

DINÂMICA DA QUALIDADE DA ÁGUA DE UMA LAGUNA COSTEIRA: CASO DA LAGOA DE GAROPABA – SC

WATER QUALITY DYNAMICS OF A COASTAL LAGOON: CASE OF GAROPABA LAGOON - SC

João Manoel do NASCIMENTO¹, Thiago Pereira ALVES², Juliano da Cunha GOMES³

¹Prefeitura de Municipal de Garopaba, Secretaria de Infraestrutura. Praça Gov. Ivo Silveira, 296. Garopaba, SC – Brasil.

E-mail: engenharia@garopaba.sc.gov.br

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Avenida Mauro Ramos, 950. Centro, Florianópolis – SC.

E-mail: thiago.alves@ifsc.edu.br

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Laboratório de Tecnologias Ambientais. Rua Maria Aparecida Barbosa, 153, Campo D'uma- Garopaba – SC. E-mail: juliano.gomes@ifsc.edu.br

Introdução
Materiais e métodos
Campanhas amostrais
Processamento e análise das amostras
Informações meteorológicas
Análise estatística
Resultados e Discussão
Conclusões
Referências

RESUMO - A zona costeira de Santa Catarina tem enfrentado desafios crescentes em função do modelo de desenvolvimento econômico adotado. Este estudo analisou a variação espacial e temporal dos parâmetros físicos e químicos de qualidade da água e sua relação com as condições meteorológicas em dois períodos distintos do ciclo sazonal na Lagoa de Garopaba (SC). Foram realizadas duas campanhas de coleta de amostras abrangendo dois períodos distintos do ciclo sazonal, com duração de 12 semanas cada. As amostragens ocorreram em três pontos da lagoa. Informações meteorológicas diárias foram obtidas do modelo MERRA-2. Os resultados demonstraram uma resposta clara e sensível da lagoa às variações meteorológicas e oscilações do ciclo sazonal, especialmente em relação à temperatura da água, turbidez, produção primária (clorofila-a) e nível do espelho d'água. As análises apontaram que a precipitação acumulada exerce forte influência no nível da água. A temperatura da água esteve fortemente correlacionada com a temperatura do ar. O pH variou abruptamente em resposta à dinâmica entre águas pluviais e marinhas. A clorofila-a evidenciou aumento expressivo na segunda campanha durante o fechamento do canal extravasor. As análises de fosfato evidenciaram picos significativos, principalmente próximos a áreas urbanizadas, sugerindo aportes esporádicos de efluentes de origem antrópica.

Palavras-chave: Lagoa costeira. Pressão antrópica. Qualidade da água. Relação clima e ambiente.

ABSTRACT - The coastal zone of Santa Catarina has faced increasing challenges due to the adopted economic development model. This study analyzed the spatial and temporal variation of physical and chemical water quality parameters and their relationship with meteorological conditions during two distinct periods of the seasonal cycle in the Garopaba Lagoon (SC). Two sampling campaigns were conducted, covering two distinct periods of the seasonal cycle, each lasting 12 weeks. Sampling was carried out at three points in the lagoon. Daily meteorological information was obtained from the MERRA-2 model. The results demonstrated a clear and sensitive response of the lagoon to meteorological variations and fluctuations in the seasonal cycle, especially regarding water temperature, turbidity, primary production (chlorophyll-a), and water level. The analyses indicated that accumulated precipitation strongly influences water level. Water temperature was strongly correlated with air temperature. pH varied abruptly in response to the dynamics between rainwater and seawater. Chlorophyll-a levels showed a significant increase in the second campaign during the closure of the spillway. Phosphate analyses revealed significant peaks, particularly near urbanized areas, suggesting sporadic inputs of anthropogenic effluents.

Keywords: Coastal lagoon. Anthropic pressure. Water quality. Climate and environment relationship.

INTRODUÇÃO

Lagoas costeiras são massas de água, geralmente orientadas paralelamente à costa, separadas do oceano por uma barreira, possuindo uma ou mais conexões com o mar (Horn Filho, 2003). Uma lagoa pode ou não estar sujeita à influência das marés ou da salinidade, podendo variar de um lago costeiro de água doce a uma lagoa hipersalina, dependendo do equilíbrio hidrológico (Kjerfve, 1994). Sua formação inclui a atuação de processos em diferentes escalas de tempo relacionados aos fatores geológicos, hidrológicos, climáticos e eco-

lógicos, resultando em ambientes deposicionais originados pela variação do nível do mar durante os períodos do Holoceno e Pleistoceno formando as barreiras costeiras que separam o oceano do corpo d'água adjacente. São ambientes relativamente rasos e variam em tamanho e forma em relação aos múltiplos fatores geológicos, hidrológicos, climáticos e afins (Horn Filho et al., 2011).

Os regimes de salinidade estão relacionados principalmente com a interação da drenagem continental e da intrusão de água salina do mar

adjacente, condicionando a ecologia destes ambientes que, por sua vez, influenciam no seu desenvolvimento e expansão (Asmus, 1998).

Assim, a alternância entre períodos de isolamento e conexão da lagoa com o oceano influencia significativamente a biodiversidade local, visto que muitas espécies aquáticas dependem dessas trocas para a sua reprodução, migração e dispersão larval (Wolanski et al., 2018).

Além disso, a variabilidade na entrada de água marinha impacta na produtividade primária destes ambientes, regulando a estrutura da comunidade do fitoplâncton e outros organismos base da cadeia alimentar (Haraguchi et al., 2015).

As lagoas costeiras possuem elevada relevância social e econômica, considerando que cerca de 60% da população mundial habita regiões próximas a essas áreas, que oferecem, além de importantes serviços ecossistêmicos, recursos naturais exploráveis para atividades como a aquicultura, pesca, turismo e transporte (Ligorini, 2023). Dentre os importantes serviços ecossistêmicos destaca-se a ação como barreiras naturais contra eventos meteorológicos e oceanográficos extremos (Polette, 2023).

A expansão urbana nas regiões costeiras compromete a qualidade das águas que aportam nas lagoas costeiras ao suprimir as áreas úmidas para ocupação antrópica, trazendo consigo o descarte inadequado de resíduos sólidos e o incremento da carga de efluentes, muitas vezes sem tratamento.

Esses fatores contribuem para processos de eutrofização, hipóxia e proliferação de florações de algas nocivas, com impactos severos sobre a biodiversidade aquática e a saúde humana (Bricker et al., 2008; Abreu et al., 2010). No estudo realizado por Niencheski & Baumgarten (1998), no estuário da Lagoa dos Patos - RS, o despejo de esgoto doméstico sem tratamento contribui para a elevação das concentrações de fósforo, nitrogênio e metais, promovendo processos de eutrofização e riscos à biodiversidade aquática.

Segundo Polette (2023), a zona costeira de Santa Catarina tem enfrentado forte adensamento urbano, expansão acelerada da verticalização e ausência de alguma forma de ordenamento territorial, o que agrava problemas como poluição de praias, erosão e perda de patrimônio natural e cultural. A falta de saneamento básico em meio ao crescimento populacional intensifica esses impactos.

A entrada de esgoto doméstico, fertilizantes e

efluentes industriais favorece a eutrofização, levando à redução do oxigênio e à mortalidade de organismos aquáticos. Além disso, práticas como a rizicultura e a aquicultura sem manejo adequado intensificam a poluição e a introdução de espécies exóticas, alterando a biodiversidade (Fonseca et al., 2014).

O município de Garopaba, inserido no Setor Centro-Sul da classificação costeira, compartilha dos mesmos desafios ambientais e urbanísticos enfrentados por outros municípios litorâneos da região.

Jacomel (2012) sintetiza que desde a década de 1970 profundas transformações ocorreram através da nova fase de desenvolvimento da região. Intensificou-se a taxa de urbanização e a ascensão do setor terciário em detrimento das atividades primárias. Os terrenos agrícolas foram dando lugar aos novos loteamentos, empreendimentos imobiliários e diversos estabelecimentos comerciais atrelados à indústria turística.

A Lagoa de Garopaba possui uma área de aproximadamente 4,9 km² com um canal de comunicação com oceano localizado na Praia da Ferrugem através de uma barra intermitente. É uma lagoa rasa e sua bacia hidrográfica abrange uma área de 43,90 km², o que corresponde a aproximadamente 40% da área total do município.

A lagoa é rodeada de morros cobertos por Mata Atlântica, possuindo no seu entorno a presença de marismas, restingas, banhados e dunas. Além da relevância ecológica, parte da lagoa está inserida na Unidade de Conservação Federal da Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca - APABF – ICMBio (Brasil, 2000a).

As lagoas costeiras da APABF possuem grande importância ecológica e socioambiental, pois fornecem serviços ecossistêmicos, como proteção contra o aumento do nível do mar, habitats para diversas espécies e áreas de recreação e turismo (Netto, 2012).

Com apenas uma conexão efêmera com o oceano e localizada em uma região com clima subtropical úmido e oceânico temperado, as precipitações totais anuais variam entre 1500 a 1700 mm (bem distribuídas ao longo do ano), e com uma temperatura média anual de 20°C, com mínimas e máximas anuais entre 8°C e 27°C (Oliveira e Quadro, 2024).

A hidrodinâmica da lagoa é regulada por uma barreira arenosa que geralmente se rompe em eventos de maré alta associadas com eventos meteorológicos de maior energia como ventos do

quadrante sul e pelo aporte de água proveniente da drenagem continental (Horn Filho, 2003; Netto, 2012).

O conhecimento da dinâmica da qualidade da água em lagoas costeiras num contexto climático é fundamental para compreender o funcionamento desses ecossistemas e desenvolver estratégias adequadas de gerenciamento e conservação (Esteves, 1998), permitindo avaliar os impactos ambientais e a resiliência desses ecossistemas diante das pressões antrópicas. As lagoas costeiras, ao funcionarem como zonas de transição entre ambientes terrestres e marinhos, são particularmente sensíveis às variações climáticas e às atividades humanas, o que reforça a necessidade de monitoramento contínuo (Horn Filho, 2003).

A ausência de dados e informações confiáveis

sobre a dinâmica sazonal dos parâmetros de qualidade da água dificulta a gestão eficaz desses ecossistemas (Bricker et al., 2008), o que torna necessário desenvolver estudos que forneçam subsídios técnicos essenciais para direcionar as ações de conservação, evitando riscos ambientais, desperdícios de recursos e que permitam avaliar a influência de fatores climáticos sobre a qualidade da água (Lana, 2006).

Considerando que essas lagoas estão sujeitas a pressões ambientais significativas, incluindo a expansão da urbanização, a falta de planejamento na gestão de seus recursos naturais e o reflexo na qualidade da água de recursos hídricos adjacentes, este estudo buscou avaliar a dinâmica da qualidade da água da lagoa de Garopaba em diferentes condições climáticas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada no ano de 2024, no Laboratório de Tecnologias Ambientais (LATA) do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Câmpus de Garopaba. A área de estudo compreendeu a lagoa de Garopaba ($28^{\circ} 3.857'S$ e $48^{\circ} 38.340'O$), localizada no Município de

Garopaba, Estado de Santa Catarina (Figura 1). Foram realizadas duas campanhas de coleta de amostras abrangendo dois períodos distintos do ciclo sazonal (Verão-Outono de 2024 e Inverno-Primavera de 2024), com duração de 12 semanas cada.

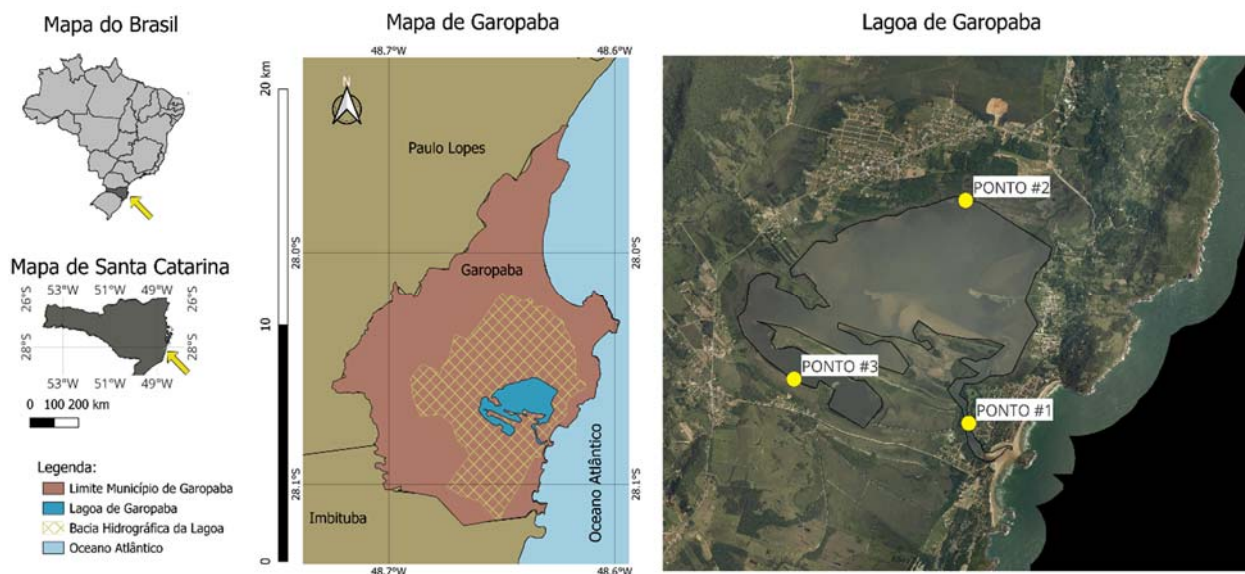


Figura 1 - Mapa de localização da área no Município de Garopaba e localização dos pontos amostrais na Lagoa de Garopaba

Campanhas amostrais

A estratégia amostral deste estudo consistiu em duas campanhas amostrais de esforço concentrado, compreendendo um período de 12 semanas consecutivas cada. A primeira campanha foi realizada em meses com temperatura do ar mais elevada (fevereiro a maio de 2024 – campanha de verão), enquanto a segunda campanha ocorreu em meses com temperatura do ar mais amena (julho a setembro de 2024 – campanha de inverno).

Para a obtenção das informações ambientais foram extraídas amostras de água em três pontos (Figura 1) em cada coleta. Sendo o ponto 01 próximo do canal extravasor, o ponto 02 localizado na porção mais límnica e oposta ao canal extravasor e o ponto 03 na porção intermediária da laguna, em um embaiamento natural. Os parâmetros físicos e químicos da água (temperatura da água, condutividade, salinidade e pH) foram medidos *in situ* com o auxílio de medidores

portáteis (analisador de água multifuncional portátil da Marca Romerlab, Modelo C-600) e a turbidez da água foi obtida com auxílio do Turbidímetro Marca Romerlab, Modelo C-600. Também foi verificada a cota do nível de água através do equipamento RTK TOPCON GNSS GR3 Geodésico L1, L2 de precisão de 3 mm + 2 ppm e as condições de abertura do canal da barra e conexão com o oceano.

Processamento e análise das amostras

Em laboratório foi determinada a concentração de clorofila-a das amostras por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), com a utilização de um HPLC Hitachi Chomaster 5010, acoplado com um detector de fotodiodo com varredura de 400-800 nm, de acordo com o método descrito por Mantoura & Llewellyn (1983).

Os nutrientes inorgânicos dissolvidos Fosfato e Amônio foram determinados por colorimetria, utilizando um espectrofotômetro através de métodos colorimétricos (Hansen & Koroleff, 1999).

Informações meteorológicas

As informações meteorológicas foram extraídas da série de dados de reanálise MERRA-2 disponibilizados pela Agência Nacional Espacial Americana NASA (Nasa, 2025) sendo obtidos dados diários de temperatura do ar (dois metros

de altura), precipitação acumulada, velocidade e direção do vento (dois metros de altura).

Os dados foram organizados e selecionados de acordo com o período amostral. Além dos dados diários foram compilados os períodos de chuva acumulada de sete dias anteriores à coleta de amostras com a finalidade de poder avaliar o tempo decorrido para as águas pluviais que percorrem os diferentes caminhos pela bacia hidrográfica até seu deságue na lagoa.

Análise estatística

Para observar e identificar os padrões de variação temporal e espacial foi aplicada a análise de variância multifatorial (Two-way ANOVA), seguida pelo teste de Tukey, utilizando como fatores a associação combinadas entre Pontos, Coletas (semanais) e Campanhas (verão-inverno).

Também foram aplicados os testes de correlação de Spearman para observação da relação entre as variáveis. Finalizou-se esta etapa com uma análise exploratória multivariável, através da Análise de Principais Componentes (PCA) para observação dos fatores que mais condicionam o comportamento das variáveis observadas.

Todas estas análises foram realizadas em Python, com o auxílio das bibliotecas Pandas, OS, Numpy (Harris et al., 2020), Seaborn (Waskom, 2021) e Matplotlib (Hunter, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos dados meteorológicos demonstram que houve diferença significativa no nível de água na Lagoa (Figura 2-A), tanto entre os pontos (Two-way ANOVA: $F=41,77$; $p<0,001$) como entre as semanas (Two-way ANOVA: $F=2,74$; $p=0,011$), possivelmente relacionado às características morfológicas dos pontos 02 e 03 que apresentaram uma menor altura de coluna d'água e estão mais afastadas do canal extravasor. Em contrapartida, o ponto 01, por estar mais próximo ao canal extravasor, possui maior hidrodinâmica e altura de coluna d'água.

Entre as campanhas, o nível de água também variou espacialmente entre os pontos na lagoa, (Two-way ANOVA: $F=50,31$; $p<0,001$). A campanha amostral do inverno apresentou um maior nível de água na lagoa, com o ponto 02 apresentando a menor profundidade em comparação com os demais pontos.

Durante o período de estudo os registros da precipitação pluviométrica diária foram inferiores a 5 mm (Figura 2-B), com três eventos de maior pluviosidade (máximo de 30 mm). A preci-

pição acumulada nos sete dias anteriores à coleta (Figura 2-D), demonstrou diferença significativa entre as semanas no comparativo entre as campanhas (Two-way ANOVA: $F=1,32 \times 1029$; $p<0,000$), com a campanha 1 (C1) demonstrando um período mais úmido (média de 44,7 mm) em comparação com o período da campanha 2 (33,5 mm).

A precipitação acumulada influenciou diretamente no incremento dos valores do nível da água da lagoa pois a chuva incidente na bacia hidrográfica da lagoa nem sempre coincidia com os dias de coleta. Deste modo, a observação da chuva acumulada foi fundamental na abordagem do estudo e demonstrou ser um fator de grande influência na dinâmica ambiental.

A abertura do canal extravasor da lagoa (Figura 2-C) apresentou diferenças ao longo de cada campanha (Two-way ANOVA: $F=14,20$; $p<0,001$). Sua abertura esteve associada aos eventos de precipitação e consequente aumento do nível de água. Estudos similares como o da Lagoa do Peixe, situada no sul do Brasil, mostram que o comportamento do canal apresentou forte

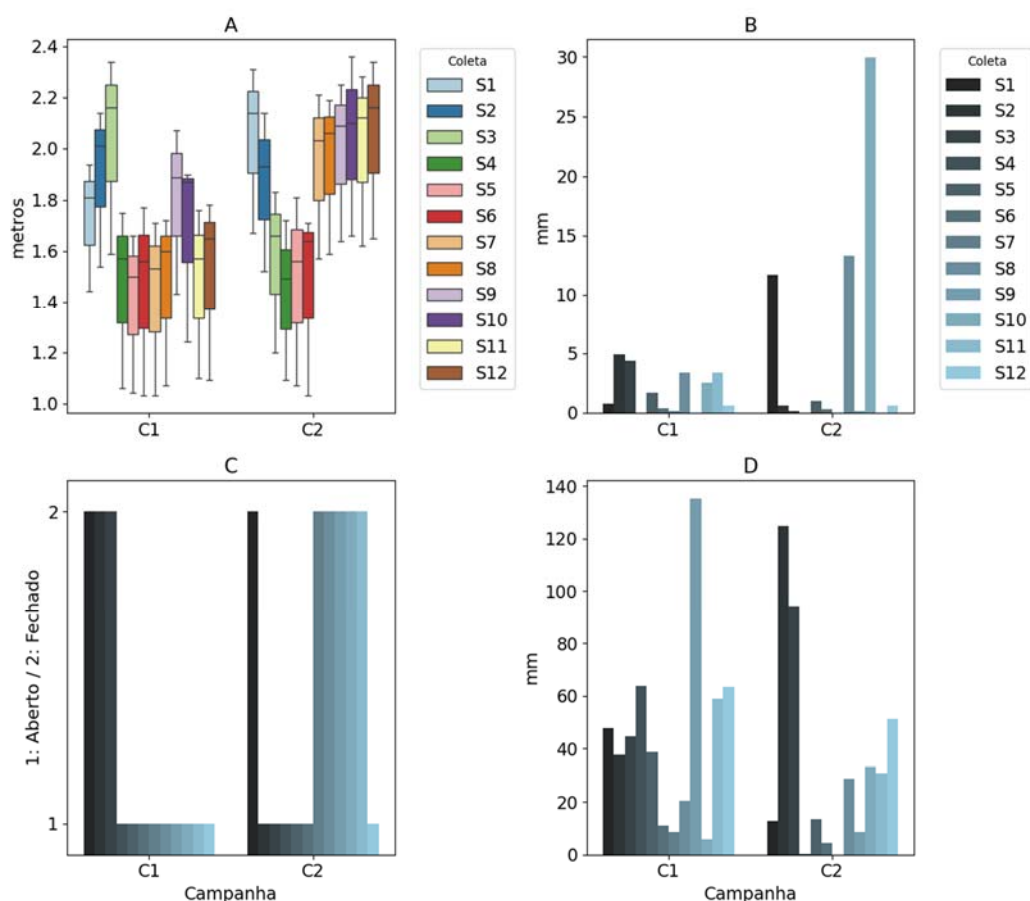


Figura 2 - Gráficos dos valores registrados em cada coleta comparando as campanhas 1 (C1) e 2 (C2). Boxplot do nível de água na lagoa em metros (A), precipitação diária em milímetros (B), condição do canal extravasor (C) e da precipitação acumulada 7 dias antes da coleta (D).

dependência do regime de precipitação, sendo a abertura natural da desembocadura condicionada a volumes pluviométricos acima da média histórica. Em anos com elevada precipitação, como 1997 e 2002, o canal permaneceu aberto por períodos prolongados, favorecendo a troca de água entre a lagoa e o oceano.

Já nos períodos de menor pluviosidade, ocorre o fechamento gradual do canal, influenciado pelo transporte e deposição de sedimentos por correntes litorâneas e ação eólica. Além disso, a baixa profundidade da lagoa do Peixe e sua limitada capacidade de escoamento favoreceram a retenção da água, o que acelerou a abertura artificial do canal por pescadores locais, como forma de evitar inundações e preservar a atividade pesqueira. Essa dinâmica evidenciou a instabilidade natural da desembocadura, controlada tanto por fatores climáticos quanto antrópicos (Schossler e tal., 2017).

Cabe destacar que os eventos de precipitação elevada, como o de chuva acumulada da nona semana da primeira campanha (135,29 mm), foram capazes de promover um incremento no nível de água da Lagoa de Garopaba de quase 30 cm no ponto 01, elevando a cota de 1,60 m para

1,89 m em apenas uma semana.

Importante observar que neste período o canal estava aberto e a água estava fluindo na direção do mar. Nas semanas seguintes a cota do nível de água foi reduzindo e se estabilizando, o que demonstrou que os efeitos de eventos de pluviosidade elevada como este são capazes de alterar o nível de água da lagoa mesmo com a barra aberta.

O canal extravasor também representou um importante fator a ser considerado visto que ele determina o nível e o tempo de retenção hídrica na lagoa, além da entrada de água marinha que modifica e altera abruptamente os parâmetros da água. A abertura do canal esteve diretamente relacionada ao aumento do nível de água da lagoa, e foi possível observar a abertura natural da barra quando a cota altimétrica do ponto 01 atinge algo em torno de 2,15 m acima do nível do mar. Uma vez aberto o canal extravasor, os níveis de água da lagoa tendem a diminuir até um limite mínimo de aproximadamente 1,50 m acima do nível do mar, representando a cota mínima.

Isto permitiu estimar que a lagoa teve uma amplitude de 65 cm de variação do nível de água no período analisado entre os processos de enchi-

mento máximo e esvaziamento mínimo. Desta forma, o volume máximo de água que a lagoa de Garopaba reteve durante o período observado foi de até 3.185.000 m³ em cinco semanas, período em que o canal da barra esteve fechado (sétima semana) e seu extravasamento seguinte (décima primeira semana).

Um evento de maré alta (amplitude máxima de 8,72m às 14:05h) em 13 de agosto de 2024 (Simcosta, 2024), coincidiu com um evento meteorológico extremo no litoral catarinense, com alerta emitido pela Defesa Civil de Santa Catarina informando sobre a previsão de mar muito agitado entre os dias 12 e 14 de agosto de 2024, destacando risco para atividades marítimas (SC, 2024).

A entrada de água salina na Lagoa de Garopaba pôde ser verificada pela alteração em diversos parâmetros de qualidade da água a partir da sétima semana da campanha de inverno (C2). Entre eles destaca-se o aumento e estabilização dos níveis de salinidade e condutividade, e da diminuição

do pH (aumento da acidez) e da ocorrência de picos de clorofila após esse episódio.

Destaca-se que o evento de entrada de água salina na lagoa de Garopaba se deu em condições em que o canal se encontrava fechado, com o evento não provocando sua abertura, consistindo em um episódio isolado de entrada de água marinha promovida pela ressaca no mar.

O aumento do nível da água e a consequente ampliação da zona úmida adjacente favorecem uma maior reciclagem de nutrientes, modificando a estrutura biogeoquímica do ambiente lagunar, contribuindo para a melhoria da qualidade da água (Teixeira et al., 2001).

O regime de ventos (velocidade média e direção) também refletiu o padrão sazonal da região (Figura 3 A-D), com ventos dos quadrantes nordeste-noroeste intercalados pelo vento do quadrante sudoeste-sudeste mais intensos, associados com a passagem de sistemas frontais e fenômenos meteorológicos de mesoescala como o Anticiclone do Atlântico Sul.

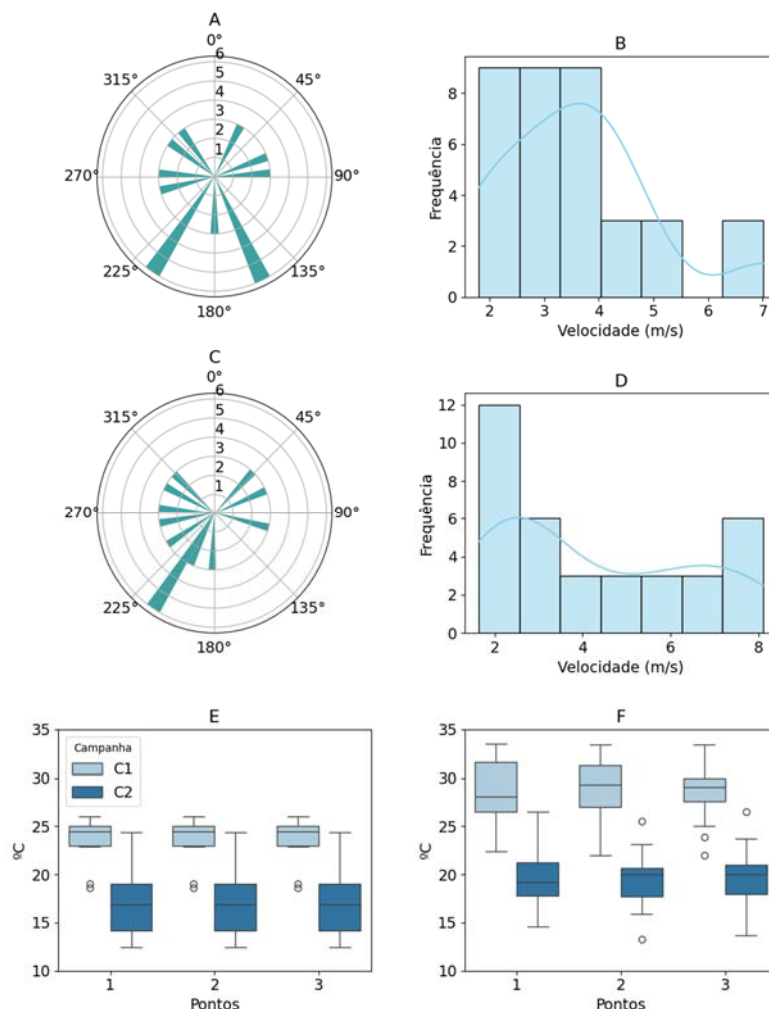


Figura 3 - Gráfico azimutal da direção do vento no período da campanha 1 e 2 (A e C respectivamente), histograma de frequência da velocidade do vento (B: C1 e D: C2), e boxplot da temperatura do ar (E) e da água (F) por ponto em cada campanha de coleta de amostras.

Na primeira campanha de coletas (período quente), foram registrados ventos mais amenos com velocidades e variação de intensidade menores, enquanto na segunda campanha de coletas, foram observadas maiores variações da velocidade do vento devido a passagem de sistemas frontais e ventos mais intensos do quadrante sudoeste.

Não foi observada diferença significativa no regime de ventos entre as campanhas amostrais, mas houve entre as coletas semanais (Two-way ANOVA: $F=3,32$; $p=0,0032$) indicando que o comportamento da dinâmica atmosférica varia na escala temporal de dias, e que possivelmente está refletindo o padrão de comportamento dos fenômenos atmosféricos como a entrada de frentes frias.

A temperatura do ar (Figura 3-E) refletiu o padrão sazonal da oscilação climática para a região com média de $23,6 \pm 2,4$ °C no período quente e $17,1 \pm 3,4$ °C no período frio, demonstrando diferença significativa (Two-way ANOVA: $F=85,82$; $p=0,0001$) entre as duas campanhas. A maior variabilidade da temperatura do ar foi observada na campanha dois e esteve relacionada com anomalias positivas na temperatura do ar de até 4°C entre as semanas.

A temperatura da água apresentou variações significativas tanto entre as campanhas (Two-way ANOVA: $F=1259,68$; $p<0,0001$ - Figura 3-F), quanto entre as semanas (Two-way ANOVA: $F=24,12$ e $p=0,00$ - Figura 4-A e B), além de uma interação relevante entre esses fatores (Two-way ANOVA: $F=33,38$ e $p=0,00$).

A variação temporal dentro das campanhas não foi uniforme, reforçando a influência das variabilidades climáticas associadas a cada estação. Entre as campanhas, a amplitude máxima da temperatura da água foi de 20,1 °C e observada entre a terceira semana da campanha de verão e a segunda semana da campanha de inverno.

Dentro da campanha de verão, a maior amplitude foi 11,4 °C entre as semanas um e onze, enquanto na campanha de inverno foi de 12,8°C, ocorrendo entre as semanas dois e onze, que correspondem ao início e fim dos períodos observados.

Era esperado que a temperatura do ar influenciasse diretamente na temperatura da água, especialmente em sistemas rasos. A temperatura da água é uma variável de grande importância ecológica, pois ela influencia o metabolismo das comunidades com impacto na produtividade primária e na decomposição da matéria orgânica.

Temperaturas mais altas aceleram o crescimento de bactérias e do fitoplâncton, além de diminuir a solubilidade do oxigênio na água e incrementar a mineralização da matéria orgânica liberando nitrogênio, fósforo e carbono (Pimentel et al., 2023).

Assim como na Lagoa do Passo (Tramandaí-RS) onde uma lâmina de água menor (mais rasa) oportuniza a alteração mais rápida da temperatura da água em função da mudança na temperatura do ar, gerando mais aquecimento das águas ou resfriamento, principalmente em função da intensidade dos ventos que favorecem a homogeneização térmica (Pimentel et al., 2023). Os resultados obtidos neste trabalho apontam no mesmo sentido do estudo situado na Bacia do Rio Tramandaí-RS pois também foram encontradas correlações estatisticamente significativas entre a temperatura do ar com o pH ($r=0,36$) e a clorofila ($r=-0,28$). A temperatura da água também apresentou correlação com o pH ($r=0,28$), clorofila ($r=-0,27$) e amônio ($r=-0,24$).

A condutividade elétrica permitiu identificar a influência marinha entre os pontos amostrais (Figura 4-C, D) com o ponto 01 apresentando diferença em relação aos pontos 02 e 03 (Two-way ANOVA: $F=2,79$; $p=0,00988$). Este padrão manteve-se constante entre e ao longo das campanhas C1 e C2 (Two-way ANOVA: $F=3,42$ e $p=0,07$; $F=1,25$ e $p=0,28$ respectivamente).

Na campanha 2 (inverno), observou-se a entrada de água salina associada com o aumento brusco da condutividade a partir da sétima semana, seguido de uma manutenção da estabilidade deste quadro até o final das coletas, coincidindo com o período em que o canal extravasor estava fechado.

A salinidade (Figura 4-E, F) apresentou um comportamento similar ao da condutividade elétrica e não apresentou diferenças significativas entre os pontos de amostragem ou entre as campanhas. Com uma variação de salinidade de até 20 Practical Salinity Unit (PSU), os resultados sugerem que a porção mais próxima ao canal extravasor (ponto 01) possui uma maior influência marinha, enquanto nos pontos 02 e 03 foram observadas oscilações que provavelmente ocorreram por influência do regime pluviométrico e da abertura ou fechamento do canal extravasor.

Foi possível observar nos três pontos de coleta a redução na concentração da salinidade e condutividade associado aos eventos de precipitação acumulada mais expressivos como os da quarta e nona semana da C1, e na segunda semana da C2,

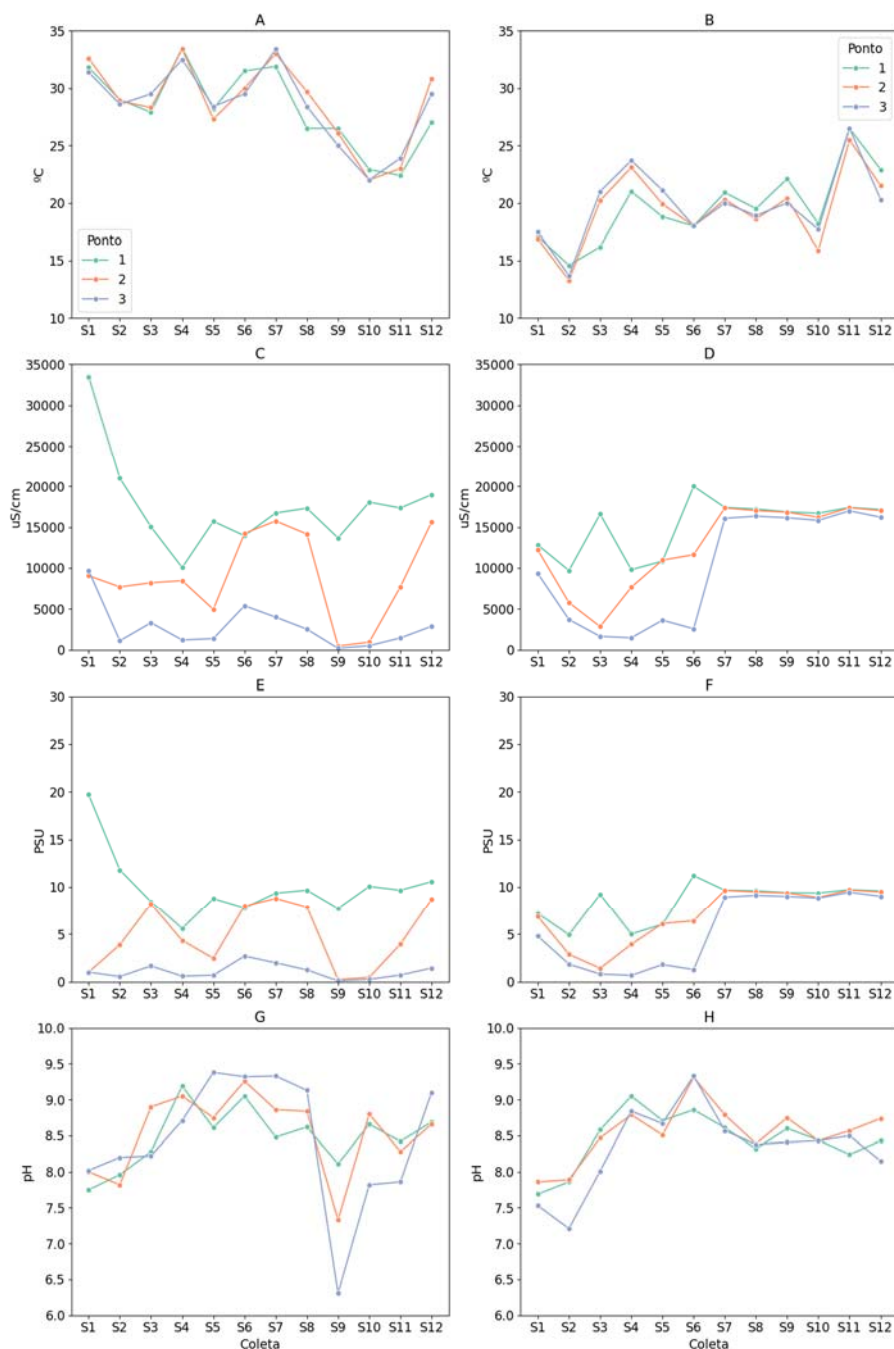


Figura 4 - Gráficos dos valores registrados das variáveis físico-químicas por ponto de coleta, em cada semana de coleta, comparando as campanhas 1 (coluna esquerda) e 2 (coluna direita). Temperatura da água na campanha 1 (A) e na campanha 2 (B); condutividade elétrica na campanha 1 (C) e campanha 2 (D); salinidade na campanha 1 (E) e campanha 2 (F); pH na campanha 1 (G) e na campanha 2 (H).

nos pontos 02 e 03. Este fenômeno pode estar associado ao poder de diluição das águas da lagoa provocado pelo aporte de água doce continental oriunda destes eventos de precipitação e pela posição geográfica.

A condutividade e a salinidade da água da lagoa apresentaram forte correlação entre si, como era de se esperar, já que ambas as medidas expressam a presença de íons e sais presentes na coluna d'água. A diferença espacial da condutividade e salinidade entre os pontos se deu apenas pelo fato do ponto 01 possuir valores superiores em

relação ao ponto 02.

Todos os pontos apresentaram aumento ou diminuição dos valores de forma proporcional entre si ao longo das semanas, indicando um comportamento homogêneo na escala espacial da lagoa.

Um estudo realizado na Lagoa Salina (nordeste do Pará) mostrou que a condutividade elétrica e a salinidade foram menores no período chuvoso e maiores no período seco, com uma exceção no período chuvoso devido à influência das grandes marés de sizígia, que introduzem

água marinha na lagoa (Pereira et al., 2017). Do mesmo modo, um evento da intrusão de água marinha na lagoa de Garopaba, ocorrido na sétima semana da C2, combinado com a condição de barra fechada fez com que mesmo os dois pontos amostrais mais afastados do canal também fossem afetados pelo aumento da salinidade e condutividade.

O pH (Figura 4-G, H) foi levemente alcalino ao longo das semanas e entre as campanhas, porém com abruptas reduções em determinadas semanas de coleta (semana 9 na C1 e semana 2 na C2) passando de levemente alcalino para levemente ácido, coincidindo com os períodos de maior acumulado de precipitação em cada campanha, respectivamente.

Embora os valores médios de pH não se diferenciam entre as campanhas, a variação semanal (Two-way ANOVA: $F=11,43$; $p<0,00$) sugere que fenômenos externos à lagoa, como o aporte de água pluvial, entrada de água marinha e processos internos como mudanças na produção de matéria orgânica, processos de decomposição e a interação água-sedimento possam alterar o pH de forma expressiva rapidamente.

A assimilação de CO₂ pelas macrófitas e fitoplâncton, durante períodos de elevada atividade fotossintética, pode elevar o pH ao gerar íons hidroxila, enquanto a respiração e decomposição microbiana intensificam a liberação de CO₂, formando ácido carbônico e promovendo acidificação (Esteves, 1998). Dessa forma, variações bruscas como as observadas na Lagoa de Garopaba, especialmente em semanas com maior acúmulo de precipitação indicam a influência dos processos do metabolismo ecológico natural deste ambiente.

Além disso, fatores externos como a ação antrópica e eventos meteorológicos influenciam diretamente essa dinâmica. As chuvas podem apresentar maiores concentrações de íons amônio, ácido nítrico e ácido sulfúrico, o que agrava a acidificação das águas, principalmente na ausência de substâncias tamponadoras como bicarbonatos (Esteves, 1998) e a entrada de água do mar também pode modificar o equilíbrio iônico e, em certos momentos, elevar o pH temporariamente.

Em contrapartida, ações antrópicas como o lançamento de efluentes domésticos e a degradação da vegetação marginal reduzem a capacidade de tamponamento do ecossistema, favorecendo maiores oscilações no pH, especialmente durante eventos extremos de chuva e seca.

A turbidez da água (Figura 5-A, B) apresentou variações expressivas entre os pontos ao longo das campanhas (Two-way ANOVA: $F=6,51$; $p=0,0026$) e entre as semanas (Two-way ANOVA: $F=6,88$; $p=0,0029$). Isto sugere que além da hidrodinâmica interna da lagoa, os ventos e a drenagem continental podem estar ocasionando a ressuspensão do material de fundo e aportando sedimentos, contribuindo com a presença de material particulado em suspensão na lagoa.

Os valores de turbidez do ponto 01 se mostraram sempre abaixo dos níveis de detecção do equipamento ($< 5,0$ NTU), indicando que o local próximo do canal da barra apresentou melhor qualidade deste parâmetro em todas as semanas das duas campanhas amostrais. A posição geográfica do ponto 01 não sofre influência direta dos ventos predominantes (nordeste e sul) além de estar distante de canais de drenagem pluvial, o que pode explicar sua menor turbidez.

Já os pontos 02 e 03 apresentaram reflexo semanal direto deste parâmetro diante da exposição aos valores mais elevados da velocidade do vento nas duas campanhas. O ponto 02 apresentou valores de turbidez mais elevados nas semanas quando exposto aos ventos fortes do quadrante sul, enquanto o ponto 03 se alterou nas semanas em que houve predomínio dos ventos do quadrante nordeste.

A maior parte dos valores expressivos de turbidez dos pontos 02 e 03 também ocorreram quando os níveis de água estavam mais baixos e a barra em condição aberta, momentos em que as margens recuam devido ao esvaziamento da lagoa, ficando os pontos de coleta mais expostos ao efeito dos sedimentos do fundo da lagoa.

Os eventos de maior precipitação acumulada, nas duas campanhas, estiveram associados ao aumento da turbidez mesmo em condição de barra aberta e vento fraco, sugerindo que o aporte de sedimentos por influência fluvial promovida pelos canais de drenagem pode contribuir com alterações na turbidez da água, principalmente na porção mais límnic da Lagoa.

A biomassa de produtores primários esteve relativamente baixa e constante na primeira campanha (clorofila-a $< 3 \mu\text{g.L}^{-1}$), com um pico de crescimento no ponto 02 na quinta semana (Figura 5-C). Na segunda campanha observou-se uma maior variação entre os pontos como também em relação a primeira campanha (Two-way ANOVA: $F=6,983$; $p=0,0103$), com uma média

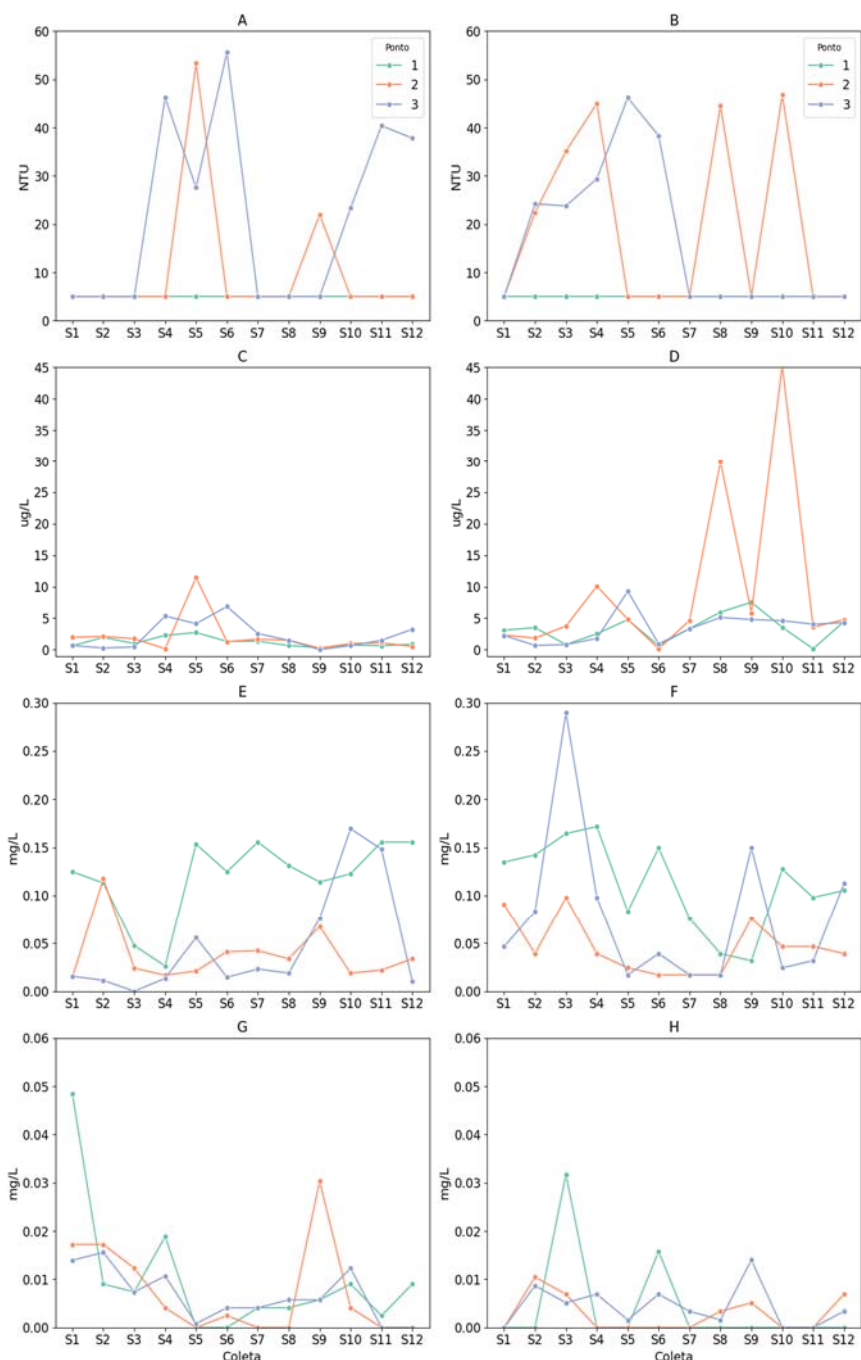


Figura 5 - Gráficos dos valores de Turbidez (A e B), Clorofila-a (C e D), Amônio (E e F) e Fosfato (G e H), registrados em cada coleta comparando as campanhas 1 (coluna da esquerda) e 2 (coluna da direita).

de clorofila-a de $5,53 \pm 4,43 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Figura 5-D), com o período em que o canal extravasor estava fechado registrando os maiores incrementos dos valores de clorofila-a no ponto 02 (max: $45 \mu\text{g.L}^{-1}$) indicando um estado hipertrófico momentâneo daquela porção da lagoa.

Os resultados obtidos nas duas campanhas de monitoramento evidenciam variações significativas na biomassa de produtores primários, refletidas nas concentrações de clorofila-a, indicando diferentes estados tróficos ao longo do período analisado. Na C1 a baixa e estável concentração de clorofila-a ($< 3 \mu\text{g.L}^{-1}$) sugere um ambiente

com limitada disponibilidade de nutrientes ou condições ambientais que inibem o crescimento excessivo de fitoplâncton. O único pico registrado no ponto 02 (quinta semana) pode estar associado com um evento pontual não identificado, como por exemplo uma frente fria ou situação de vento mais intenso.

Na C2 observou-se maior variabilidade espacial e temporal, com média de clorofila-a significativamente mais elevada ($5,53 \pm 4,43 \mu\text{g.L}^{-1}$) em comparação à primeira campanha (Two-way ANOVA: $F=6,983$; $p=0,0103$). Esse aumento pode estar relacionado a mudanças nas

condições ambientais, como maior disponibilidade de nutrientes (e.g., fósforo e nitrogênio) ou alterações no regime hidrológico.

O fechamento do canal extravasor parece ter desempenhado um papel relevante nesse cenário, uma vez que os maiores incrementos na clorofila-a ocorreram nesse período, culminando em um valor extremo de 45 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no ponto 02.

Esse padrão condiz com estudos que associam a redução da renovação de água em sistemas lênticos ao acúmulo de nutrientes e subsequente proliferação de fitoplâncton (Wetzel, 2001; Smith, 2006). A ausência de fluxo no canal extravasor pode ter limitado a diluição de compostos orgânicos e favorecido condições anóxicas em microescala, estimulando o crescimento algal.

Além disso, a hipertrofia pontual no ponto 02 sugere heterogeneidade espacial na distribuição de nutrientes, possivelmente influenciada por aportes localizados (descargas difusas de efluentes ou decomposição de matéria orgânica sedimentar).

Em relação às implicações ecológicas, é importante destacar que o surgimento de condições hipertróficas, mesmo que transitórias, pode desencadear florações de algas nocivas, redução de oxigênio dissolvido (hipóxia) e alterações na estrutura da comunidade aquática da lagoa, sendo recomendado o monitoramento contínuo das variáveis físicas, químicas e biológicas para identificar fontes de nutrientes (Wong, Lee e Harrison, 2009; Glibert, 2017).

Os valores de amônio (NH_4^+) foram maiores no ponto 01, junto ao canal extravasor, com alguns picos no ponto 03 e um comportamento similar entre as campanhas, embora com variações distintas (Figura 5-E, F). Ainda assim não foram observadas diferenças significativas entre pontos, coletas e campanhas.

Por outro lado, os valores de fosfato (PO_4) foram diferentes entre as campanhas (Two-way ANOVA: $F=7,16$; $p=0,01$), no decorrer das semanas em cada campanha (Two-way ANOVA: $F=2,65$; $p=0,01$) e entre os pontos (Two-way ANOVA: $F=4,645$; $p=0,0348$). Os picos de concentração de fosfato (Figura 5-G, H), com valores próximos ao limite regulatório estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), sugerem que em determinados momentos há um aporte de efluentes de origem antrópica, possivelmente associado com a expansão da urbana no entorno da lagoa.

Os resultados indicam que as concentrações de amônio estão fortemente associadas à hidro-

dinâmica local, possivelmente devido à circulação vertical e homogeneização da coluna d'água ou à decomposição de matéria orgânica nas regiões mais próximas ao canal.

A similaridade entre as campanhas sugere que os processos biogeoquímicos responsáveis pela liberação de NH_4^+ mantiveram-se estáveis ao longo do período estudado. Contudo, a ocorrência de picos pontuais no ponto 03 no final da C1 e início da C2 podem estar relacionados aos eventos de precipitação que carregam compostos nitrogenados de áreas adjacentes para o sistema aquático.

Em contraste, as concentrações de fosfato apresentaram diferenças significativas entre campanhas, pontos e coletas indicando que as fontes de fósforo são mais dinâmicas e influenciadas por fatores externos, como aportes antrópicos ou variações sazonais na carga de nutrientes. Considerando a expansão urbana no entorno da lagoa, é plausível que essas elevações estejam associadas com a emissão de esgoto não tratado, que contém altas concentrações de fosfatos derivados de detergentes e dejetos humanos.

A lixiviação de solos em áreas com ocupação desordenada sem infraestrutura e a drenagem urbana, que transporta resíduos ricos em fósforo para o corpo d'água também podem estar associados. A maior variabilidade nas concentrações de PO_4 entre campanhas pode refletir mudanças no uso do solo ou flutuações nas condições climáticas, como períodos de chuva intensa, que aumentam o carreamento de fósforo para a lagoa (Correll, 1998; Smith, 2006).

O estudo de Ligorini (2023) demonstrou que pequenas lagoas costeiras mediterrâneas são particularmente sensíveis a pressões antrópicas locais, como urbanização e práticas agrícolas, que elevam os níveis de nutrientes, especialmente nitrato e amônio.

Tais condições favorecem o surgimento de florações de algas potencialmente nocivas, redução do oxigênio dissolvido e empobrecimento da diversidade fitoplanctônica, alterando significativamente a estrutura ecológica do sistema (Carpenter, 1998).

A combinação de altos níveis de PO_4 com os picos de clorofila-a observados no presente estudo, reforça a hipótese de que a lagoa está sob pressão antrópica crescente, com potencial para florações de algas nocivas e degradação da qualidade da água (Schindler, 1977).

Neste sentido recomenda-se o monitoramento contínuo das fontes de PO_4 , identificando pontos

críticos de descarga e fiscalização do saneamento básico no entorno da lagoa, visando reduzir a entrada de esgotos não tratados. A implementação de zonas de amortecimento como áreas vegetadas junto aos rios e canais de drenagem também poderiam minimizar o carreamento de nutrientes. Essas medidas são fundamentais para prevenir a eutrofização e garantir a sustentabilidade do ecossistema aquático.

O teste de correlação de Spearman (Figura 6) permite visualizar a relação dos fenômenos meteorológicos sobre a condição ambiental da lagoa. As correlações mais fortes ($p < 0,05$), foram entre as temperaturas da água e do ar ($r = 0,84$), e entre a condutividade elétrica e a salinidade ($r = 0,99$), associando-se positivamente.

De uma forma mais moderada, as correlações positivas foram entre a precipitação diária ($r = 0,32$) com a condição de abertura e fechamento do canal extravasor (BARRA), relacionando os eventos de precipitação à abertura do canal.

A velocidade do vento correlacionou-se positivamente com a clorofila-a ($r = 0,40$), provavelmente indicando que a mistura vertical da água ao promover a ressuspensão de sedimentos ricos

em nutrientes do fundo, favoreça o metabolismo da microbiota aquática. Assim como a direção do vento com a temperatura do ar ($r = 0,34$) que possivelmente reflete o padrão climático local. As correlações mais fracas foram observadas entre: a velocidade do vento e a precipitação diária ($r = 0,28$) e acumulada em sete dias ($r = 0,25$); o fosfato com a precipitação acumulada em sete dias ($r = 0,28$); a turbidez com a clorofila-a ($r = 0,29$); e do íon amônio com a condutividade elétrica ($r = 0,29$) e com a salinidade ($r = 0,30$).

Inversamente foram observadas as associações entre o pH com a condição de abertura do canal extravasor ($r = -0,38$), e da clorofila-a com as concentrações de fosfato ($r = -0,39$), possivelmente refletindo o crescimento do fitoplâncton com o consumo desses nutrientes. A clorofila-a também esteve inversamente associada com a precipitação acumulada em 7 dias ($r = -0,24$) e com as temperaturas, do ar ($r = -0,28$) e da água ($r = -0,27$). A correlação inversa da turbidez da água com a condutividade elétrica ($r = -0,51$) e a salinidade ($r = -0,48$) pode estar associada com o aporte de água doce proveniente da drenagem continental. O amônio correlacionou-se negativa-

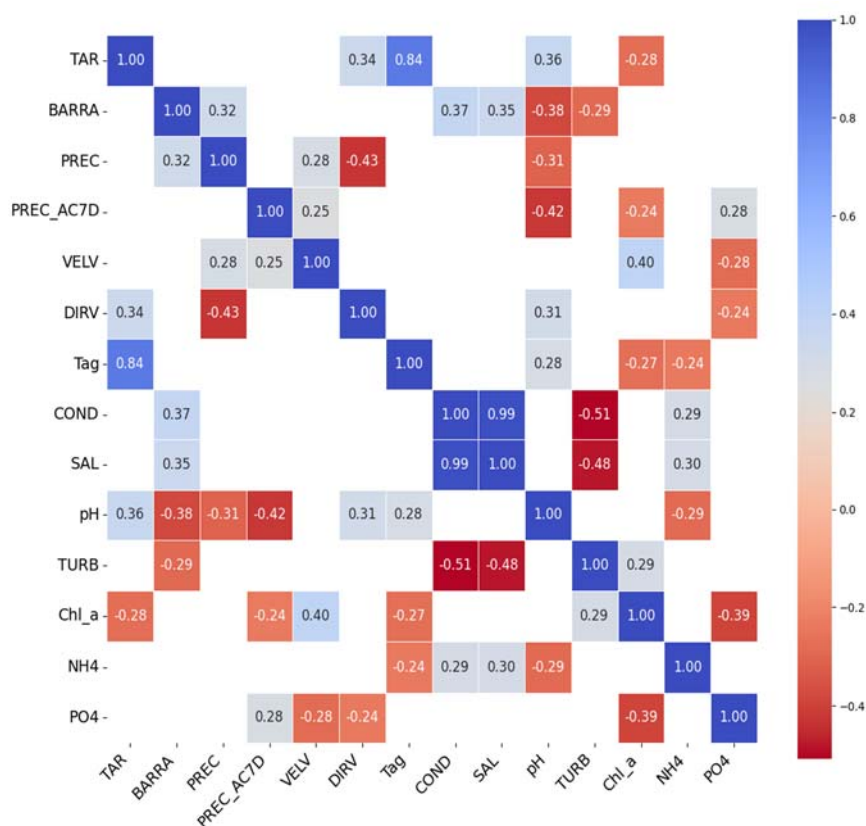


Figura 6 - Mapa de calor do teste de correlação de Spearman, expressando apenas as correlações com grau de significância ($\alpha < 0,05$). Em tons de azul estão expressas as correlações diretas e em tons de vermelho as correlações inversas. TAR: temperatura do ar, BARRA: condição do canal extravasor, PREC: precipitação diária, PRE_AC7D: precipitação acumulada sete dias, VELV: velocidade do vento, DIRV: direção do vento, Tag: temperatura da água, COND: condutividade elétrica, SAL: salinidade, pH: pH, TURB: turbidez da água, Chl_a: clorofila-a, NH4: amônio e PO4: fosfato.

mente com a temperatura da água ($r = -0,24$) e com o pH ($r = -0,29$), enquanto o regime de ventos, direção ($r = -0,24$) e velocidade ($r = -0,28$), relacionam-se inversamente com a presença de fosfato na água da lagoa.

Na análise exploratória multivariada de principais componentes (PCA) foi possível observar melhor o padrão de comportamento dos fatores de maior influência deste ecossistema (Figura 7). O eixo da PC1 expressou 21% da variabilidade dos dados fortemente influenciado pela precipitação diária, se opondo às temperaturas do ar e da

água, enquanto o eixo da PC2 expressou 19%, indicado que a condutividade elétrica e salinidade possuem um comportamento inversamente proporcional à turbidez da água. No eixo da PC1, os valores de temperatura, do ar e da água estiveram associadas com o fosfato, pH e a direção do vento, enquanto a clorofila-a, a velocidade do vento, a condição do canal extra-vasor, a condutividade elétrica e a salinidade estiveram associadas com a precipitação diária. Neste eixo tanto a turbidez da água, quanto o amônio e a precipitação acumulada apresentaram pouca interação.

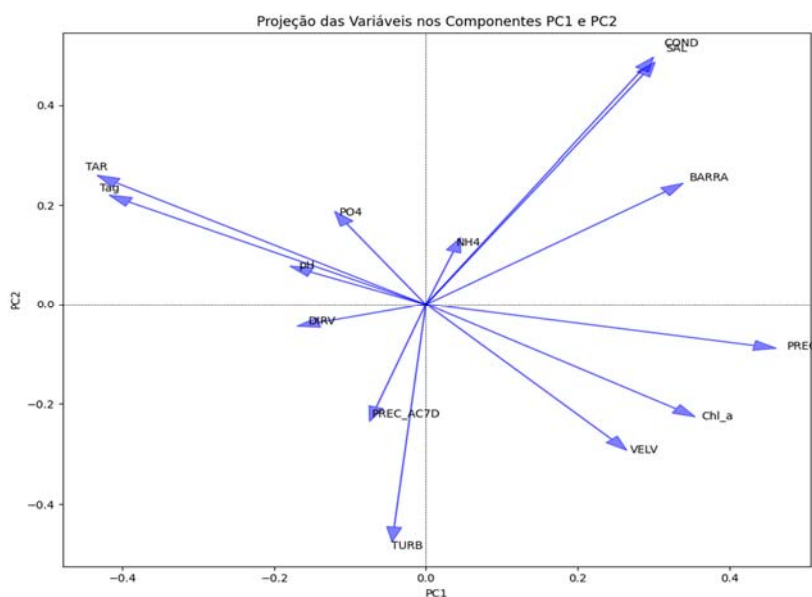


Figura 7 - Projeção das variáveis nos Componentes Principais (PCA), PC1: 21% e PC2: 19%. TAR: temperatura do ar, BARRA: condição do canal extravasor, PREC: precipitação diária, PRE_AC7D: precipitação acumulada 7 dias, VELV: velocidade do vento, DIRV: direção do vento, Tag: temperatura da água, COND: condutividade elétrica, SAL: salinidade, pH: pH, TURB: turbidez da água, Chl_a: clorofila-a, NH4: amônio e PO4: fosfato.

No eixo da PC2, os parâmetros físico-químicos da água (pH, PO34 e NH+4), a condição do canal extravasor e as temperaturas (ar e água) associaram-se com a salinidade e condutividade elétrica, enquanto o regime pluviométrico (chuva diária e acumulada em sete dias), os ventos (direção e velocidade) e a clorofila-a associaram-se com a turbidez da água.

Estes resultados permitem inferir que o ciclo sazonal, representado pela variação na temperatura do ar e da água, do regime pluviométrico, repre-

senta o principal fator condicionante do comportamento da lagoa enquanto a interação ou influência de aportes continentais ou influência marinha atuam como fator secundário expressivo. Na distribuição dos fatores (Figura 8) foi possível observar que de um modo geral a lagoa se comporta de forma homogênea em termos espaciais, mas que em determinadas situações ou condições estabelece-se um gradiente que distingue as porções mais límnicas (pontos 02 e 03) e mais marinha (ponto 01) deste ambiente costeiro

CONCLUSÕES

O presente estudo verificou a relação entre os parâmetros de qualidade da água e os elementos climáticos na Lagoa de Garopaba (SC) ao longo de dois períodos sazonais distintos em 2024. Verificou-se que fatores como precipitação, temperatura do ar, ventos e abertura do canal extravasor influenciam a dinâmica da laguna.

Os resultados demonstraram uma resposta clara e sensível da lagoa às variações meteorológicas e oscilações do clima, especialmente em relação a temperatura da água, turbidez, produção primária (clorofila-a) e nível do espelho d'água.

Os fatores climáticos e hidrodinâmicos afetam

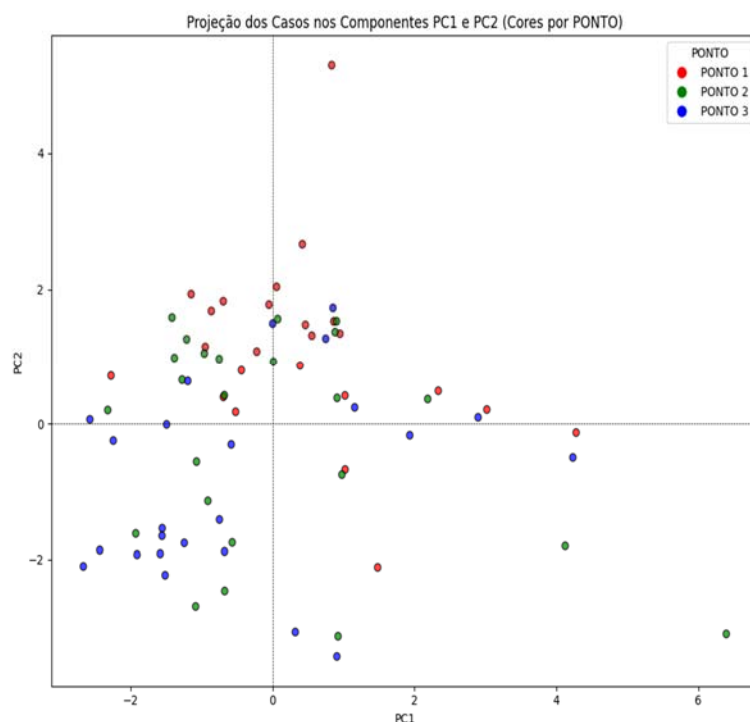


Figura 8 - Projeção dos casos nos Componentes Principais (PCA), PC1: 21% e PC2: 19%.

diretamente a qualidade da água, evidenciando que a sazonalidade desempenha um papel relevante nos processos ecológicos e físico-químicos da lagoa.

A precipitação acumulada exerce forte influência no nível da água, principalmente quando combinada com a condição da barra (aberta ou fechada). O canal extravasor se mostrou um elemento chave na hidrodinâmica do sistema, regulando não apenas o volume de água armazenado, mas também a salinidade, a condutividade elétrica e o transporte de nutrientes.

Eventos de maré alta contribuíram para alterações abruptas na composição da água, mesmo com a barra fechada. A análise espacial revelou que os pontos mais próximos ao canal apresentaram maior influência marinha, enquanto os pontos internos refletem o efeito da drenagem continental e da ação dos ventos. Isso ajuda a entender os processos de renovação hídrica e auxilia para a tomada de decisões quanto à abertura antrópica da barra, especialmente em contextos de intensificação das chuvas.

Os parâmetros físico-químicos também revelaram padrões distintos entre as campanhas. A temperatura da água esteve fortemente correlacionada com a temperatura do ar, refletindo a influência climática sazonal, enquanto o pH variou abruptamente em resposta à dinâmica entre águas pluviais e marinhas.

A clorofila-a, por sua vez, evidenciou estados de trofia distintos entre os períodos, com

aumento expressivo no inverno durante o fechamento do canal extravasor, sugerindo retenção de nutrientes e condições favoráveis à proliferação fitoplanctônica.

O aumento pontual de clorofila-a em valores hipertróficos representa um alerta para possíveis episódios que favorecem o processo de eutrofização. Já a turbidez esteve fortemente associada aos eventos de chuva e aos ventos predominantes, além da característica dos sedimentos locais.

As análises de amônio e fosfato indicaram diferentes dinâmicas. Enquanto o amônio apresentou comportamento relativamente constante, o fosfato evidenciou picos significativos, principalmente próximos a áreas urbanizadas, sugerindo aportes esporádicos de efluentes de origem antrópica.

Tais concentrações, em alguns momentos próximas aos limites da Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), reforçam a hipótese de que o entorno da lagoa exerce pressão sobre o sistema aquático.

A entrada de nutrientes (ex. fósforo), associada com condições de baixa hidrodinâmica e estabilidade da coluna d'água, favorece o rápido crescimento do fitoplâncton, o que reflete no aumento dos valores de clorofila-a, indicando um processo de eutrofização.

Destaca-se que atualmente a lagoa vem cumprindo seu papel de processar a carga de nutrientes que aporta em determinadas condições.

No entanto, possíveis impactos ecológicos

como a degradação da qualidade da água, florações algais e alterações na biodiversidade, confirmam a necessidade de implantação de políticas públicas voltadas ao controle do esgoto doméstico, à proteção das margens e à fiscalização do uso do solo, a fim de preservar os serviços ecossistêmicos prestados pela lagoa.

Por fim, este trabalho contribui para o conhecimento sobre a dinâmica de lagunas costeiras em regiões subtropicais e evidencia a relevância do

monitoramento sazonal para fins de gestão ambiental local.

Os dados aqui apresentados podem servir de base para órgãos públicos, gestores ambientais e a sociedade civil, no planejamento de ações sustentáveis e mitigação de impactos antrópicos. Recomenda-se a replicação deste modelo metodológico em outras lagoas da região e a ampliação da base de dados com foco em indicadores biológicos e ecotoxicológicos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P.C.; BERGESCH, M.; PROENÇA, L.A.; GARCIA, C.A.; ODEBRECHT, C. Short-and long-term chlorophyll a variability in the shallow microtidal Patos Lagoon estuary, Southern Brazil. *Estuaries and Coasts*, v. 33, n. 2, p. 554–569, 2010. ISSN 15592723. Disp. em: <http://link.springer.com/10.1007/s12237-009-9181-9>.
- ASMUS, M.L. A planície costeira e a lagoa dos patos. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. (Ed.). **Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil**. Rio Grande: Editora Ecoscientia, 1998. p. 7–12.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005. 23 p. Brasília: DOU.
- BRASIL. **Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca, no Estado de Santa Catarina, e dá outras providências**. Publicada no DOU Seção 1, pág. 1. 2000.
- BRICKER, S.B.; LONGSTAFF, B.; DENNISON, W.; JONES, A.; BOICOURT, K.; WICKS, C.; WOERNER, J. Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: a decade of change. *Harmful Algae*, v. 8, n. 1, p. 21–32, 2008. ISSN 15689883. Disp. em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1568988308001182>.
- CARPENTER, S.R.; CARACO, N.F.; CORRELL, D.L.; HOWARTH, R.W.; SHARPLEY, A.N.; SMITH, V.H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological applications*, v. 8, n. 3, p. 559–568, 1998.
- CORRELL, D.L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. *Journal of Environmental Quality*, v. 27, n. 2, p. 261–266, 1998.
- ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- FONSECA, A.L.D.; SORIANO-SIERRA, E.J.; RIBEIRO, G.C. **Guia de campo: vegetação e peixes das lagoas costeiras de Santa Catarina**. Florianópolis: Ed. Insular, 2014. 120 p.
- GLIBERT, P.M. Eutrophication, harmful algae and biodiversity — Challenging paradigms in a world of complex nutrient changes. *Marine Pollution Bulletin*, v. 124, n. 2, p. 591–606, 2017.
- HANSEN, H & KOROLEFF, E. Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. (Ed.). **Methods of Seawater Analysis**. Weinheim; New York; Chicester; Brisbane; Singapore; Toronto: Wiley-VCH, 1999. p. 159–228.
- HARAGUCHI, L.; CARSTENSEN, J.; ABREU, P. C.; ODEBRECHT, C. Long-term changes of the phytoplankton community and biomass in the subtropical shallow Patos Lagoon Estuary, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Elsevier Ltd, v. 162, p. 76–87, 2015. ISSN 02727714. Disp. em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2015.03.007>.
- HARRIS, C.R.; MILLMAN, K.J.; VAN DER WALT, S.J.; GOMMERS, R.; VIRTANEN, P.; COURNAPEAU, D.; OLIPHANT, T.E. Array programming with NumPy. *Nature*, v. 585, n. 7825, p. 357–362, sep 2020. ISSN 0028-0836. Disp. em: <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2649-2>
- HORN FILHO, N.O. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. *Geosul*, v. 18, n. 35, p. 71–98, 2003. ISSN 2177-5230. Disp. em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/13603>.
- HORN FILHO, N.O.; SCHMIDT, A.D.; SOARES, J.L.; DIEBE, V.C.; OLIVEIRA, U.R. Environmental Sedimentary Atlas of the Oceanic Zone of the State of Santa Catarina, Brazil. *Journal of Coastal Research*, n. SPEC. ISSUE 64, p. 1348–1351, 2011. ISSN 07490208.
- HUNTER, J.D. Matplotlib: A 2D Graphics Environment. *Computing in Science & Engineering*, v. 9, n. 3, p. 90–95, 2007. ISSN 1521-9615. Disp. em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4160265/>
- JACOMEL, F. **Conflitos socioambientais em áreas úmidas na zona costeira catarinense: estudo de caso relacionado à ocupação predatória do Banhado da Palhocinha, no Município de Garopaba, no período de 1998 a 2012**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- KJERFVE, B. Coastal lagoons processes. In: KJERFVE, B. (Ed.). **Coastal Lagoons Processes**. Berlin: Elsevier Oceanography Series, 1994. p. 1–8.
- LANA, P.D.C. Avaliação ambiental de estuários brasileiros: diretrizes metodológicas/ organizadores, Paulo da Cunha Lana [et al.]. **Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros: Diretrizes Metodológicas**, n. August, p. 132–144, 2006.
- LIGORINI, V.; CRAYOL, E.; HUNEAU, F.; GAREL, E.; MALET, N.; GARRIDO, M.; PASQUALINI, V. mediterranean coastal lagoons under threat: hydro-ecological disturbances and local anthropogenic pressures (size matters). *Estuaries and Coasts*, v. 46, n. 8, p. 2220–2243, 2023.
- MANTOURA, R.F.C. & LLEWELLYN, C.A. The rapid determination of algal chlorophyll and carotenoid pigments and their breakdown products in natural waters by reverse-phase high-performance liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta*, v. 151, n. C, p. 297–314, 1983. ISSN 00032670.
- NASA. **POWER Data Access Viewer**. 2025. Disp. em: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- NETTO, S.A. **Lagoas costeiras da área de proteção ambiental da Baleia Franca**. 2012. Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL). Disp. em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/apa-da-baleia-franca/arquivos/5_lagoas_costeiras_apa_da_baleia_franca.pdf
- NIENCHESKI, L.F. & BAUMGARTEN, G. **Química ambiental**. In: SEELIGER, U. 1998;
- OLIVEIRA, C.G. & QUADRO, M.F.L. Regionalização da precipitação e temperatura em Santa Catarina com dados de alta resolução temporal e espacial. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 35, p. 251–274, 2024.

- PEREIRA, M.E.G.S. ASP NETO, N.E.; MOURA, H.T.G.D.S.; NUNES, Z.M.P. Influência das variáveis ambientais na qualidade da água de uma lagoa costeira tropical no norte do Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 50, n. 1, p. 81–93, 2017.
- PIMENTEL, V.T.; LOITZENBAUER, E.W.; ROCHA, C.M. Variabilidade climática e qualidade da água em três lagoas da bacia hidrográfica do rio Tramandaí, rs, brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 20, 2023. Disp.em: <https://doi.org/10.21168/rega.v20e15>.
- POLETTE, M. (Ed.). **Zona costeira de Santa Catarina: desafios e perspectivas para o desenvolvimento sustentável**. 3. ed. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, 2023. 212 p.
- SC, D.C.D. ATENÇÃO MARÍTIMA SDC/SC 10/08 – 09:00 – **Mar muito agitado a grosso entre segunda (12) e quarta-feira (14)**. 2024. Florianópolis: Secretaria de Estado da Proteção e Defesa Civil. Disp. em: <https://www.defesacivil.sc.gov.br/2024/08/12/atencao-maritima-sdc-sc-10-08-0900-mar-muito-agitado-a-grosso-entre-segunda-12-e-quarta-fei> Acesso em: 23 mar. 2025.
- SCHINDLER, D.W. **Evolution of phosphorus limitation in lakes**. Science, 1977.
- SCHOSSLER, V.; JR., E.E.T.; DANI, N. Morfodinâmica da desembocadura da lagoa do peixe, litoral sul do brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 44, n. 1, p. 25–39, 2017.
- SIMCOSTA. **SiMCosta Tramandaí**. [S.l.]: Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira.
- SMITH, V. H. e. a. Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. *Limnology and Oceanography*, 2006.
- TEIXEIRA, S.B.; GASPAR, P.; PINTO, C.A. Influência antrópica na qualidade da água de uma lagoa costeira eutrófica (Lagoa dos Salgados, Algarve-Portugal). In: II JORNADAS IBERICAS DE JOVENES GEOLOGOS, UNIVERSIDADE DE ÉVORA, 2001. Porto-Portugal. **Anais...**Porto: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2001.
- WASKOM, M. seaborn: statistical data visualization. **Journal of Open Source Software**, v. 6, n. 60, p. 3021, apr 2021. ISSN 2475-9066. Disp. em: <https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.03021>.
- WETZEL, R. G. **Limnology: Lake and River Ecosystems**. [S.l.]: Academic Press, 2001.
- WOLANSKI, E.; CHICHARO, L.; CHICHARO, M. A. **Estuarine ecohydrology**. [S.l.: s.n.], 2018. 153 p. ISBN 97804444641304.
- WONG, K.T.M.M.; LEE, J.H.W.W.; HARRISON, P. J. Forecasting of environmental risk maps of coastal algal blooms. **Harmful Algae**, v. 8, n. 3, p. 407–420, 2009.

*Submetido em 6 de agosto de 2025
Aceito para publicação em 23 de fevereiro de 2026*