochas, entre outros (Matic *et al.*, 2013), e variou apenas 3 °C nos dois períodos sazonais, mostrando estabilidade térmica ao longo do ano (Esteves, 2011; Matic *et al.*, 2013). Próximo ao Furo do Arrozal, Medeiros Lima e Guimarães (2016) verificaram temperatura de 28 °C (chuvoso) e 29 °C (seco) nas águas do rio Murucupi. Da mesma forma, na Orla de Barcarena, Piratoba *et al.*

(2017) e Ferreira *et al.* (2022) mediram temperaturas entre 30,4 °C e 30,30 °C (seco) e entre 29,4 °C e 29,26 °C (chuvoso). Tais resultados foram evidenciados no ERP (29 °C).

O comportamento do pH nas águas do furo foi variável, indicando a predominância de teores de pH básico na maior parte do furo, com maiores valores nas duas fozes (ERA e ERP): 10,4 (seco) e 10,5 (chuvoso), respectivamente. Os valores de pH no Furo do Arrozal variaram entre 4,7 (chuvoso/P5 – rio Itaporanga, afluyente do furo) e 10,5 (seco/P8), evidenciando amplitude significativa e não usual para estuários. Em geral, o índice de chuvas tende a elevar o pH, pois aumenta a diluição de compostos dissolvidos. A faixa de pH mais adequada para a vida aquática está entre 6 e 9; entretanto, as águas do Furo do Arrozal apresentaram valores fora daqueles estabelecidos pela Resolução nº 357 do CONAMA.

Essa variabilidade sugere a atuação conjunta de fatores naturais e antrópicos. Os picos alcalinos registrados no P1 e P8 podem estar relacionados à elevada atividade fotossintética e à possível entrada de efluentes industriais ricos em compostos nitrogenados. A fotossíntese, ao consumir dióxido de carbono (CO₂), altera o equilíbrio ácido-base do sistema, elevando o pH da água. Adicionalmente, a presença de compostos como a amônia, oriundos da degradação de MO, também pode contribuir para a alcalinização do meio. Por outro lado, os menores valores de pH podem estar associados à lixiviação de ácidos orgânicos e ao aporte de MO oriunda das margens e de solos hidromórficos, comuns em regiões com influência de águas pretas. Esses processos são intensificados durante o período chuvoso, quando o escoamento superficial carrega substâncias orgânicas em maior proporção para o furo.

Na parte central do furo (P3 a P6), os parâmetros tendem a refletir um ambiente de transição, com valores intermediários de CE e transparência. Essa zona é um corredor de navegação de embarcações de pequeno e médio porte, o que implica perturbação física da coluna d'água e potencial ressuspensão de sedimentos. A presença de material particulado em suspensão (MPS) e as variações na turbidez nesses pontos podem indicar influência antrópica direta,

além de receber cargas difusas oriundas do escoamento superficial da área urbana de Barcarena.

Já próximo ao ERP (P8), valores elevados de pH e CE, principalmente no período seco, sugerem influência marinha devido à entrada da maré. Contudo, no mesmo ponto (P8), observam-se concentrações maiores de N-amoniaco, resultantes de despejos industriais ou do fundeio de embarcações de grande porte que operam nos portos. A superposição entre influência oceânica e aporte de poluentes locais evidencia a complexidade da dinâmica hidrológica nessa região, onde processos naturais e antrópicos coexistem e se retroalimentam.

Porto (2009) mediu pH de 5,8 no rio Barcarena (afluente do rio Itaporanga). Os valores de pH dos rios de “águas pretas”, como o rio Barcarena (próximo à nascente), são ácidos (3,8 a 4,9). Medeiros Lima e Guimarães (2016) obtiveram teores de pH de 6,1 e 7,2; 5,7 e 7,2 no mínimo e máximo, na baixamar e preamar no período chuvoso, respectivamente, enquanto no seco esses valores estiveram entre 5,6 e 6,6 na baixamar e 5,6 e 7,1 na preamar. Na Orla de Barcarena, Piratoba *et al.* (2017) e Ferreira *et al.* (2022) mediram pH, respectivamente, de 7,02 e 9,44 (seco) e 7,34 e 7,64 (chuvoso). Essas pesquisas evidenciam valores de pH próximos aos obtidos no Furo do Arrozal.

De acordo com Sperling (2007), o OD se reduz ou desaparece quando a água recebe quantidades de substâncias orgânicas biodegradáveis oriundas, por exemplo, de esgotos domésticos. Assim, quanto maior a carga de MO, maior o número de micro-organismos decompositores e, conseqüentemente, maior o consumo de OD. Neste estudo, o OD apresentou valor médio de 4,6 mg/L (chuvoso) e 4,4 mg/L (seco), abaixo do limite mínimo de 5 mg/L estabelecido pela Resolução nº 357 do CONAMA (Brasil, 2005). No rio Murucupi, também foram encontrados valores de OD (janeiro, abril) abaixo do limite (1,43 mg/L), caracterizando condições de anaerobiose em alguns pontos do rio (Faial, 2009). Na Orla de Barcarena, o OD foi relativamente alto, tanto no chuvoso (7,37 mg/L) como no seco (7,55 mg/L) (Ferreira *et al.*, 2022).

A CE determina o estado e a qualidade da água (Piñeiro Di Blasi *et al.*, 2013). Nas regiões tropicais, a CE está relacionada às características geoquímicas da área e ao clima (periodicidade), sendo menor no chuvoso por causa do

aumento do fator de diluição dos íons. Contudo, o lançamento de efluentes industriais pode elevar os valores da CE independentemente da sazonalidade (Esteves, 2011). No Furo do Arrozal, os teores de CE variaram de 0,01 a 0,04 mS/cm (chuvoso) e de 0,05 a 0,06 mS/cm (seco). A CE do P1 ao P8 apresentou crescimento gradativo durante o chuvoso, mas, no seco, obteve-se os maiores valores, o que pode ser evidenciado pela maior diluição de poluentes na água durante o chuvoso.

Segundo Piratoba *et al.* (2017), a CE na área portuária de Barcarena variou de 35,77 a 43,22 mS/cm (chuvoso) e de 45,08 a 68,08 mS/cm (seco), podendo estar relacionada à influência de efluentes domésticos e industriais. As águas naturais apresentam teores de CE entre 10 e 100 mS/cm, e em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1.000 mS/cm (Sperling, 2007). Ferreira *et al.* (2022) observaram valores de CE de 37,4 mS/cm e 49,0 mS/cm na orla de Barcarena, bem maiores que os deste estudo, sendo essa área mais exposta ao Oceano Atlântico.

A turbidez da água é dada pela presença de MPS, tais como argila, sílica e MO. Nos períodos chuvoso e seco, a turbidez variou de 1 UNT a 22 UNT. Na foz do furo (próximo ao ERA), a turbidez é maior, assim como no P5 (Figuras 2 e 3; Tabelas 1 e 2), próximo ao rio Itaporanga, pois, no período chuvoso, as águas são mais turvas devido ao maior aporte de sólidos carregados pelo escoamento superficial. No rio Murucupi, após o transbordamento de uma barragem com resíduos de mineração, Faial (2009) obteve valor de turbidez de 313,3 UNT, acima do máximo permitido pela CONAMA (Brasil, 2005). Neste rio, a CE está no intervalo de 17 a 34 UNT (Pereira *et al.*, 2007), próximo ao valor deste estudo. Em casos de turbidez muito elevada, ocorre a redução da zona eufótica, onde a fotossíntese ainda pode ocorrer.

A transparência da água no furo variou de 44 a 76 cm de acordo com a sazonalidade e, segundo Sioli (1984), essas águas podem ser classificadas como “águas brancas”, cuja transparência varia entre 10 e 50 cm. Para Costa (2014), os sólidos em suspensão totais (SST) provêm do carreamento de solos pelas águas pluviais, erosão, desmatamento e outras ações antrópicas. O ERP recebe um grande aporte de SST.

Os SST no Furo do Arrozal variaram sazonalmente de 1 a 14 mg/L, com maiores concentrações no período chuvoso e maior amplitude entre chuvoso e seco no P5 (11 mg/L). Os SST podem influenciar a turbidez da água e sua transparência, reduzindo a entrada de energia luminosa disponível para a fotossíntese, além de indicar contaminação da água por patógenos e MO inorgânica.

De acordo com Costa (2014), o MPS na superfície variou de 8 a 85,2 mg/L (chuvoso) e de 6,4 a 36,8 mg/L (seco), com média de 15,89 mg/L nas águas do ERP. Entretanto, na orla de Barcarena, Piratoba *et al.* (2017) e Ferreira *et al.* (2022) identificaram SST com valores variados e mais altos, respectivamente, de 16,40 mg/L e 79,11 mg/L (seco) e 10,38 mg/L e 55,45 mg/L (chuvoso).

Nutrientes das águas do furo do arrozal

O estágio de poluição de um corpo hídrico pode ser indicado pela forma como o nitrogênio é encontrado. Nos casos de poluição recente, o nitrogênio está presente como amônia ou nitrogênio orgânico; em casos de poluição antiga, sob a forma de nitrato. Neste estudo, o N-amoniaco apresentou sua maior concentração (1,24 mg/L) na foz do ERP (P8; Figuras 2 e 3; Tabela 1) durante o período chuvoso. Entretanto, o P1 (0,47 mg/L – chuvoso), o P7 (0,55 mg/L – seco) e o P8 (1,24 mg/L – chuvoso) indicaram possível contribuição de contaminação recente.

A concentração de nitrito no furo manteve-se estável (0,01 mg/L), o que se deve ao fato de ele ser produto da oxidação do amônio ou da redução dos nitratos. Na água, em condições normais de oxidação, a conversão de nitritos em nitratos é quase imediata, sendo sua presença pontual e temporária. Qualquer acúmulo reflete a existência de processos inibitórios da formação de nitratos. As concentrações de nitrito são relativamente reduzidas, raramente excedendo, nas águas superficiais, valores de 1 mg/L.

O nitrato ultrapassou o limite (0,70 mg/L) estabelecido pela Resolução nº 357 do CONAMA (Brasil, 2005) para águas salobras de classe 3 em todo o furo, com destaque para o P1 no período seco (2,7 mg/L), exceto no P8 (0,6 mg/L).

Esses valores indicam aporte contínuo e significativo de compostos nitrogenados, os quais podem ter origem em fontes pontuais e difusas. Entre as fontes prováveis, destacam-se os efluentes domésticos lançados *in natura* pelas comunidades ribeirinhas e os despejos industriais oriundos do polo industrial de Barcarena.

Em contraste com os elevados teores de nitrato, a baixa concentração de nitrito (0,01 mg/L) sugere rápida conversão de compostos nitrogenados reduzidos, indicando um processo eficiente de nitrificação, típico de ambientes contaminados de forma crônica. Tal padrão reforça a hipótese de contaminação persistente por esgotos e fertilizantes, cujos efeitos são intensificados durante o período seco, quando há menor diluição hídrica.

Na confluência do furo com o ERA (P1), os valores elevados de nitrato (seco) podem estar diretamente associados à descarga proveniente das áreas urbanas de Barcarena e à ocupação irregular de suas margens, onde se registra a presença de comunidades ribeirinhas desprovidas de saneamento básico. A baixa salinidade e CE nessa região também evidenciam a dominância de fluxo fluvial.

Monteiro, El-Robrini e Alves (2015) apontaram resultados para N-amoniaco de 0,44 a 0,55 µM/L (chuvoso) e de 0,15 a 0,77 µM/L (seco) no canal de maré de Paracauari. As concentrações mínimas de nitrito foram iguais a 0,01 µM/L em todos os períodos, e as máximas variaram de 0,09 µM/L (chuvoso) a 0,07 µM/L (seco). A quantidade natural de nitrato e amônia em águas superficiais é baixa (<1 mg/L). Concentrações acima de 5 mg/L de NO₃⁻ indicam poluição por fertilizantes utilizados na agricultura ou por dejetos humanos e animais. Concentrações acima de 0,2 mg/L de NO₃⁻ desencadeiam o processo de proliferação de plantas (eutrofização).

O fósforo total apresentou valores máximos de até 1,24 mg/L, e sua distribuição no furo foi variável, com maiores concentrações no período chuvoso e nos demais pontos no seco. A presença desse nutriente em grandes quantidades pode contribuir para o aumento de plantas aquáticas. Segundo Medeiros Lima e Guimarães (2016), o fósforo total no rio Murucupi, no chuvoso (janeiro e abril), apresentou valores mínimos e máximos de 0,05 e 0,5 mg/L (baixamar) e 0,04 e 0,5 mg/L (preamar). No período seco, esses valores estiveram entre 0,01 e 0,07

mg/L (baixamar) e 0,03 e 0,08 mg/L (preamar). Isso demonstra que nesse rio ocorrem grandes variações de fósforo total entre os períodos chuvoso e seco.

O fosfato nas águas do furo apresentou comportamento elevado no período chuvoso, provavelmente devido ao escoamento superficial de compostos contendo fosfato. Sua concentração máxima atingiu 0,08 mg/L no P7 (chuvoso); entretanto, no período seco, não houve presença de fosfato no P5. De acordo com Monteiro, El-Robrini e Alves (2015), no estuário do rio Paracauari o fosfato atingiu o máximo de 1,08 $\mu\text{M/L}$ e o mínimo de 0,77 $\mu\text{M/L}$ (chuvoso), e de 0,11 $\mu\text{M/L}$ a 0,94 $\mu\text{M/L}$ (seco).

O silicato, em locais sob influência de alterações climáticas, atua como excelente traçador de aportes terrestres e de ações antrópicas (erosão e ocupação indevida do solo). Os resultados médios para silicato foram de 3,35 mg/L (chuvoso) e 1,10 mg/L (seco), com maiores concentrações observadas desde a descarga efluente do rio Murucupi até a foz do furo no ERP. A elevada concentração de silicato pode estar relacionada à influência da maré que adentra o furo e aos processos físicos de diluição das águas fluviais. Principalmente no período chuvoso, essa concentração reflete a intensa lixiviação dos sedimentos por intemperismo nas margens do ERP e do próprio furo. Assim, o comportamento sazonal do silicato pode ser comparado ao resultado de Monteiro, El-Robrini e Alves (2015), que apontaram valores de 41,46 a 83,10 $\mu\text{M/L}$ (chuvoso) e de 14,98 a 31,13 $\mu\text{M/L}$ (seco).

Clorofila *a*

Os resultados para clorofila *a* nas águas do furo foram menores (0,69 a 7,36 mg/m³) no chuvoso e mais expressivos (6,31 a 33,34 mg/m³) no seco. Em contrapartida, Alves *et al.* (2012) mostraram maiores concentrações de clorofila *a* no período chuvoso (mínimo de 4,22 mg/m³ e máximo de 38,31 mg/m³) e menores no seco (mínimo de 3,90 mg/m³ e máximo de 25,81 mg/m³) no rio Arari (Ilha do Marajó). Esses valores são próximos aos de outros ambientes eutróficos (Sousa *et al.*, 2024) e revelam o rio Arari como uma área de alta fertilidade.

As concentrações de clorofila *a* neste estudo foram maiores no período seco, diferindo da sazonalidade observada por Alves *et al.* (2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Furo do Arrozal, a sazonalidade amazônica exerceu forte influência sobre os parâmetros físico-químicos e os nutrientes. A temperatura apresentou valores mais elevados no período seco; a turbidez foi alta em todo o furo durante o período chuvoso; a CE apresentou valores maiores no seco; entretanto, os SST foram mais influenciados no chuvoso.

Entre os parâmetros químicos, o pH se destacou, pois houve evidências da influência sazonal na foz do furo em direção ao ERA (P1), em frente aos rios Murucupi (P4) e Itupiranga (P5), e na foz do furo em direção ao ERP (P8). O OD apresentou seus maiores valores no período chuvoso, estabilizando-se com valores semelhantes nos dois períodos em P7 e P8. Os valores de clorofila *a* foram mais elevados no período seco.

Os nutrientes também sofreram influência da sazonalidade: o nitrogênio amoniacal apresentou maiores valores em todo o furo no chuvoso; o nitrato se destacou na foz do furo em direção ao ERA (P1 – seco); o fósforo total sofreu influência no chuvoso, com valores mais elevados no seco nos pontos P1, P3, P7 e P8. O fosfato apresentou maiores concentrações no período chuvoso, assim como o silicato. As variáveis que não sofreram influência sazonal foram a transparência e o nitrito.

Nas águas do furo, os parâmetros apresentaram variações sazonais, observando-se que o nitrito foi exceção, pois sua concentração (0,01 mg/L) permaneceu constante em todo o furo nos dois períodos. O pH não esteve em conformidade em ambos os períodos, excedendo os limites de alcalinidade, e, no chuvoso, o nível ácido ficou abaixo do padrão. As concentrações de OD nos dois períodos estiveram inferiores ao limite permitido. O N-amoniacal esteve em conformidade nos períodos chuvoso e seco, exceto no P7 (chuvoso), onde ultrapassou o valor máximo permitido. O nitrato, nos dois períodos, não esteve em conformidade com a resolução.

Em função da comunicação do furo com o ERA e o ERP, este recebeu toda a influência antropogênica, o que resultou em uma qualidade inferior das águas, demonstrada pelos valores abaixo dos parâmetros estabelecidos pela Resolução nº 357 do CONAMA (Brasil, 2005) no momento da pesquisa.

Assim, a ocupação urbana desordenada, a ausência de saneamento, a presença de polos industriais e as atividades portuárias exercem pressões significativas e diferenciadas sobre o furo. Além do monitoramento sazonal, este artigo propõe que os futuros estudos adotem uma perspectiva territorializada, articulando os resultados analíticos ao mapeamento das fontes de impacto e à dinâmica de uso e ocupação do solo. Tal abordagem permitirá não apenas uma interpretação pontual dos dados, mas também a construção de um modelo de compreensão ambiental que subsidie o planejamento e a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Barcarena.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC/CNPq) e à sua equipe pelo apoio nas atividades de laboratório; aos laboratórios do Instituto Federal do Pará (Campus Marabá Industrial) e de Química Ambiental da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Redes hidrográficas**. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 12 de jan. 2025.

ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; MONTEIRO, S.; BARBOSA, L.; GUIMARÃES, J. T. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do rio Arari (Ilha de Marajó). *Acta Amazônica*, v. 42, n. 1, p. 115-124, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000100014>

APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: Library of Congress, 2005. ISBN-13, 978-0875530130.

CARMO, M. B. S.; COSTA, S. M. F. DA. Os paradoxos entre os urbanos no município de Barcarena, Pará. **Urbe - Revista Brasileira de Gestão**

Urbana, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 291-305, 2016. ISSN: 2175-3369.
<https://doi.org/10.1590/2175-3369.008.003.AO01>

CETESP. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do estado de São Paulo**. Apêndice A - Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: CETESP, 2021. Disponível em: <https://boletimdosaneamento.com.br/relatorio-qualidade-das-aguas-interiores-no-estado-de-sao-paulo-boletim-2020/>. Acesso em: 25 de mar. 2020.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n. 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**. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2005. Disponível em: <https://www.mma.gov.br> 3. Acesso em: 16 abr. 2020.

COSTA, M. DA S. **Aporte hídrico e de material particulado em suspensão para a Baía do Marajó**: Contribuições dos rios Jacaré Grande, Pará e Tocantins. 2014. 46p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

DHN. Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Tábua de maré**. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>. Acesso em: 12 de mar. 2025.

ESTEVES, F. Fundamentos de limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 826 p, 2011. ISBN: 9788571932715.

FAIAL, K. DO C. F. **Avaliação físico-química e determinação de metais em sedimento de fundo e água superficial do rio Murucupí em Barcarena no Pará**. 109p. 2009. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, 2009.

FERREIRA, D. P. M.; CARNEIRO, B. S.; MARQUES, L. C. A.; EL-ROBRINI, M. Qualidade das Águas Estuarinas do Rio Pará na Zona Portuária de Vila do Conde (Município de Barcarena/Pará), Geografia (**Londrina**), v. 47, n. 1, 2022. ISSN: 1983-8700. <https://doi.org/10.5016/geografia.v47i1.15850>

GRASSHOFF, F. K.; ENRHARD, T. M.; KREMLING, K. Methods of Seawater Analysis. Nova Iorque: Verlag Chemie, 634 p., 1983. ISBN 3-527-29589-5.

HACH. **Manual do espectrofotômetro**. HACH®. [S.l.]: Hach Company, 2007. 128 p.

HAMMER, D. X.; SEIGERT, J.; STONE, M. O.; RYLANDER, H. G.; WELCH, A. J. Infrared spectral sensitivity of *Melanophila acuminata*. **Journal of Insect Physiology**, Oxford, v. 47, n. 12, p. 1441-1450, dez. 2001.

[https://doi.org/10.1016/S0022-1910\(01\)00134-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1910(01)00134-2)

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022**. Prévia da população calculada com base nos resultados do Censo Demográfico 2022. [S.l.]: IBGE, 22 jun. 2023. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=35938>. Acesso em: 24 de fev. 2024.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos anuais – ano 2025**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos2025>. Acesso em: 12 de jan. 2025.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology**. 2 ed. Amsterdam: Elsevier, 1998, 853p. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00291-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00291-X)

MATIC, N.; MIKLAVCIC, I.; MALDINI, K.; DAMIR, T.; CUCULIC, V.; CARDELLINI, C. Geochemical and isotopic characteristics of karstic springs in coastal mountains (Southern Croatia). **Journal of Geochemical Exploration**, Amsterdam, n. 132, p. 90-110, 2013.

<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.06.007>

MEDEIROS, A. C.; LIMA, M. O.; GUIMARÃES, R. M. Avaliação da qualidade da água de consumo por comunidades ribeirinhas em áreas de exposição a poluentes urbanos e industriais nos municípios de Abaetetuba e Barcarena no estado do Pará, Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 695-708, mar. 2016. <https://doi.org/10.1590/1413-81232015213.26572015>

MIRANDA, L. B. DE; PINHEIRO, A. F.; KJERFVE, B.; MENDES DE, C. F. B. **Fundamentals of estuarine physical oceanography**. Singapore: Springer, 480, 2017. ISBN: 9789811030406.

MONTEIRO, S. M.; EL-ROBRINI, M.; ALVES, I. C. C. Dinâmica sazonal de nutrientes em estuário amazônico. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 151-162, abr. 2015. <https://doi.org/10.4215/RM2015.1401.0010>

NOVAIS, G. T.; MACHADO, L. A. Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 32, p. 1-39, 2023. ISSN 2237-8642. <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16163>

PEREIRA, S. F.; LIMA, M. A.; FREITAS, K. H.; MESCOUTO, C. S.; SARAIVA, A. F. Estudo químico ambiental do rio Murucupi - Barcarena, área impactada

pela produção de alumínio. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 2, n. 3, p. 62-82, 2007. ISSN: 1980-933X. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.34>

PIÑEIRO DI BLASI, J. I.; MARTÍNEZ TORRES, J.; GARCÍA NIETO, P. J.; ALONSO FERNÁNDEZ, J. R.; DÍAZ MUÑIZ, C.; TABOADA, J. Analysis and detection of outliers in water quality parameters from different automated monitoring stations in the Miño river basin (NW Spain). **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 60, p. 60-66, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.054>

PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONCALVES, W. G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 12, n. 3, p. 435-456, 2017. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1910>

PORTO, L. J. L. DA S. **Estudo da qualidade dos sedimentos de fundo do rio Barcarena**. 2009, 101p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

PRESTES, Y.O.; BORBA, T.A. DA C.; SILVA, A.C. DA.; ROLLNIC, M. A discharge stationary model for the Pará-Amazon estuarine system. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, Amsterdam, v. 28, p.1-12, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100668>

RODRIGUES, H. C. T.; CAMPOS, P. S. DA S.; ALMEIDA, H. F. P.; PAIVA, P. F. P. R.; SANTOS JR., P. C. DOS; MARQUES, G. T.; MORAIS, E. C.; SOARES, J. A. C.; ALMEIDA, J. F. DE S.; CHASE, O. A. Análise da vulnerabilidade ambiental do município de Barcarena-PA. **Brazilian Journal of Development, Curitiba**, v. 6, n. 1, p. 1598-1612, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-110>

ROSÁRIO, R. P.; BORBA, T. A. C.; SANTOS, A. S.; ROLLNIC, M. Variability of Salinity in Pará River Estuary: 2D Analysis with Flexible Mesh Model. In: VILA-CONCEJO, A.; BRUCE, E.; KENNEDY, D. M.; MCCARROLL, R. J. (eds.), Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia). **Journal of Coastal Research**, 2016 (Special Issue, n. 75), p. 128-132. <https://doi.org/10.2112/SI75-026.1>

SIOLI, H. The Amazon and its main influents: hydrography, morphology of the river courses, and river types. In: SIOLI, H. (ed.). **The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Dordrecht: Junk, 1984. p. 127-165. (Monographiae Biologicae). https://doi.org/10.1007/978-94-009-6542-3_5

SOUSA, P. H. C.; SANTOS, R. M.; EL-ROBRINI, M.; PEREIRA, J. A. R.; SANTOS, M. D. M. Ecological index analysis in the coastal and estuarine waters of the tropical Amazon Region. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, Amsterdam, v. 309, p. 1-10, abr. 2024.

<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2024.108964>

SPERLING, V. M. **Estudo de modelagem da qualidade da água de rios**. 1. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007. 588p. ISBN: 8588556072.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A. **A practical handbook of seawater analysis**. 2. ed. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, 1972 14. (Bulletin Fisheries Research Board of Canada, n. 167), 1972.

<http://dx.doi.org/10.25607/OBP-1791>.

UTIDA, G.; CRUZ, F. W.; ETOURNEAU, J.; BOULOUBASSI, J.; SCHEFUß, E.; VUILLE, M.; NOVELLO, V. F.; PRADO, L. F.; SIFEDDINE, A.; KLEIN, V.; ZULAR, A.; VIANA, J. C. C.; TURCQ, B. Tropical South Atlantic influence on Northeastern Brazil precipitation and ITCZ displacement during the past 2300 years. **Scientific Reports**, London, v. 9: n. 1698, p. 1-8, 2019.

<https://doi.org/10.1038/s41598-018-38003-6>

Como citar este artigo:

SIMÃO, C. S.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; SILVA, N. M. Influência da sazonalidade sobre as águas estuarinas de um furo amazônico (Arrozal – Barcarena, Pará, Amazônia Oriental). **GEOGRAFIA**, Rio Claro-SP, v. 50, n. 1, p. 512-539, 2025. DOI:

Recebido em 06 de janeiro de 2025

Aceito em 04 de julho de 2025