

# Variabilidade climática e qualidade da água em três lagoas da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, RS, Brasil

Climate variability and water quality in three lagoons of Tramandai River Basin, Southern Brazil

Viviane Tavares Pimentel<sup>1</sup> , Ester Wolff Loitzenbauer<sup>1</sup> , Cacinele Mariana da Rocha<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidade do Estado do Rio Grande do Sul, Osório, RS, Brasil. E-mails: vivianetavares\_@hotmail.com, ester-loitzenbauer@uergs.edu.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Imbé, RS, Brasil. E-mail: cacinele@gmail.com

**Como citar:** Pimentel, V. T., Loitzenbauer, E. W., & Rocha, C. M. (2023). 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*, 20, e15. <https://doi.org/10.21168/rega.v20e15>

**RESUMO:** A qualidade de água dos corpos hídricos pode ser alterada significativamente pela ação antrópica e pela variabilidade climática, através de fatores como a precipitação, evaporação e aumento da temperatura. O presente estudo correlacionou dados de qualidade de água a fatores climáticos, observando as mudanças ao longo dos anos. Foram utilizados dados de qualidade de água coletados entre os anos de 2009 e 2019 em três lagoas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí (BHRT), sendo elas Lagoa do Passo, do Quadros e Itapeva. Através de análises multivariadas foi possível aferir que fatores climáticos, como precipitação (P), evaporação (E), a diferença P-E e ENOS (CP1) são responsáveis por 26,4% da variância dos dados, já a temperatura da água, velocidade do vento e evaporação (CP2) indicaram estar ligados a 12,4% das variâncias, e 11% se deve à pH, salinidade, oxigênio dissolvido e fósforo total (CP3). O pH foi o principal parâmetro de qualidade que apresentou correlação com os fatores climáticos. A salinidade da Lagoa do Passo esteve fortemente relacionada com o fósforo total. O fenômeno ENOS e a precipitação não apresentaram relação forte com a salinidade, indicando que dinâmica estuarina na Lagoa do Passo é mais complexa do que inicialmente pareceu, necessitando estudos mais aprofundados.

**Palavras-chave:** El Niño; ENOS; Precipitação; Evaporação; Litoral Norte do RS.

**ABSTRACT:** Water quality can be significantly altered by human action and climate variability. Factors such as precipitation, evaporation and temperature increases can cause changes the physical-chemical water parameters. The present study aimed to correlate water quality data with climatic factors observing changes over the years. Water quality data was collected between 2009 and 2019 in three lagoons belonging to the Tramandaí River Basin, namely Passo, Quadros and Itapeva Lagoons. Through multivariate analysis it was possible to verify that climatic factors such as precipitation, evaporation, the difference between them and ENSO generate great influence on water quality, being responsible for 26.4% of the data variance (PC1). While water temperature, wind speed and evaporation are linked to 12.4% of the variances (PC2). 11% of variance is due to pH, salinity, dissolved oxygen and total phosphorus (PC3). The pH was the main quality parameter that correlated with climatic factors. The Passo Lagoon salinity was strongly correlated to total phosphorus. The ENSO phenomenon and precipitation were not strong related to salinity pointing out that the estuarine dynamics in Passo Lagoon is more complex than it seems and further studies are necessary.

**Keywords:** El Niño; ENSO; Precipitation; Evaporation; North Coast of RS.

## 1. INTRODUÇÃO

Em cenários de mudanças climáticas, pesquisas relacionadas com os eventos extremos e seus efeitos nas bacias hidrográficas são essenciais para a adaptação humana (Marengo, 2008). Além dos eventos de enchentes e secas, a qualidade de água também tem ganhado bastante atenção, já que impactos na qualidade de água podem ser exacerbados por fatores meteorológicos (Michalak, 2016). Por exemplo, o escoamento de nutrientes e agrotóxicos em plantações, é mais intenso após intensas chuvas (Agência Nacional de Águas, 2016; Gascuel-Oudoux et al., 2010). Também o aporte de coliformes fecais nos corpos d'água próximos a centros urbanos é maior com o aumento da precipitação (Oliveira & Cunha, 2014). Já as temperaturas mais altas aceleram o crescimento de bactérias e do fitoplâncton (Ho &

Recebido: Janeiro 23, 2023. Revisado: Maio 05, 2023. Aceito: Julho 03, 2023.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a [licença Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Michalak, 2017), afetam o equilíbrio físico-químico de substâncias na água (Delpla et al., 2009), além de diminuir a solubilidade do oxigênio em água. Com o clima mais quente, aumenta a mineralização e consequentemente a liberação de nitrogênio, fósforo e carbono da matéria orgânica do solo (Gascuel-Oudoux et al., 2010). Associados à precipitação, esses poluentes são transportados às massas d'água, favorecendo o crescimento de cianobactérias e eventos de floração de algas, que causam deterioração na qualidade de água (Delpla et al., 2009).

Contudo, apesar dos indícios apontados, a relação entre a variabilidade climática e a qualidade de água ainda não é completamente compreendida, especialmente devido à dificuldade inerente às diferentes escalas dos estudos hidrológicos (escala local) e climáticos (escalas regionais e globais) (Michalak, 2016).

No sul do Brasil, o *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) se destaca na dinâmica climática (Grimm et al., 1998). Esse fenômeno está relacionado à anomalias na temperatura superficial do oceano Pacífico equatorial associada a mudanças na intensidade dos ventos alísios na região (Trenberth & Stepaniak, 2001), causando aumento de precipitação (fase *El Niño*) e secas e frio (fase *La Niña*) no Sul do Brasil. Mesmo que os efeitos do ENOS sejam sentidos durante todo o período, existem dois períodos do ano mais significativos: primavera e início do verão (outubro, novembro e dezembro) no ano inicial do evento; e final do outono e início do inverno (abril, maio e junho), no ano seguinte ao início do evento (Cunha, 1998).

Estudos têm apontado uma relação entre o aumento do efeito estufa e o aumento na frequência dos chamados "Super *El-Niños*" (Marengo, 2001; Nunes, 2015), onde os efeitos são ainda mais intensos. Se há uma relação entre o ENOS e a qualidade de água no sul do Brasil, em virtude de um aumento na intensidade deste fenômeno, os impactos na qualidade de água serão mais intensos.

Scarsbrook et al. (2003) estudaram a associação entre os padrões de ENOS e a variabilidade temporal da vazão e 12 variáveis de qualidade de água em 77 rios na Nova Zelândia e observaram que as tendências de qualidade de água correspondem com as tendências no índice de ENOS. Em regiões temperadas, outros estudos mostraram relação entre variação intra e interanual de índices climáticos com vazão e qualidade de água (Gascuel-Oudoux et al., 2010; Aguilera et al., 2012; Mellander et al., 2018; May et al., 2023). No Brasil, Piazza et al. (2018) observaram relação positiva entre a concentração de ânions na água e o índice ENOS, em uma bacia hidrográfica representativa no sul do Brasil.

As lagoas do Passo, Quadros e Itapeva, pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí (BHRT), no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, são áreas importantes para a biodiversidade e fundamentais para a população, visto que são utilizadas no abastecimento dos municípios do Litoral Norte do RS, bem como irrigação, pesca e atividade de lazer (Castro & Rocha, 2016; Milani, 2019). Essas lagoas, ao longo dos anos, vêm sofrendo impacto da agricultura e à expansão urbana associada ao aumento da população no período de veraneio, fatores que influenciam a disponibilidade e qualidade de água. Os nutrientes provenientes do lançamento de efluentes sanitários, fertilizantes e defensivos agrícolas, se concentram com o aumento da temperatura e evaporação, favorecendo o desenvolvimento de floração de cianobactérias, causando prejuízos ao abastecimento e riscos à saúde humana (Oliver & Ribeiro, 2014; Pinzon, 2015).

Este trabalho buscou correlacionar dados de qualidade de água a fatores climáticos como precipitação, evaporação, temperatura e ENOS observando as mudanças que ocorrem entre 2009 e 2019.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ

A Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí (BHRT) está localizada no norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (RS) (Figura 1). A BHRT drena uma área de 2.978,11 km<sup>2</sup> e, cerca de, 150 km de orla marítima (Castro, 2019), incluindo municípios da encosta da Serra Geral. A localização da bacia, tendo como limite a orla marítima, faz com que a mesma seja muito frequentada, principalmente no período de veraneio, o que tem implicado na demanda crescente de água e esgoto (Castro, 2019).

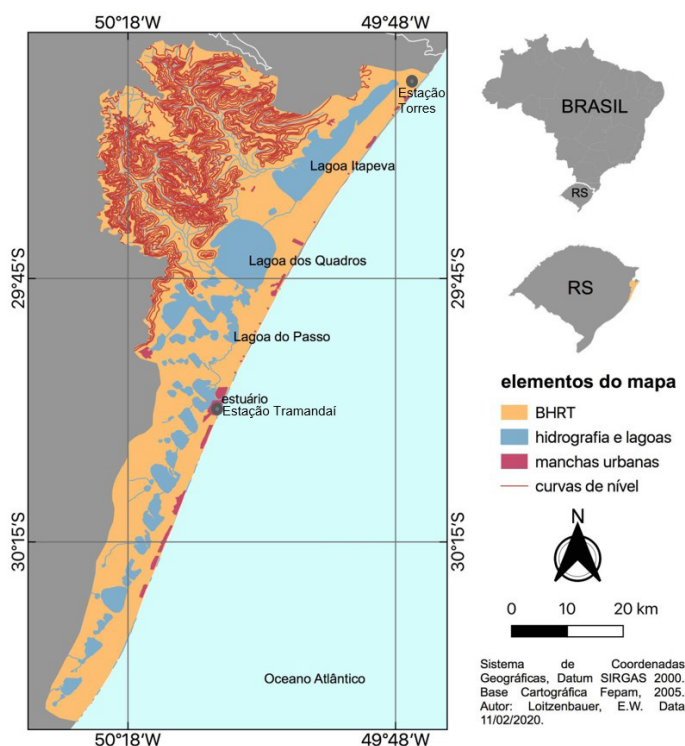
A BHRT é composta por um sistema de lagoas paralelas à costa, interligadas através de canais, com algumas lagoas isoladas (Figura 1). A ligação com o Oceano Atlântico ocorre entre as cidades de Tramandaí e Imbé, onde está localizado o complexo estuarino Tramandaí-Armazém.

A Lagoa da Itapeva é a que apresenta maior área entre as lagoas da BHRT, recebe as aflúncias do Rio Três Forquilhas e dos arroios Cardoso e Chimarrão. Esta lagoa é fonte de abastecimento público para o município de Torres, e de importante biodiversidade, sendo utilizada por comunidades de pescadores. O cultivo de banana, a plantação de eucalipto e a expansão urbana são os principais fatores que afetam a paisagem (Castro & Rocha, 2016).

A Lagoa dos Quadros é a segunda maior lagoa da bacia e recebe águas da Lagoa Itapeva, da Sanga Funda e do Rio Maquiné. Possui grande importância para a região, pois abastece a população residente

e temporária dos municípios de Xangri-Lá e Capão da Canoa, além de ser utilizada pelas comunidades de pescadores artesanais e quilombolas. Os principais fatores de risco para qualidade de água são os cultivos de banana e arrozais, a urbanização e construção de condomínios residenciais, a falta de saneamento básico e o aumento populacional no período de veraneio (Castro & Rocha, 2016).

A Lagoa do Passo abastece os balneários de Rainha do Mar e Atlântida Sul, pertencentes aos municípios de Osório e Imbé, respectivamente. A contaminação por agrotóxicos, fertilizantes e esgoto não tratado, são os principais fatores que comprometem a qualidade de água desta lagoa. Esta lagoa está localizada no limite do sistema estuarino e está sujeita a eventos esporádicos de salinização de suas águas (Loitzenbauer & Mendes, 2012).



**Figura 1:** Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí (BHRT), RS, Brasil, destacando hidrologia e lagoas pesquisadas, ocupação urbana, elevação e as estações meteorológicas utilizadas.

## 2.2 METODOLOGIA

Para verificar a influência da variabilidade climática sobre a qualidade de água foram apresentadas as medidas descritivas das variáveis, análises de correlação e a análise multivariada de principais componentes (ACP) (*Principal Component Analysis*), *biplots* e gráfico acíclico dirigido (*Directed Acyclic Graphic* - DAG) para todas as lagoas. Para o tratamento dos dados foi utilizado o software estatístico R®.

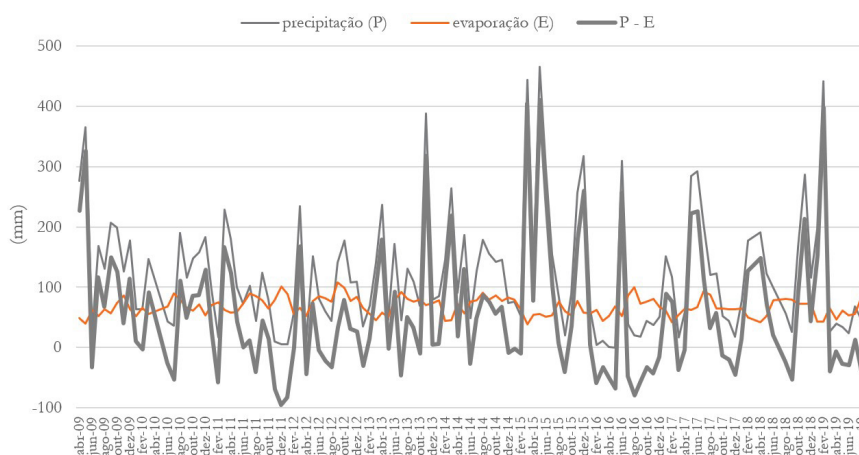
Os dados de qualidade de água utilizados (temperatura da água, pH, salinidade, oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio amoniacal e demanda bioquímica de oxigênio a 5 dias - DBO<sub>5</sub>) foram obtidos na plataforma Lume UFRGS (Rocha, 2019; Rocha & Castro, 2019a; Rocha & Castro, 2019b; Milani et al., 2021), sendo estes produzidos e disponibilizados pelo Laboratório de Análise de Águas e Sedimentos do Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos da UFRGS referentes ao monitoramento executado mensalmente durante o período de 2009 a 2019. Os resultados obtidos para os parâmetros foram confrontados com os limites das classes de uso da água de acordo com o Enquadramento de cada lagoa e com a Resolução do CONAMA Nº 357/2005.

Os dados de pluviometria, evaporação, umidade do ar, foram obtidos nas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia de Tramandaí (cód. 2950015) e de Torres (cód. 2949002) (Instituto Nacional de Meteorologia, 2021), estas localizadas nos dois extremos geográficos do subsistema norte da BHRT. Para a precipitação, foi utilizado o método da média aritmética (Smith, 1993), sendo realizada média da precipitação acumulada de 15 (quinze) dias anteriores à data da coleta dos dados de qualidade em cada uma das estações. Para a evaporação, foi feita a média aritmética da evaporação acumulada 15 (quinze) dias anteriores à coleta em tanque evaporímetro nas

estações do INMET de Tramandaí e de Torres (Instituto Nacional de Meteorologia, 2021). O saldo entre precipitação e evaporação (P-E), foi obtido de forma direta subtraindo dos valores de precipitação os valores de evaporação acumulados, ambos no período de 15 dias. A umidade foi feita a média aritmética das estações INMET de Tramandaí e de Torres (Instituto Nacional de Meteorologia, 2021), um mês antes das coletas.

### Precipitação e evaporação

A Figura 2 apresenta os dados de precipitação (P), evaporação (E) e sua diferença (P-E). As medianas anuais da precipitação foram registradas entre 29,5 e 144,0 mm, sendo observado os maiores volumes em junho de 2019 (441,2 mm), setembro (466,0 mm) e julho (443,6 mm) de 2015, ano influenciado pelo *El Niño* forte (Figura 3), com índices de 1,7 e 2,2, respectivamente, provocando um aumento nos eventos de precipitação (Alencar et al., 2019). Os menores volumes foram observados nos meses de abril e maio de 2012 (*La Niña* forte) com 6,0 mm e no ano de 2016 (*La Niña* fraco) com valores de 1,0 mm em agosto e 0,0 mm em setembro, meses sem precipitação.



**Figura 2:** Dados de precipitação, evaporação e a diferença entre eles (P-E), para a região norte da BHRT, RS, Brasil. Período de análise abril de 2009 a dezembro de 2019.

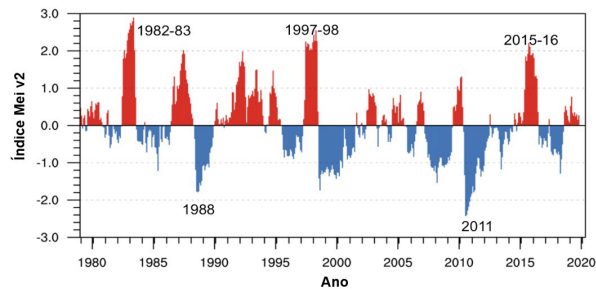
Para a evaporação, as medianas anuais registradas foram entre 29,1 e 42,7 mm. Os maiores valores observados foram nos meses de abril (56,6 mm) e outubro (53,8 mm) de 2012 (situação de *La Niña* fraca) e em janeiro (63,1 mm) de 2013 (final do *La Niña*), período com evaporação atípica e sem relação com ENOS (Figura 3). Os menores valores foram observados em julho de 2015 (17,0mm) (*El Niño*) e junho de 2012 (17,5 mm).

Já a diferença entre precipitação e evaporação apresentou balanço positivo, ou seja, indicando disponibilidade de água. Neste caso, a mediana anual foi registrada entre 93,0 e 228,0 mm, com os maiores valores sendo observados em julho (426,6 mm) e setembro (443,8 mm) de 2015 e junho de 2019 (422,5 mm), períodos de *El Niño*. Os menores valores foram em setembro de 2016 e abril de 2012, ambos com valores negativos de 50,6 mm, ou seja, evaporação excedendo a precipitação. Destaca-se que o ano de 2012 era *La Niña* fraco, que gera secas.

Com relação a umidade do ar, as medianas anuais se mostraram entre 44,9 e 83,4%, sendo os maiores valores observados em julho de 2015 com 88,5% e setembro de 2009 com 87,9%, já os menores valores foram observados em maio e setembro de 2019, com valores de 40,7% e 41,4% respectivamente.

### ENOS

Para representar o ENOS, foi utilizado o índice Mei v2 obtido de National Oceanic and Atmospheric Administration (2022), sendo que valores maiores que +0,4 são caracterizados com *El Niño* (0,5 a 0,9 intensidade fraca; 1,0 a 1,4 moderada;  $\geq 1,5$  forte). Quando os valores são menores que -0,4, o período é caracterizado como *La Niña* (-0,5 a -0,9 intensidade fraca; -1,0 a -1,4 moderada;  $\leq -1,5$  forte). A Figura 3 apresenta o gráfico do Mei v2 por ano.

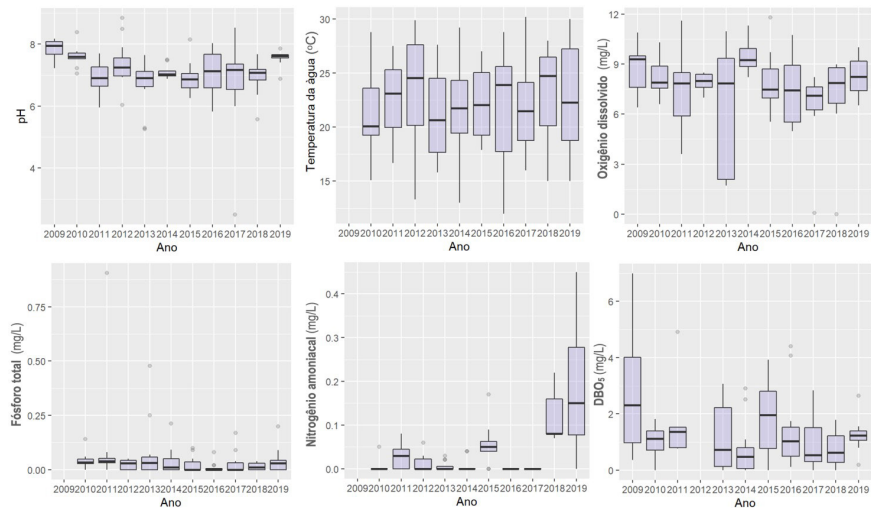


**Figura 3:** Índice MEI de ENOS desde 1979 até o 2019. Índices positivos indicam El Niño (vermelho) e índices negativos (azul) La Niña.

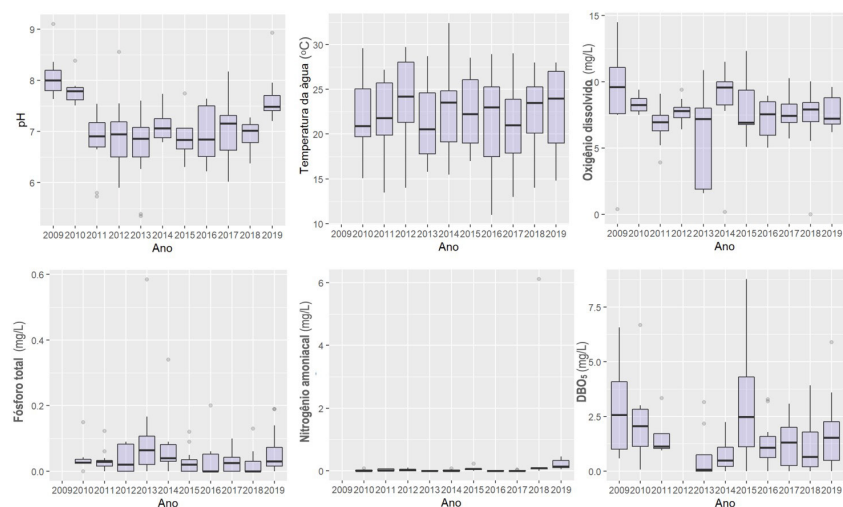
**Fonte:** National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

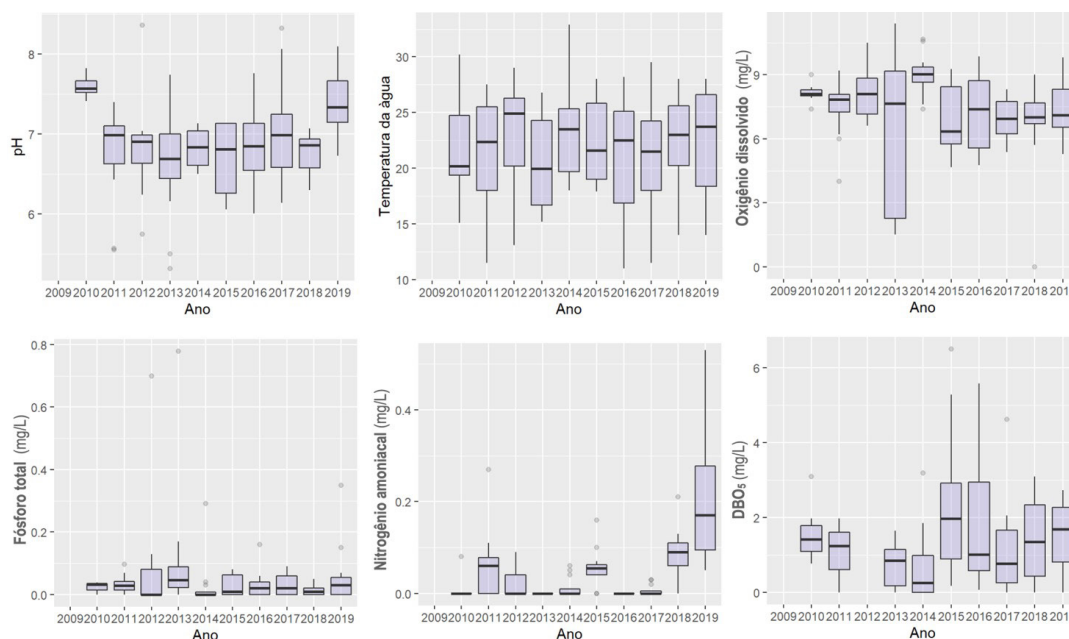
Os resultados dos parâmetros analisados para cada uma das lagoas: Itapeva, Quadros e Passo estão apresentados nas imagens que compõem as Figuras 4, 5, e 6, respectivamente. Para discussão dos resultados, os limites dos parâmetros analisados estão conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005), onde a Lagoa dos Quadros e a Lagoa do Passo são enquadradas como Classe I de águas doces e a Lagoa Itapeva como Classe II de água doce.



**Figura 4:** Boxplots dos parâmetros físico-químicos para a Lagoa da Itapeva, BHRT, RS, Brasil. Período de análise abril de 2009 a dezembro de 2019.



**Figura 5:** Boxplots dos parâmetros físico-químicos para a Lagoa dos Quadros, BHRT, RS, Brasil. Período de análise abril de 2009 a dezembro de 2019.



**Figura 6:** Boxplots dos parâmetros físico-químicos para a Lagoa do Passo, BHRT, RS, Brasil. Período de análise abril de 2009 a dezembro de 2019.

### Potencial hidrogeniônico (pH)

Os valores de pH na Lagoa da Itapeva variaram com a mediana ficando entre 7,95 e 6,87 para todos os anos. O menor valor observado foi 2,50, possivelmente associado a um erro de calibração do phmetro ou variação localizada em um ponto específico da lagoa. O maior valor observado foi 8,85 em janeiro de 2012. Na Lagoa dos Quadros, o pH se manteve na mediana de 7,00 para todos os anos. O menor valor observado foi em setembro de 2013 com pH em 5,35, já o maior valor encontrado foi em novembro de 2009 atingindo 9,10.

Já na Lagoa do Passo, o pH apresentou medianas anuais entre 6,00 e 7,00; sendo o maior valor observado no mês de janeiro de 2012 (8,36) e o menor valor foi observado em setembro de 2013 (5,30).

A Resolução CONAMA nº 357/2005, estabelece os limites de 6 a 9 de pH para águas de classe I e II. Na maioria das amostragens o pH esteve dentro do padrão, contudo, na Lagoa dos Quadros e do Passo, alguns pontos ficaram abaixo de 6 (a Lagoa Itapeva teve apenas um ponto isolado – 2,5).

### Temperatura da água

Na Lagoa da Itapeva apresentaram medianas anuais da temperatura variaram de 20,0 e 24,0 °C, sendo o maior valor observado em fevereiro de 2017 (30,2 °C). Já a menor temperatura foi registrada ocorreu em junho de 2016 (12,0 °C).

A mediana se manteve em torno dos 20,0 °C para todos os anos na Lagoa dos Quadros. O maior valor observado foi fevereiro de 2014 (32,4 °C), já o menor valor (11,0 °C) foi registrado em junho de 2016.

Assim como nas lagoas anteriores, a Lagoa do Passo manteve mediana anual em 20,0 °C, porém com a máxima se destacando entre as lagoas, atingindo 32,9 °C em fevereiro de 2014 e o menor valor observado em junho de 2016, atingindo 11,0 °C.

A temperatura da água é uma variável de grande importância, pois ela influencia o metabolismo das comunidades, com impacto na produtividade primária e na decomposição da matéria orgânica (Santos et al., 2002). Quando relacionando com possíveis efeitos das mudanças climáticas, a temperatura é um principal efeito, que impacta os parâmetros de qualidade de água (Salila et al., 2020). Entende-se que 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 favorece na homogeneização os corpos hídricos. Assim, a Lagoa do Passo, mais rasa, com pontos atingindo menos de 1 metro, resultará em águas com temperaturas mais elevadas, no período quente do ano ou menores, no período mais frio do ano (Castro & Rocha, 2016; Alencar et al., 2019; Rocha, 2019).

### Oxigênio dissolvido

Com relação ao oxigênio dissolvido (OD), a mediana para todos os anos na Lagoa da Itapeva ficou acima de 7,00 mg/L, sendo o valor mais elevado em setembro de 2015 com 11,81 mg/L, mês chuvoso e período de *El Niño*. Os menores valores observados para Itapeva foram em outubro de 2013, agosto de 2017 e abril de 2018, com valores abaixo de 2,00 mg/L, sendo que o limite de OD para classe II é 5 mg/L. Com o aumento da temperatura da água, a solubilidade do OD diminui; além disso, o aumento do vento aera as águas adicionando OD (Castro & Rocha, 2016). Contudo, não foi encontrada relação direta para os valores máximos e mínimos na Itapeva.

Já na Lagoa dos Quadros, a mediana anual de OD se manteve entre 6,00 e 9,00 mg/L para todos os anos, e em 2009 observamos o maior valor com 14,50 mg/L observado no mês de novembro. Destaque para o limite de OD para a classe I, de 6 mg/L. Os menores valores ficaram abaixo de 1,00 mg/L, nos meses de junho de 2009, janeiro de 2014 e abril de 2018. O mínimo de janeiro de 2014 pode estar associado a elevada temperatura da água no dia (30 °C). Os valores de junho de 2009 e abril de 2018 não estão relacionados a ventos fracos ou temperaturas altas.

A Lagoa do Passo, assim como a dos Quadros, manteve a mediana anual entre 6,00 e 9,00, sendo observada pequena variação, com valores muito próximos nos anos de 2010 a 2012. O ano de 2013 apresentou uma ampla variação, sendo encontrado o menor valor em outubro (1,52 mg/L) e o maior valor em junho (11,40 mg/L).

### Fósforo total

A análise de fósforo total para a Lagoa Itapeva obteve medianas anuais entre ND (não detectável) (abaixo de 0,02 mg/L) e 0,82 mg/L, sendo os maiores valores observados em março de 2011 (0,91 mg/L) e julho de 2013 (0,48 mg/L) e o limite para a Classe II, 0,03 mg/L. As variáveis para a Lagoa do Passo nos indicam medianas anuais entre 0 e 0,47 mg/L, com maiores valores observados em julho de 2013 (0,78 mg/L) e janeiro de 2014 (0,29 mg/L), sendo o limite para a Classe I, 0,02 mg/L. Já para a Lagoa dos Quadros, as medianas se mantiveram entre ND e 0,64 mg/L para todos os anos. Os maiores valores foram observados no ano de 2013, nos meses de julho (0,58 mg/L) e agosto (0,17 mg/L).

Com relação ao fósforo há indícios de ação antrópica contribuindo para o aumento significativamente acima dos limites permitidos pelas classes, conforme reportado por Castro & Rocha (2016), que identificou fontes de fertilizantes e pesticidas provenientes das áreas agrícolas no entorno da Lagoa do Passo por meio do cultivo de arroz. Também se observa uma mudança de culturas em torno da Lagoa do Passo, sendo que o arroz está sendo trocado pelo cultivo de soja. Além da contribuição agrícola existe também um aporte subterrâneo proveniente de fossas sépticas na faixa freática rasa do litoral, na qual muitas operam sem a devida manutenção.

### Nitrogênio amoniacal

As medianas anuais de nitrogênio amoniacal se mantiveram entre não detectado (ND, abaixo de 0,02 mg/L) e 0,15 mg/L para a Lagoa da Itapeva, sendo os maiores valores observados nos meses de maio, julho e dezembro de 2019, com valores de 0,24; 0,45 e 0,33 mg/L, respectivamente. Para a Lagoa dos Quadros, as medianas anuais se mantiveram entre ND e 0,14 mg/L, com menores e maiores valores observados sendo 0,46 mg/L em abril de 2019 e 6,12 mg/L em agosto de 2018, respectivamente. Os dados da Lagoa do Passo nos indicam medianas anuais entre ND e 0,17 mg/L para todos os anos, sendo observados os maiores valores para o ano de 2019 com 0,53 mg/L, em agosto, e 0,44 mg/L, em dezembro.

De maneira geral, os limites estão dentro do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357, de 2,0 mg/L em lagoas com pH entre 7,5 e 8,0, para as classes I e II. O valor elevado de nitrogênio amoniacal, segundo Von Sperling (2014), pode estar associado à descarga doméstica de efluente, dejetos de animais e fertilizantes químicos. No entorno da Lagoa dos Quadros existem comunidades de pescadores e quilombolas, cultivo de arroz e banana, silvicultura, associados à falta de saneamento básico (Castro & Rocha, 2016). No entorno da Lagoa do Passo, existem diversas propriedades que cultivam arroz, apesar de estar sendo trocado pela soja. No entorno da Lagoa Itapeva os cultivos são diversificados. O nitrogênio amoniacal apresentou tendência positiva de aumento ao longo dos anos, possivelmente associadas ao crescente cultivo agrícola e urbanização no entorno das lagoas.

Destaca-se o problema do aumento crescente da população no período de veraneio (Loitzenbauer & Mendes, 2012). Picos de fósforo coincidiram com o período do verão. Além disso, estações de tratamento de efluentes na região usam trincheiras de infiltração, contribuindo com o aumento das cargas de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio amoniacal. Mais estudos são necessários para obter clareza da relação da fonte de nutrientes nas lagoas.

### **Demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>)**

A demanda bioquímica de oxigênio a 5 dias corresponde à quantidade necessária de oxigênio para oxidar a matéria orgânica por ação de bactérias aeróbias durante 5 dias, sendo um importante indicador do grau de poluição por matéria orgânica (Milani, 2019). Para a classe I o limite é até 3 mg/L de O<sub>2</sub>, e para a classe II, o limite é até 5 mg/L de O<sub>2</sub> (Brasil, 2005).

Os valores de DBO<sub>5</sub> para Lagoa Itapeva obtiveram medianas anuais entre 0,48 e 2,31 mg/L, sendo os maiores valores observados em setembro de 2009 (7,00 mg/L), julho (4,07 mg/L) e dezembro (4,40 mg/L) de 2016.

A Lagoa do Quadros obteve medianas anuais entre 0,07 e 2,57 mg/L, sendo os maiores valores observados em fevereiro de 2015 (8,78 mg/L), novembro de 2010 (6,68 mg/L) e agosto de 2009 (6,57 mg/L), valores superiores ao que estabelece a Resolução CONAMA nº 357/2005 de até 5 mg/L para ambientes Classe 2.

Para a Lagoa do Passo, as medianas anuais se mantiveram entre ND (0,04 mg/L) e 1,98 mg/L, com os maiores valores observados em agosto de 2015 (5,28 mg/L) e dezembro de 2016 (5,58 mg/L), períodos de EL Niño e de chuvas intensas.

A menor concentração de matéria orgânica na Lagoa do Passo pode estar associada a distância das fontes, já que a lagoa está afastada dos principais afluentes da bacia, os rios Maquiné e Três Forquilhas, que descem a escarpa da Serra Geral, trazendo sedimentos. Além disso, é a única da três que sofre influência da intrusão salina do oceano, trazendo águas com baixo teor de sedimentos.

### **Salinidade**

A Lagoa do Passo apresentou a maior influência da intrusão salina no Estuário Tramandaí-Armazém. A salinidade nesta lagoa manteve medianas entre ND (0,03) e 0,08 para todos os anos, sendo observado os maiores valores em junho e julho de 2012 (situação de ENOS neutro), com resultados de 2,56 e 1,53, respectivamente, e em julho de 2013, com 6,88 (situação de *El Niño* fraco). Destacando que as amostragens de água ocorrem em subsuperfície, o que indica que pode haver influência salina maior em profundidade. A Lagoa do Passo é considerada o limite estuarino da BHRT.

### **Análise de correlação por lagoa**

Com relação aos fatores climáticos, a umidade se mostrou correlacionada positivamente com a velocidade do vento (0,302; 0,001), e a velocidade do vento com a evaporação acumulada (0,502; <0,001).

A precipitação acumulada de 15 dias possui correlação com o El Niño (0,279, 0,003). De acordo com Soares (2008) e Miro et al. (2019), o ENOS foi responsável por aumentar das chuvas na região sul do Brasil. A correlação encontrada foi mais baixa, quando comparada com o estuário da Lagoa dos Patos, RS (Fernandes et al., 2002; Pasquini et al., 2012).

Para a Lagoa Itapeva a temperatura da água apresentou correlação com a velocidade do vento ( $r=0,348$ ; <0,001) e a evaporação (0,544; <0,001), uma vez que o vento movimentava a massa de água, garantindo a distribuição do calor na coluna d'água, sem estratificação, aumentando a temperatura das mesmas e contribuindo para a evaporação da lagoa (Oliver & Ribeiro, 2014; Silva et al., 2009).

Para Lagoa dos Quadros, também foi observada correlação entre a temperatura da água e a velocidade do vento (0,373; <0,001), DBO<sub>5</sub> (0,305; 0,003) e a evaporação acumulada (0,529; <0,001), assim como na Lagoa Itapeva. Essa correlação indica que temperaturas elevadas tendem a favorecer as reações, diminuindo a solubilidade de gases dissolvidos na água e favorecendo a digestão da matéria orgânica nos corpos hídricos (Santos et al., 2018).

Na Lagoa Itapeva o pH apresentou correlação com a salinidade (0,209; 0,190), OD (0,474; <0,001) e DBO<sub>5</sub> (0,263; 0,0309). Acredita-se que produção primária consome CO<sub>2</sub> que acidifica as águas (aumentando o pH) e liberando OD.

Assim como na Lagoa da Itapeva, na Lagoa dos Quadros o pH mostrou correlação com o OD (0,361; <0,001), com o nitrogênio total (0,330, 0,001), DBO<sub>5</sub> (0,284; 0,007) e El Niño (-0,315, <0,001).



O OD está correlacionado negativamente com o fósforo (-0,246, 0,008) e positivamente com DBO (0,290, 0,005). Essa correlação entre fósforo e DBO<sub>5</sub>, pode estar ligada ao escoamento superficial, visto que ao redor das lagoas ocorrem áreas de cultivo agrícola, favorecendo a entrada de fertilizantes nos corpos hídricos. Outro fator que pode estar relacionado, é a precariedade dos sistemas de tratamento de esgoto, aumentando a carga orgânica que aporta nas lagoas (Bruzelli & Santino, 2013; Ryberg & Chanut, 2022).

As correlações entre variáveis para a Lagoa do Passo mostram que a temperatura da água nesta lagoa está relacionada à DBO<sub>5</sub> (0,259; 0,014), velocidade do vento (0,355; <0,001) e evaporação acumulada (0,532; <0,001). A relação entre pH e OD (0,320; 0,001), umidade (0,259; 0,014) e El Niño (-0,374, <0,001), pode ser explicada uma vez que o pH sofre interação com taxas de fotossíntese (Libânio, 2016), sendo que a fotossíntese retira CO<sub>2</sub> da água (aumentando o pH) e aumenta o OD. A salinidade também foi correlacionada com DBO (0,241, 0,022), umidade (0,255, 0,006), velocidade do vento (0,347, <0,001), El Niño (-0,245, 0,008) e com o nitrogênio total (-0,223, 0,023). O OD está correlacionado com a DBO (0,342, 0,001) e com o fósforo (-0,321, 0,001).

A salinidade na Lagoa do Passo apresentou correlação com os teores de fósforo (0,576; <0,001) e com o OD (-0,210, 0,026). Essa correlação pode estar ligada a liberação do fósforo ser influenciada pela salinidade e pH (Travassos, 2011), ou do efeito da variação de fluxo, que pode revolver o fósforo do fundo, proveniente da urbanização e efluentes não tratados (Castro & Rocha, 2016).

Na BHRT, o efeito do vento foi associado com a entrada de água salgada e saída de água doce, dependendo da direção e intensidade do vento (Serviços Técnicos de Engenharia, 2019). Outro fator associado é o da descarga de água doce, associada ao aumento da precipitação (relacionada com o El Niño) que pode limitar a entrada da pluma estuarina (Serviços Técnicos de Engenharia, 2019).

Contudo, ao analisar as correlações da salinidade com outros fatores climáticos e de qualidade de água, observa-se que há um padrão entre as Lagoas dos Quadros e Itapeva, que difere da Lagoa do Passo. A Lagoa do Passo está localizada mais a jusante, e a única que sofre efeito da intrusão salina do oceano. As Lagoas dos Quadros e Itapeva, mais a montante na bacia, a salinidade está relacionada com La Niña (correlação negativa), velocidade do vento, umidade e nitrogênio total. Ou seja, a fonte de salinidade para a Lagoa do Passo é diferente em comparação com as outras duas lagoas. A salinidade apresentou o maior coeficiente de correlação (0,576) com o fósforo total, além da correlação com o OD. O fósforo é o principal problema na qualidade das águas da BHRT, conforme monitoramento da GERCO-Fepam (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler, 2019), tanto no verão quanto no inverno. De acordo com a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (2019), a principal origem do fósforo é proveniente de efluentes domésticos ricos em detergentes.

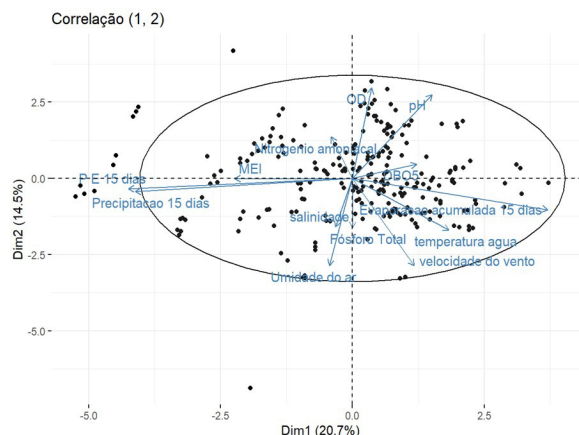
Interessante destacar a previsão de aumento da frequência dos Super *El Niños* (Marengo, 2001; Nunes, 2015) relacionada a mudanças climáticas. Neste caso, se espera observar em *La Niña*, aumento da salinidade na Lagoa do Passo, aumento do pH nas três lagoas, e em *El Niño*, aumento da precipitação.

### **Análise de Principais Componentes (APC)**

A APC indica que com cinco componentes é possível explicar aproximadamente 66% da variância total dos dados, sendo que os três primeiros componentes (CP1, CP2 e CP3) explicam 50% da variação (Figura 7). Para a análise de componentes principais foram usados os dados climáticos e variáveis físico-químicas de qualidade de água de todas as lagoas.

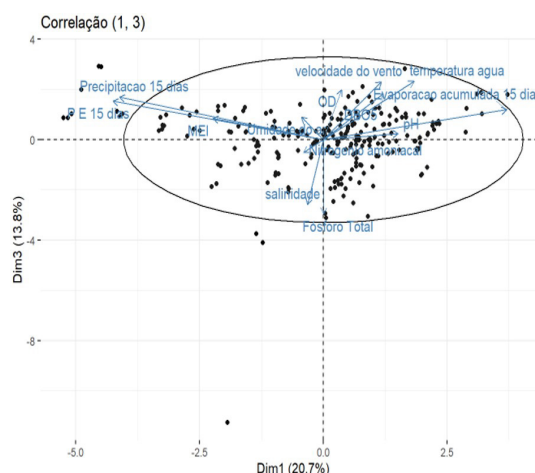
A CP1 explicou 26,4% da variância total e mostra a influência dos fatores climáticos, sendo eles a precipitação, a evaporação e a diferença entre eles (P-E), e em menor proporção o ENOS (MEI), indicando que esses agentes têm grande influência sobre a variabilidade da qualidade da água. Isso porque tanto a precipitação, quanto a evaporação influenciam na concentração dos componentes da água (Chaves et al., 2015). A disponibilidade dos nutrientes é controlada por fatores químicos e orgânicos que sofrem influência de fatores externos como vento, precipitação e radiação solar que reflete na temperatura e evaporação, o que também vai de encontro aos resultados do trabalho e o que foi apresentado por (Santos et al., 2018; Esteves & Suzuki, 2011).

A CP2, composta por temperatura da água, velocidade do vento e evaporação, esteve ligada a 12,4% da variância total, indicando que variações na velocidade dos ventos tendem a promover a movimentação das águas, estimulando reações químicas, assim como a umidade do ar (Costa & Yanagi, 2006).



**Figura 7:** Gráfico PCA *biplot* com a correlação dos componentes 1 (CP1 – Dim1) e 2 (CP2 – Dim2) evidenciando as variáveis que compõem os mesmos na expressão de qualidade de água para as lagoas Passo, Quadros e Itapeva, BHRT, RS, Brasil. Destaque ao MEI (coeficiente ENOS).

A terceira componente (CP3) é composta por pH, salinidade, OD e fósforo total, e representa 11% da variância total dos dados (Figura 8), indicando a importância da penetração salina nas lagoas, cuja água marinha pode ter temperatura e características físico-químicas diferentes do sistema de água doce (Milani, 2019).



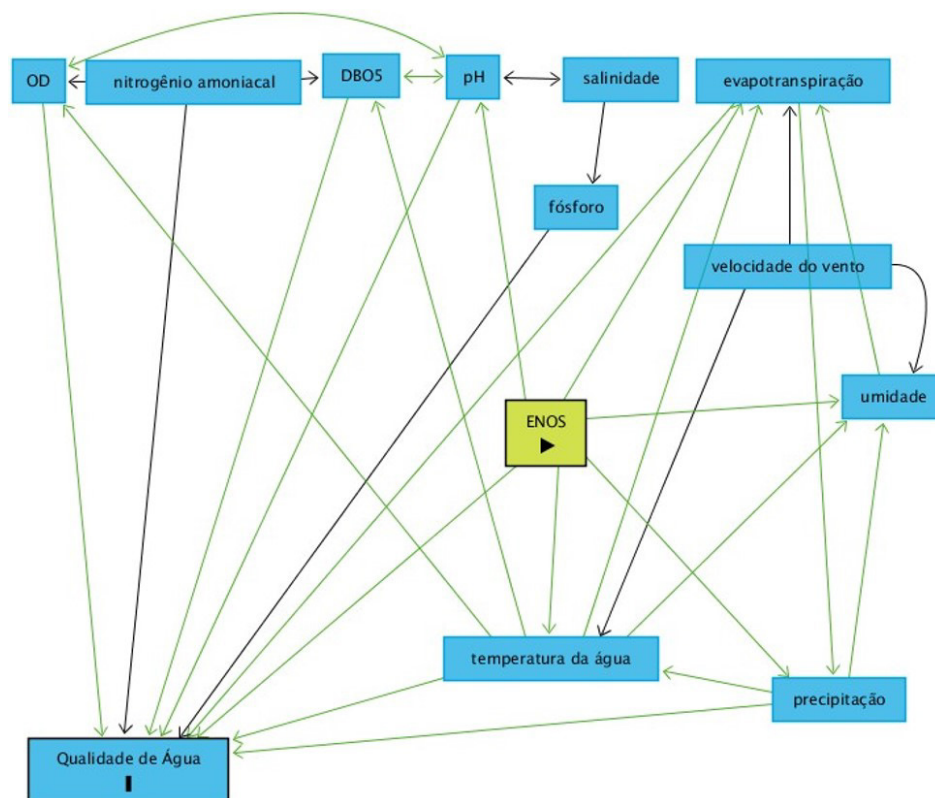
**Figura 8:** Gráfico ACP *biplot* com a correlação dos componentes 1 (CP1 – Dim1) e 3 (CP3 – Dim3) evidenciando as variáveis que compõem os mesmos na expressão de qualidade de água para as lagoas Passo, Quadros e Itapeva, BHRT, RS, Brasil. Destaque ao MEI (coeficiente ENOS).

A correlação entre a componente 1 e 3 aponta para a relação entre a salinidade e o fósforo, na Lagoa do Passo, e a relação entre a precipitação e o ENOS (MEI). No sul do Brasil, o efeito do El Niño (ENOS ou MEI positivo) é o aumento das chuvas, e em La Niña (ENOS ou MEI negativo) a diminuição das chuvas e da temperatura (Grimm et al., 2000). Além disso, fatores associados, como temperatura e evaporação tiveram a relação com a velocidade do vento e OD. Ou seja, a qualidade de água na BHRT pode ser justificada por mais de 38,8% por fatores climáticos, já que CP1 e CP2 são dominadas por fatores climáticos. Com menos explicação, a CP3 (11%) está mais associada com a salinidade, pH e OD, como por exemplo, o efeito do fósforo associado a salinidade na Lagoa do Passo.

A salinidade, por outro lado, não apresentou correlação com a precipitação nem como o ENOS (MEI). Esperava-se que a dinâmica estuarina da BHRT seria proveniente principalmente da relação vazão x precipitação, no entanto, o resultado indicou complexidade na relação, onde possivelmente o vento tenha um papel protagonista. Contudo, dados utilizados pelo trabalho apresentam limitações, como por exemplo, a disponibilidade apenas de dados mensais.

### Gráfico acíclico dirigido (DAG)

Com os resultados da análise estatística, foi elaborado um gráfico acíclico dirigido (DAG) (Figura 9), indicando relações causais apontadas pelo banco de dados através das correlações. Foram utilizadas variáveis correspondentes ao ENOS, como fatores de exposição (causa), e a qualidade de água como resposta (efeito).



**Figura 9:** Gráfico da análise em DAG realizada com base nos resultados obtidos a partir das análises multivariada para as Lagoas do Passo, Quadros e Itapeva, BHRT, RS, Brasil. Em laranja a variável resposta, e em verde a variável exposição.

Os caminhos verdes, da variável de exposição ENOS afeta variáveis climáticas como precipitação, evaporação e umidade. Já a velocidade do vento demonstra influência sobre a temperatura de água e a evaporação (caminhos em preto).

Quando observamos a variável resposta (qualidade da água), é possível identificar que ela é uma resposta conjunta de relações indiretas entre pH, fósforo, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido e DBO<sub>5</sub>, e as relações diretas entre as variáveis de DBO<sub>5</sub> e salinidade.

### 4. CONCLUSÃO

O presente trabalho fez uma discussão sobre as relações entre variáveis climáticas e qualidade de água na BHRT. As correlações entre as variáveis de qualidade de água e variáveis climáticas, apresentaram baixa correlação. A maior correlação ocorreu entre a salinidade da Lagoa do Passo com o fósforo total (0,576, <0,001). Também os picos de fósforo na Lagoa do Passo, coincidiram com o período de veraneio, destacando as fontes oriundas de efluentes domésticos. As outras lagoas apresentaram resultado semelhantes, porém diferente da Lagoa do Passo, indicando, uma maior influência da salinidade. Estima-se que a principal fonte de fósforo para a Lagoa do Passo seja o fluxo de jusante, pelo rio Tramandaí oriundo da Laguna Armazém-Tramandaí (estuário). Mais estudos são necessários relacionando o ciclo do fósforo na BHRT, computando fontes pontuais de efluentes, aporte subterrâneo das fossas sépticas e trincheiras de infiltração e o uso de fertilizantes na agricultura.

O índice ENOS não mostrou correlação forte com as variáveis de qualidade de água, apenas com o pH: Lagoas Itapeva (-0,315, <0,001), dos Quadros (-0,180, <0,001) e do Passo (-0,374, <0,001).

Conforme esperado, o ENOS se relacionou positivamente com precipitação; umidade se relacionou positivamente com a velocidade do vento; e a velocidade do vento positivamente com a evapotranspiração. Além disso, a temperatura da água se relacionou positivamente com a velocidade do vento e com a evapotranspiração. Esperava-se que o *El Niño*, ao causar aumento na precipitação, diminuísse a salinidade na Lagoa do Passo, e vice-versa. Contudo, não foi observado nenhuma relação significativa. Nem relação entre precipitação e salinidade ou velocidade do vento e salinidade. Talvez a dinâmica estuarina da BHRT não seja dominada pelo fluxo hídrico, mas sim por um outro conjunto de variáveis ainda a serem exploradas. Como sugestão, um estudo de modelagem considerando diferentes cenários de ventos.

A análise das componentes principais indicou que fatores climáticos como precipitação, evaporação, a diferença entre eles e o ENOS, são responsáveis pela variação nos parâmetros da qualidade de água das três lagoas. A CP1 (explica 26,4% da variância) e a CP2 (12,4% da variância) somam 38,8% da variação associada a fatores climáticos. Esses resultados indicam que mudanças de temperatura na água e a radiação solar podem favorecer a disponibilidade de nutrientes, assim como o vento, pH, salinidade, OD e fósforo total, que foram responsáveis por maior parte da variabilidade da CP3, representando 11% da variância.

Resultados deste estudo evidenciam a influência climática na qualidade de água local, indicando que afora efeitos locais já conhecidos de microescala (agricultura e efluentes domésticos), há de se considerar desdobramentos de qualidade provenientes de variações de macro escala, como o clima e o ENOS. Relacionando as previsões de aumento da frequência dos Super *El Niños* na BHRT, acredita-se que em Super *La Niña* haverá um aumento da salinidade na Lagoa do Passo e aumento do pH nas três lagoas, além do aumento da precipitação em Super em *El Niño*.

O presente estudo salienta a importância de estudos sobre as fontes e dinâmicas dessas fontes no sistema lagunar BHRT. Além da contribuição agrícola, existe também um aporte subterrâneo proveniente de fossas sépticas na faixa freática rasa do litoral, na qual muitas operam sem a devida manutenção. O plano de bacia da BHRT destaca como programa prioritário haver diálogo entre os planos diretores e o saneamento municipal com a gestão de recursos hídricos, especialmente considerando o plano de bacia da BHRT, cujas fases A e B foram atualizadas e a fase C concluída em 2021.

## REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas - ANA. (2016). *Mudanças climáticas e recursos hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Recuperado em 03 de julho de 2023, de [https://biblioteca.ana.gov.br/sophia\\_web/Busca/Download?codigoArquivo=123428](https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Busca/Download?codigoArquivo=123428)
- Aguilera, R., Marcé, R., & Sabater, S. (2012). Linking in-stream nutrient flux to land use and inter-annual hydrological variability at the watershed scale. *Science of the Total Environment*, 440, 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.030>.
- Alencar, V. E. S. A., Rocha, E. J. P., Souza Júnior, J. A., & Carneiro, B. S. (2019). Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na Baía de Guajará - Belém - PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6, 1275-1291.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. (2005, 17 de março). Resolução CONAMA 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, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Buzelli, G. M., & Santino, M. B. C. (2013). Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). *Ambi-Agua*, 8(1), 186-205.
- Castro, D. (2019). *Ciclo das águas na Bacia do Rio Tramandaí*. Porto Alegre: Via Sapiens.
- Castro, D., & Rocha, C. M. (2016). *Qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí*. Porto Alegre: Via Sapiens.
- Chaves, A. D. C. G., Almeida, R. R. P., Crispim, D. L., Silva, F. T., & Ferreira, A. C. (2015). Monitoramento e qualidade das águas do Rio Piranhas. *Revista Verde*, 10(1), 160-164.
- Costa, M. H., & Yanagi, S. N. M. (2006). Effects of Amazon deforestation on the regional climate- historical perspective, current and future research. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(3a), 200-211.
- Cunha, G. R. (1998). Esperando La Niña. *Revista Plantio Direto*, 46, 22-23. Recuperado em 03 de julho de 2023, de <https://www.plantiodireto.com.br/storage/files/46/5.pdf>

- Delpla, I. A., Jung, V., Baure, E., Clement, M., & Thomas, O. (2009). Impactos da mudança climática na qualidade da água da superfície em relação à produção da água de beber. *Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 6(2), 85-107.
- Esteves, F. A., & Suzuki, M. S. (2011). Comunidade fitoplanctônica. In F. A. Esteves (Ed.), *Fundamentos de limnologia* (3. ed., pp. 625-655). Rio de Janeiro: Interciência.
- Fernandes, E. H. L., Dyer, K. R., Moller, O. O., & Niencheski, L. F. H. (2002). The Patos lagoon hydrodynamics during an El Niño event (1998). *Continental Shelf Research*, 22(11-13), 1699-1713.
- Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM. (2019). *Relatório da qualidade da água superficial no estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: FEPAM. Recuperado em 20 de abril de 2023, de <https://fepam.rs.gov.br/upload/arquivos/202306/02153953-relatorio-qualidade-das-regioes-hidrograficas-rs-2023.pdf>
- Gascuel-Oudoux, C., Arousseau, P., Durand, P., Ruiz, L., & Molenat, J. (2010). The role of climate on inter-annual variation in stream nitrate fluxes and concentrations. *Science of the Total Environment*, 408(23), 5657-5666. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.05.003>.
- Grimm, A. M., Bartros, V. R., & Doyle, M. E. (2000). Climate variability in Southern South America associated with “El Niño” and “La Niña” events. *Journal of Climate*, 13(1), 35-58.
- Grimm, A. M., Ferraz, S. E. T., & Gomes, J. (1998). Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 11(11), 2863-2880. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<2863:PAISBA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<2863:PAISBA>2.0.CO;2).
- Ho, J. C., & Michalak, A. M. (2017). Phytoplankton blooms in Lake Erie impacted by both long-term and springtime phosphorus loading. *Journal of Great Lakes Research*, 43(3), 221-228. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2017.04.001>.
- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. (2021). *Banco de dados meteorológicos*. Recuperado em 13 de outubro de 2022, de <https://bdmep.inmet.gov.br/>
- Libânio, M. (2016). *Fundamentos de qualidade e tratamento de água* (4. ed.). Campinas: Editora Átomo.
- Loitzenbauer, E., & Mendes, C. A. B. (2012). Salinity dynamics as a tool for water resources management in coastal zones: an application in the Tramandaí River basin, southern Brazil. *Ocean and Coastal Management*, 55, 52-62. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.10.011>.
- Marengo, J. A. (2001). Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 16(1):1-18. Recuperado em 03 de julho de 2023, de [http://mtcm16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/05.25.18.19/doc/Marengo\\_mudancas%20climaticas%20globais%20e%20regionais.pdf](http://mtcm16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/05.25.18.19/doc/Marengo_mudancas%20climaticas%20globais%20e%20regionais.pdf)
- Marengo, J. A. (2008). Água e mudanças climáticas. *Estudos Avançados*, 22(63), 83-96. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142008000200006>.
- May, H., Rixon, S., Gardner, S., Goel, P., Levison, J., & Binns, A. (2023). Investigating relationships between climate controls and nutrient flux in surface waters, sediments, and subsurface pathways in an agricultural clay catchment of the Great Lakes Basin. *Science of the Total Environment*, 864, 160979. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160979>.
- Mellander, P. E., Jordan, P., Bechmann, M., Fovet, O., Shore, M. M., McDonald, N. T., & Gascuel-Oudoux, C. (2018). Integrated climate-chemical indicators of diffuse pollution from land to water. *Scientific Reports*, 8(1), 944. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19143-1>.
- Michalak, A. M. (2016). Study role of climate change in extreme threats to water quality. *Nature*, 535(7612), 349-350. <https://doi.org/10.1038/535349a>.
- Milani, G. B. (2019). A qualidade da água. In D. Castro (Org.), *Ciclo das águas na Bacia do Rio Tramandaí* (Vol. 1, pp. 111-122). Porto Alegre: Via Sapiens.
- Milani, G. B., Rocha, C. M., & Zanona, Q. K. (2021). *Monitoramento de qualidade de águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Relatório de dados brutos – período 2018-2020*. Imbé: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos/Laboratório de Análise de Águas e Sedimentos.
- Miro, J. M. R., Souza, V. C., Guedes, R. A. T., & Alves, L. A. (2019). A relação entre os fenômenos El Niño e La Niña e o clima da Baixada Campista, norte do estado do Rio de Janeiro. In *XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará.
- National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA. (2022). *Multivariate ENSO index version 2 (MEI.v2)*. Recuperado em 27 de novembro de 2022, de <https://psl.noaa.gov/enso/mei>

- Nunes, L. H. (2015). Repercussões globais, regionais e locais do aquecimento global. *Terra Livre*, 1(20), 101-110.
- Oliveira, B. S. S., & Cunha, A. C. (2014). Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. *Revista Ambiente e Água*, 9(2), 261-275. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>.
- Oliver, S. L., & Ribeiro, H. (2014). Variabilidade climática e qualidade da água do reservatório Guarapiranga. *Estudos Avançados*, 28(82), 95-128.
- Pasquini, A. I., Niencheski, L. F., & Depetris, P. J. (2012). The ENSO signature and other hydrological characteristics in Patos and adjacent coastal lagoons, south-eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 111, 139-146.
- Piazza, G. A., Dupas, R., Gascuel-Oudou, C., Grimaldi, C., Pinheiro, A., & Kaufmann, V. (2018). Influence of hydroclimatic variations on solute concentration dynamics in nested subtropical catchments with heterogeneous landscapes. *Science of the Total Environment*, 635, 1091-1101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.394>.
- Pinzon, I. M. (2015). *Influência dos fatores ambientais sobre a ocorrência de Cyanobacteria na Lagoa dos Quadros, RS, Brasil* (Trabalho de conclusão de curso). Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Imbé. Recuperado em 03 de julho de 2023, de <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/140180>
- Rocha, C. M. (2019). *Monitoramento de qualidade de águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Relatório de dados brutos – período 2008-2011*. Imbé: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos/Laboratório de Análise de Águas e Sedimentos.
- Rocha, C. M., & Castro, D. (2019a). *Monitoramento de qualidade de águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Relatório de dados brutos – período 2011-2013*. Imbé: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos/Laboratório de Análise de Águas e Sedimentos.
- Rocha, C. M., & Castro, D. (2019b). *Monitoramento de qualidade de águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Relatório de dados brutos – período 2014-2015*. Imbé: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos/Laboratório de Análise de Águas e Sedimentos.
- Rocha, C. M., Zanona, Q. K., & Milani, G. B. (2019). *Monitoramento de qualidade de águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Relatório de dados brutos – período 2015-2017*. Imbé: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos/Laboratório de Análise de Águas e Sedimentos.
- Ryberg, K. R., & Chanat, J. (2022). Climate extremes as drivers of surface-water-quality trends in the United States. *Science of the Total Environment*, 809, 152165. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152165>.
- Salila, E., Sharma, M. P., & Singh, R. (2020). Climate change impacts on water quality of water bodies-a review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 10(3), 26-37.
- Santos, S. A. M., Schiavetti, A., & Deberdt, A. J. (2002). Qualidade da água. In D. Schiel et al. (Orgs.), *O estudo de bacias hidrográficas - uma estratégia para educação ambiental* (2. ed., Vol. 1, pp. 68-75). São Carlos: Editora Rima.
- Santos, S. A., Gastaldini, M. C. C., Pivetta, G. G., & Schmidt Filho, O. (2018). Qualidade da água na bacia hidrográfica urbana Cancela Tamandaí, Santa Maria/RS. *Sociedade & Natureza*, 30(2), 23-44. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v30n2-2018-2>.
- Scarsbrook, M. R., McBride, C. G., Macbride, G. B., & Bryers, G. G. (2003). Effect of climate variability on rivers: consequences for long term water quality analysis. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(6), 1435-1447.
- Serviços Técnicos de Engenharia – STE. (2019). *Relatório da fase A (RFA)*. Canoas: STE. Recuperado em 06 de janeiro de 2023, de [https://drive.google.com/file/d/1N-PHoTuAl6jonzpPGURh\\_a5eSZVlKRip/view](https://drive.google.com/file/d/1N-PHoTuAl6jonzpPGURh_a5eSZVlKRip/view)
- Silva, Í. F., Nóbrega, R. S., & Galvêncio, J. D. (2009). Impacto das mudanças climáticas nas respostas hidrológicas do Rio Ipojuca (PE) – parte 2: cenários de aumento de temperatura. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 2(2), 19-30. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v2i2.232637>.
- Smith, J. A. (1993). Precipitation. In D. R. Maidment (Org.), *Handbook of hydrology* (p. 824). Nova York: McGraw-Hill.
- Soares, S. (2008). *Efeitos do El Niño e da La Niña na agricultura brasileira*. São Paulo: INPE.
- Travassos, K. R. (2011). *Análise da qualidade ambiental no estuário do rio Botafogo: determinação do índice trófico e componentes do fósforo na coluna da água* (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Trenberth, K. E., & Stepaniak, D. P. (2001). Indices of El Niño evolution. *Journal of Climate*, 14(8), 1697-1701. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<1697:LIOENO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1697:LIOENO>2.0.CO;2).
- Von Sperling, M. (2014). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto* (4. ed.). Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/Universidade Federal de Minas Gerais.

**Contribuições dos autores:**

Viviane Tavares Pimentel: escrita e análise dos dados.

Ester Wolff Loitzenbauer: ideia da pesquisa, revisão geral do texto, orientação relacionado a metodologia, discussão e apresentação dos resultados, conclusões.

Cacinele Mariana da Rocha: discussão e definição da metodologia, análises estatísticas e revisão geral do artigo.