



Variabilidade espacial da qualidade da água do Canal São Gonçalo em períodos de alta e baixa pluviosidade: avaliação de dados pretéritos utilizando estatística multivariada

Spatial variability of water quality of São Gonçalo Channel in periods of high and low rainfall: evaluation of past data using multivariate statistics

Mariana Farias de Souza¹

 <https://orcid.org/0000-0003-1797-4701>  <http://lattes.cnpq.br/1890658016594703>

Idel Cristiana Bigliardi Milani²

 <https://orcid.org/0000-0002-1468-0356>  <http://lattes.cnpq.br/7225514022576932>

Roberto Martins da Silva Décio Júnior³

 <https://orcid.org/0000-0002-2766-7396>  <http://lattes.cnpq.br/8430077490821449>

RESUMO

O Canal São Gonçalo está localizado no sul do Rio Grande do Sul e conecta a Lagoa Mirim à Laguna dos Patos. Trata-se de um corpo hídrico de grande importância para a região, utilizado para abastecimento urbano, navegação, irrigação e manutenção do equilíbrio ambiental. Considerando sua importância e a crescente demanda sobre seus usos, torna-se essencial compreender e monitorar a qualidade de suas águas. Dentro desse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade físico-química e microbiológica do Canal São Gonçalo, considerando variações espaciais e pluviométricas. Foram utilizados dados de duas campanhas de amostragem realizadas no ano de 2013. Foram coletadas amostras de água em 22 pontos ao longo do canal e determinados 24 parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Foi realizada a análise estatística dos dados através da utilização da técnica de Análise de Componentes Principais. Foi verificado que a qualidade da água do Canal São Gonçalo varia tanto espacial quanto temporalmente. A variação espacial demonstrou estar diretamente relacionada à condição de seus afluentes e que o trecho a jusante da barragem-eclusa possui pior qualidade. Verificou-se que no período de baixa pluviosidade os parâmetros relacionados aos sólidos dissolvidos na água são os que mais contribuem para deterioração da qualidade da água. Já no período de

¹ Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul), Pelotas/RS – Brasil. E-mail: marianasouza362@gmail.com

² Universidade Federal de Pelotas (UPPEL), Pelotas/RS – Brasil. E-mail: idelmilani@gmail.com

³ Instituto Federal do Mato Grosso (IFMT), Guarantã do Norte/MT – Brasil. E-mail: roberto.decio.jr@gmail.com



alta pluviosidade há um aumento significativo na parcela de sólidos suspensos, relacionados a diversos outros parâmetros.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo; Recursos Hídricos; Análise de Componentes Principais.

ABSTRACT

The São Gonçalo Channel is located in southern Rio Grande do Sul and connects Mirim Lagoon to Patos Lagoon. It is a water body of great importance to the region, used for urban water supply, navigation, irrigation, and environmental balance. Giving its importance and the growing demand for its water, understand and monitoring its water quality is essential. Within this context, the aim of this research was access the water quality of the São Gonçalo Channel. Water samples were collected in 22 sites in two different periods, in rainy season and in dry season. The water samples were analyzed for 24 different surface water parameters. The principal component analysis techniques were applied for the results. The analysis showed that the water quality of the São Gonçalo Channel is different to each site and to each season. Different tributaries were identified that pollute the São Gonçalo Channel. Moreover, the water quality is low downstream the dam. The water quality parameters that are related with dissolved solids are the most significant in dry season. In rainy season there are increases in the parameters that are related with suspended solids.

Keywords: Mirim-São Gonçalo Watershed; Water Resources; Principal Component Analysis.

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são a base indispensável para o desenvolvimento das sociedades e, na maioria dos casos condicionam a localização dos núcleos populacionais (Carvalho, 2012). Esse recurso permite o desenvolvimento social e econômico das regiões. Problemas, porém, surgem com o aumento excessivo da demanda pela água, sem o correto manejo dentro das bacias hidrográficas, e com a poluição dos mananciais. No Brasil, ainda existem graves problemas relacionados com a água, desde situações de escassez até o desperdício, passando por problemas de poluição e baixa qualidade (Augusto *et al.*, 2012; Netto, 2022; Pasqualetto *et al.*, 2022).

Em se tratando de qualidade de água, esta é diretamente influenciada pelo uso do solo e tipo de cobertura da terra da bacia hidrográfica (Mello *et al.*, 2020) e também por fatores climáticos, como a temperatura do ar, os níveis de precipitação e a ocorrência de eventos extremos, como chuvas e enchentes (Kundzewicz; Krysanova, 2010). Dentre as atividades antrópicas, destacam-se as próprias áreas urbanas, atividades industriais, agrícolas e de mineração (Mello *et al.*, 2020; Prasad *et al.*, 2013). Nesse cenário, o monitoramento da qualidade da água e de condições hidrometeorológicas, bem como sua divulgação, torna-se de essencial importância, propiciando o entendimento das possíveis mudanças de longo prazo, como usos consuntivos da água, mudanças climáticas ou uso e ocupação do solo, que venham a ocorrer na bacia hidrográfica (Pereira; Barbieiro; Quevedo, 2020).

A avaliação da qualidade da água baseia-se na análise de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, cujos limites são definidos, no Brasil, pela Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Essa resolução estabelece as diretrizes e os padrões de qualidade para as diferentes classes de corpos d'água.



Para otimizar o monitoramento da qualidade da água, é essencial que os pontos de coleta sejam representativos do sistema e que o número de parâmetros analisados equilibre a necessidade de informação com a eficiência de custos. Nesse contexto, a Análise de Componentes Principais (ACP) tem sido amplamente empregada em estudos de qualidade da água como uma ferramenta estatística que permite reduzir o número de variáveis com a menor perda possível de informações (Centeno; Cecconello, 2021; Medeiros; Silva; Lins, 2018; Pinto; Faria; Almeida, 2021; Silva *et al.*, 2020).

Na região Sul do Brasil, a Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo (BHMSG) é de grande relevância devido à sua extensão e diversidade de usos de suas águas, incluindo abastecimento humano, dessedentação animal e irrigação (Branco Filho; Silva; Bartz, 2021). Inserido na BHMSG, o Canal São Gonçalo destaca-se pelo uso expressivo de suas águas para irrigação, especialmente para o cultivo de arroz irrigado. Além disso, o canal também é utilizado para o abastecimento urbano dos municípios de Rio Grande e Pelotas. Neste último, foi recentemente inaugurada uma estação de tratamento de água (ETA) com capacidade de tratar até 500 litros por segundo (SANEP, 2025). Outro grande projeto que envolve o canal é a Hidrovia Brasil-Uruguai (Hidrovia do Mercosul), que deverá servir para o escoamento da produção da região.

Em relação à qualidade da água do Canal São Gonçalo, até o momento não existe uma proposta de enquadramento nas classes estabelecidas na Resolução nº 357 do CONAMA, mas para fins de estudos ambientais considera-se a Classe 2, já que os atuais e futuros usos deste ambiente melhor se enquadram nessa classe. Estudos anteriores à 2013 (ano de coleta dos dados desse trabalho), já indicavam a existência de problemas de baixa qualidade da água próximo a barragem-eclusa (Coradi; Fia; Ramirez, 2009) e uma maior deterioração da qualidade da água na extensão que vai desde a barragem-eclusa até a sua foz, devido ao lançamento de efluentes do município de Pelotas (Machado, 2004). Além disso, também já foi detectada a presença de agrotóxicos na água, associados à cultura do arroz irrigado, fortemente desenvolvida nessa região (Grützmacher *et al.*, 2008). Um estudo mais recente desenvolvido por Figueiredo, Alves e Milani (2023) indicou que as ocupações urbanas e as atividades de rizicultura são vistas como os principais causadores de degradação ambiental e diminuição da qualidade da água do Canal São Gonçalo.

Dentro desse contexto, o objetivo desse estudo foi analisar, através de estatística multivariada, a variabilidade espacial da qualidade da água do Canal São Gonçalo, através de dados coletados no ano de 2013, considerando diferentes condições pluviométricas, com vistas à identificação de padrões e influências sobre a qualidade da água desse manancial.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Esse estudo foi desenvolvido na porção brasileira da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo (BHMSG) (Figura 1). Essa bacia hidrográfica situa-se na região hidrográfica do Atlântico Sul, possuindo uma área de superfície de aproximadamente 62.250 km². Encontra-se na região fronteira entre Brasil e Uruguai, no extremo sul do Rio Grande do Sul. Aproximadamente 47% da sua área encontra-se em território brasileiro e 53% em território uruguaio (Agência Da Lagoa Mirim, 2023). A bacia tem seus

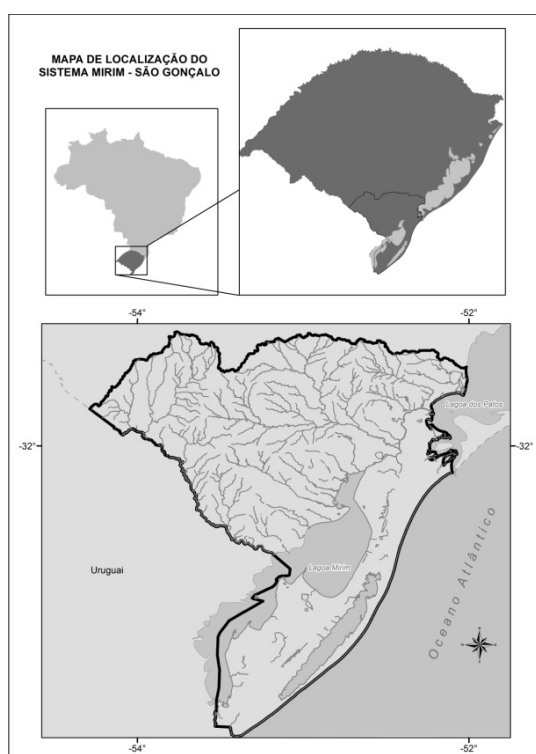


usos compartilhados entre Brasil e Uruguai, estando sujeita a acordos binacionais quanto a sua gestão. No lado brasileiro, a BHMSG abrange 19 municípios.

Inserido na BHMSG, o Canal São Gonçalo, objeto desse estudo, possui uma extensão de aproximadamente 76 km, com largura média de 240 m, fazendo a ligação entre a Lagoa Mirim e a Laguna dos Patos. O canal é o escoadouro natural das águas da Lagoa Mirim, porém, em alguns momentos dependendo das condições de chuva, do volume das lagoas e, da direção e força dos ventos, a direção de escoamento do canal pode ser contrária, ou seja, na direção da Laguna dos Patos para a Lagoa Mirim. Quando isso acontece, pode haver intrusão salina no canal. Por esse motivo em 1977 foi construída uma barragem no canal, com 18 comportas basculantes. Junto à barragem, na margem esquerda do canal, foi construída uma eclusa para permitir a passagem de embarcações em quaisquer circunstâncias (Gouvêa; Zarnot; Alba, 2010).

O Canal São Gonçalo é receptor de rios, banhados e lagoas de toda a região em que está inserido, o que pode ser visualizado na Figura 2. Além disso, existem diversos canais de drenagem ao longo do Canal São Gonçalo, que integram os sistemas de irrigação utilizados para orizicultura em toda a região. O principal afluente do Canal São Gonçalo é o Rio Piratini. Entre os demais afluentes da margem esquerda do Canal São Gonçalo também está o Arroio Pelotas, o Canal Santa Bárbara e o Canal do Pepino.

Figura 1 – Localização da porção brasileira da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

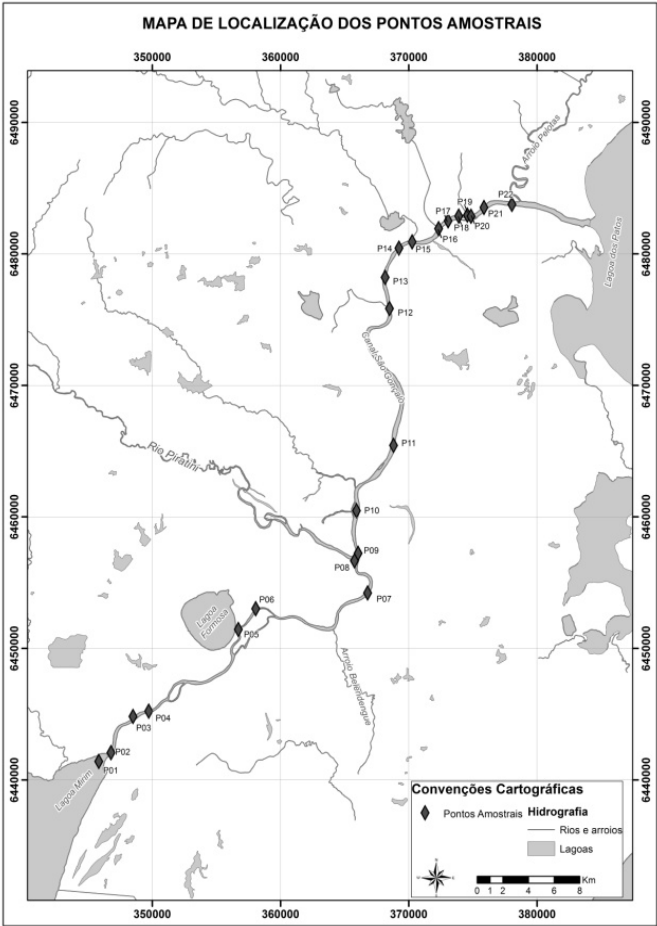
2.2 AMOSTRAGENS

A rede de amostragem visou contemplar a influência de afluentes, de canais de drenagem, de empreendimentos localizados às suas margens e de despejos urbanos, rurais e industriais. Baseado



nesses critérios foram definidos 22 pontos distribuídos desde a Lagoa Mirim até próximo à desembocadura do Canal São Gonçalo na Laguna dos Patos, conforme pode ser visualizado na Figura 2 e que está detalhado na Tabela 1.

Figura 2 – Localização dos pontos amostrais.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 1 - Descrição e localização geográfica dos pontos amostrais

Ponto	Descrição	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)
P01	Desembocadura da Lagoa Mirim	345.827.913	6.441.402.081
P02	Desembocadura do Arroio Sangradouro	347.029.213	6.441.938.777
P03	Desembocadura de canal de drenagem de irrigação	348.492.214	6.444.818.536
P04	Vila de Santa Izabel (Município de Arroio Grande)	349.728.331	6.445.225.884
P05	Conexão entre o Canal São Gonçalo e a Lagoa Formosa	356.709.727	6.451.438.143
P06	Desembocadura de canal de drenagem de irrigação	358.071.133	6.453.022.522
P07	Canal de abastecimento de água do município de Rio Grande	366.931.923	6.454.161.807
P08	Desembocadura do Arroio Contrabandista	365.765.269	6.456.659.877
P09	Desembocadura do Rio Piratini	365.460.059	6.456.902.781
P10	Ilha das Moças	365.415.748	6.460.458.904
P11	Desembocadura de canal de drenagem de irrigação	369.018.970	6.465.460.261
P12	Desembocadura de canal de drenagem de irrigação	368.663.693	6.475.797.523
P13	Montante da Barragem-Eclusa	368.154.310	6.478.212.009



P14	Jusante da Barragem-Eclusa	369.236.850	6.480.440.494
P15	Desembocadura do Arroio Fragata	370.280.950	6.481.219.162
P16	Desembocadura do Canal Santa Bárbara	371.828.086	6.482.374.629
P17	Atracadoiro de barcos	373.063.979	6.482.760.909
P18	Porto de Pelotas	373.889.995	6.482.867.292
P19	Desembocadura do Canal do Pepino	374.565.610	6.482.944.615
P20	Universidade Federal de Pelotas	374.851.430	6.482.858.510
P21	Desembocadura de canal de drenagem urbano	375.885.432	6.483.672.155
P22	Desembocadura do Arroio Pelotas	377.998.657	6.484.665.044

Fonte: Elaborado pelos autores.

Foram realizadas duas campanhas de amostragem no ano de 2013. A primeira no dia 16 de abril, caracterizando período de baixa pluviosidade e a segunda no dia 05 de novembro, caracterizando período de alta pluviosidade. Foram utilizadas duas sondas multiparamétricas Horiba® modelo W-22XD.23XD para medir *in situ* 12 (doze) parâmetros físico-químicos: pH, Condutividade Elétrica, Turbidez, Oxigênio Dissolvido, Temperatura, Salinidade, Sólidos Dissolvidos Totais, Fluoreto, Potássio, Cálcio, Cloreto e Nitrato. Também foi medida *in situ* a transparência da água, utilizando um disco de Secchi. Amostras foram coletadas para determinação de Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes, as quais foram realizadas utilizando um kit microbiológico Colipaper® marca Alfakit. Nos mesmos locais foram coletadas amostras de água com uma garrafa coletora de Van Dorn e imediatamente transferidas para frascos de Polietileno de alta densidade (PEAD), os quais foram armazenados à aproximadamente 4°C até a chegada ao laboratório.

No laboratório de Hidroquímica do Curso de Engenharia Hídrica/Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pelotas foram analisados outros 9 (nove) parâmetros físico-químicos, sendo eles: Cor Verdadeira, Cor Aparente, Sulfato, Fósforo, Amônia, Nitrito, Ferro, Zinco e Cromo. Para a análise desses parâmetros foi utilizado um Fotômetro de bancada multiparamétrico da marca Hanna Instruments, modelo HI83200. A metodologia de análise desses parâmetros é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Metodologia de análise dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água

Parâmetro	Método
Cor verdadeira	Adaptação do Standard Methods for the Examination of Water e Wastewater, 18ª ed., método Colorimétrico de Cobalto de Platina.
Cor aparente	Adaptação do Standard Methods for the Examination of Water e Wastewater, 18ª ed., método Colorimétrico de Cobalto de Platina.
Sulfato	O Sulfato é precipitado com cristais de cloreto de bário. A absorvância de luz da suspensão é medida.
Fósforo	Adaptação do método Ácido Áscórbico. A reação entre o fósforo e o reagente causa uma coloração azul na amostra.
Amônia	Adaptação do ASTM Manual of Water e Environmental Technology, D1426-92, método Nessler. A reação entre a amônia e os reagentes causa uma coloração amarela na amostra.
Nitrito	Adaptação do método Sulfato Ferroso. A reação entre o nitrito e o reagente causa uma coloração esverdeada-castanha na amostra.
Ferro	Adaptação do método EPA de Fenantrolina 315B, para águas naturais e tratadas. A reação entre o ferro e os reagentes causa uma coloração laranja na amostra.
Zinco	Adaptação do Standard Methods for the Examination of Water e Wastewater, 18ª ed., Método Zinco. A reação entre zinco e os reagentes causa uma coloração laranja a violeta escuro na amostra.
Cromo VI	Adaptação do ASTM Manual of Water e Environmental Technology, D1687-92, método Difenilcarbohidrazida. A reação entre o cromo VI e o reagente causa uma coloração roxa na amostra.

Fonte: Elaborada pelos autores.



Para interpretação dos resultados foi utilizada estatística multivariada, através da técnica de Análise de Componentes Principais (ACP) mediante a utilização do Software Statistica® versão 7.0. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados separadamente para cada campanha amostral, ou seja, a análise estatística foi feita para dois conjuntos de dados, que representam a condição do canal em períodos distintos, em baixa e alta pluviosidade.

Na utilização da técnica de ACP foi seguida uma série de etapas. Primeiramente, para eliminar a diferença de escala entre as variáveis, os dados foram auto-escalados pela equação: $\text{Log}(x+1)$. Com os dados padronizados foi montada uma matriz, em que as variáveis ficaram nas colunas e as amostras nas linhas. Essa matriz foi inserida no Software Statistica® versão 7.0 e então foi gerada uma matriz de correlação a qual mostra as intercorrelações entre as variáveis. A partir da matriz de correlação foram obtidas as componentes principais com cargas fatoriais associadas às variáveis em estudo.

Foi utilizado como critério para extração dos fatores (componentes) mais representativos o critério da Raiz Latente, onde apenas os fatores que têm autovalores maiores que 1 foram considerados como significantes (Hair *et al.*, 2005).

A aplicação da ACP permitiu agrupar as variáveis de qualidade de água em fatores que facilitam a interpretação dos resultados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando os fatores (componentes) são gerados pela ACP é possível optar pela rotação ou não dos eixos dos fatores gerados. A rotação de eixos geralmente é feita quando existe uma hipótese probabilística. No caso desse estudo, não se partiu de nenhuma hipótese inicial, então verificou-se que para ambos os conjuntos de dados (baixa e alta pluviosidade) a opção sem rotação de eixos apresentou um maior percentual de explicação nos dois primeiros fatores. Dessa forma, optou-se pela extração dos fatores sem rotação de eixos.

A seleção do número de fatores foi baseada no critério da Raiz Latente, conforme mencionado anteriormente. Outros autores que desenvolveram trabalhos sobre qualidade de água superficial de diferentes mananciais também utilizaram esse mesmo critério para seleção do número de fatores (Bertossi *et al.*, 2013; França-Sieciechowicz *et al.*, 2009; Sabino *et al.*, 2008).

Foram selecionados cinco fatores para o conjunto de dados referente ao período de baixa pluviosidade, que explicaram aproximadamente 81% da variabilidade dos dados e, seis fatores para o conjunto de dados referentes ao período de alta pluviosidade, que explicaram aproximadamente 86% da variabilidade dos dados.

As cargas fatoriais acima de 0,6 (em negrito nas Tabelas 3 e 4) são consideradas significativas indicando as variáveis que melhor representam a condição de qualidade da água do Canal São Gonçalo. Salienta-se que os fatores são considerados em ordem de maior para menor importância, ou seja, o Fator 1 é mais relevante que o Fator 2, o Fator 2 é mais relevante que o Fator 3, e assim sucessivamente.



Conforme mencionado na metodologia, nesse estudo optou-se por aplicar a ACP separadamente para o conjunto de dados que representa o período de baixa pluviosidade e para o que representa o período de alta pluviosidade. Essa opção foi feita devido às condições hidroquímicas do Canal São Gonçalo variarem consideravelmente de uma condição para outra, sendo um dos objetivos do estudo justamente verificar as diferenças de qualidade de água nessas situações distintas.

3.1 BAIXA PLUVIOSIDADE

A Tabela 3 apresenta as cargas fatoriais para os cinco fatores para o período de baixa pluviosidade.

Tabela 3 - Cargas fatoriais de cada variável para os fatores selecionados dos dados de baixa pluviosidade

Variáveis	Fatores				
	1	2	3	4	5
Transp.	0,40	-0,75	0,07	-0,25	0,16
C. T.	0,46	0,39	0,40	0,38	-0,04
C. Termot.	0,27	0,67	0,05	0,08	0,34
pH	0,42	0,43	-0,39	0,24	0,44
CE	0,96	0,25	0,05	0,06	-0,02
Turbidez	-0,62	0,60	0,37	0,16	-0,05
OD	-0,64	0,64	-0,31	-0,13	0,16
Temperatura	0,61	-0,21	-0,41	0,20	0,14
Salinidade	0,90	0,26	0,13	-0,02	-0,06
SDT	0,96	0,25	0,05	0,06	-0,02
F ⁻	0,76	0,29	0,37	-0,07	0,24
K ⁺	-0,88	0,06	-0,30	0,02	0,25
Ca ²⁺	-0,04	-0,18	0,28	-0,51	0,65
Cl ⁻	0,95	0,26	0,00	0,05	0,00
NO ₃ ⁻	0,81	0,10	-0,29	0,01	0,09
Cor Ap.	-0,56	0,27	0,19	0,71	-0,03
Cor V.	-0,21	-0,49	-0,02	0,69	0,21
SO ₄ ²⁻	0,96	0,19	-0,02	-0,01	-0,02
PO ₄ ³⁻	0,50	-0,68	0,30	0,30	-0,13
NH ₃	0,66	-0,59	0,25	0,20	0,23
NO ₂ ⁻	0,19	-0,40	-0,44	0,36	0,11
Fe	-0,57	0,20	0,63	0,19	0,24
Zn	-0,51	-0,17	-0,22	0,28	0,24
Cr	0,37	0,44	-0,45	0,10	-0,15
% explicação	41,75	17,22	8,96	8,28	4,97
% acumulada	41,75	58,97	67,93	76,21	81,18

Transp. – Transparência; C. T. – Coliformes Totais; C. Termot. – Coliformes Termotolerantes; CE – Condutividade Elétrica; OD – Oxigênio Dissolvido; SDT – Sólidos Dissolvidos Totais; Cor Ap. – Cor Aparente; Cor V. – Cor Verdadeira.

Fonte: Elaborada pelos autores.

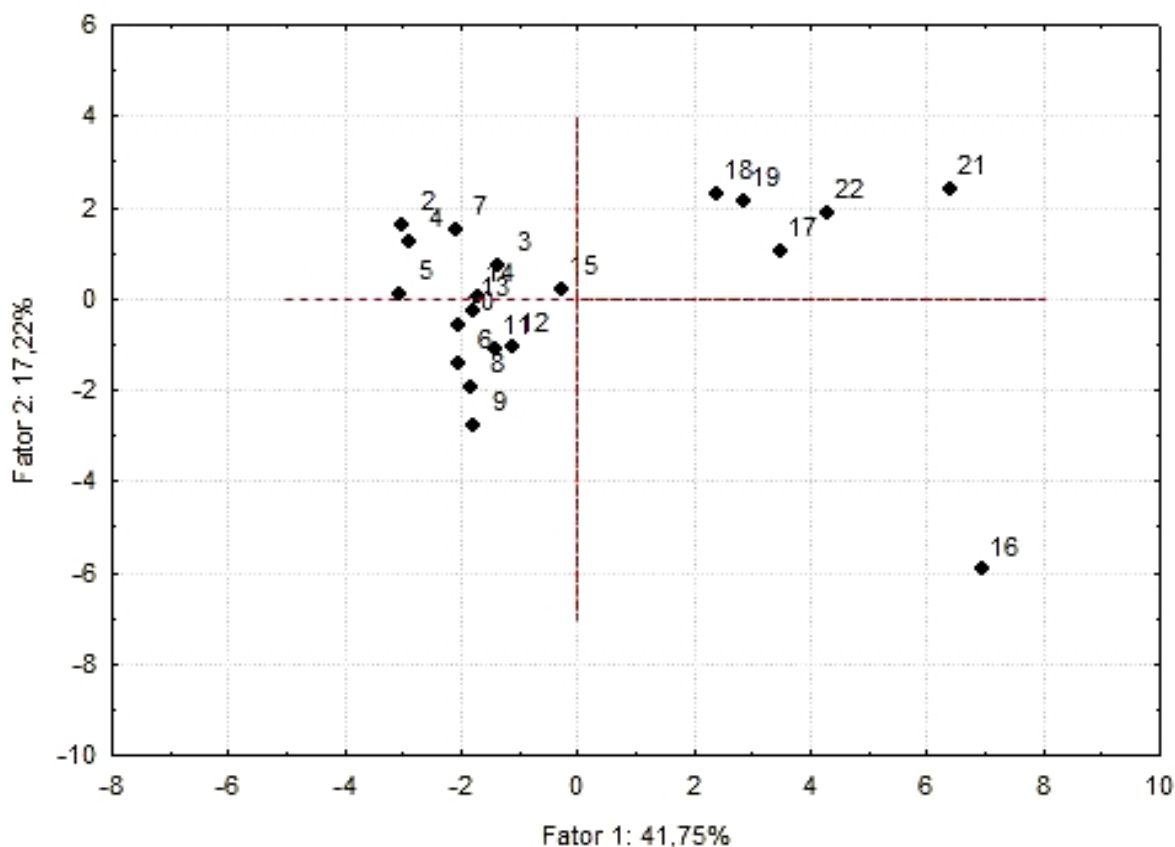
Observando as cargas fatoriais das variáveis em estudo associadas ao Fator 1, constata-se que as variáveis condutividade elétrica, temperatura, salinidade, sólidos dissolvidos totais, fluoreto, cloreto, nitrato, sulfato, amônia, apresentam altas cargas positivas e, as variáveis turbidez, oxigênio dissolvido e potássio apresentam altas cargas negativas.

Já no Fator 2, as variáveis coliformes termotolerantes e oxigênio dissolvido apresentam altas cargas positivas e as variáveis transparência e fósforo apresentam altas cargas negativas.

Na Figura 3 é possível verificar a distribuição dos pontos amostrais em função dessas variáveis, ou seja, dos Fatores 1 e 2.



Figura 3 – Distribuição dos pontos amostrais em função dos fatores 1 e 2 (baixa pluviosidade).



Fonte: Elaborada pelos autores.

Observa-se na Figura 3 que os pontos amostrais P17, P18, P19, P21 e P22 encontram-se todos no lado direito e superior, estando associados às variáveis com altas cargas positivas nos fatores 1 e 2 (condutividade elétrica, temperatura, salinidade, sólidos dissolvidos totais, fluoreto, cloreto, nitrato, sulfato, amônia, coliformes termotolerantes e oxigênio dissolvido). Todos esses pontos estão localizados próximos à zona urbana do município de Pelotas, à jusante da barragem-eclusa e correspondem respectivamente aos seguintes locais: Atracadouro de Barcos, Porto de Pelotas, Desembocadura do Canal do Pepino, Desembocadura de canal de drenagem urbano, Desembocadura do Arroio Pelotas. Com exceção do Porto de Pelotas, os demais locais são sabidamente receptores de efluentes urbanos. Souza e Gastaldini (2014) evidenciaram que em regiões densamente urbanizadas, como ocorre nessa região, existe um grande potencial de contaminação fluvial devido à contribuição de matéria orgânica, agentes patógenos e nutrientes. Isso explica a associação desses locais com as variáveis citadas.

Um estudo desenvolvido por Albertoni *et al.* (2017) no Canal São Gonçalo também indicou problemas quanto a concentração de nutrientes no canal, refletindo no estado trófico, com condições de mesotrofia e eutrofia, atingindo períodos de hipertrofia. Um outro estudo, desenvolvido por Sanches Filho *et. al.* (2017) identificou níveis elevados de hidrocarbonetos no sedimento da porção do canal que atravessa o município de Pelotas, indicando poluição e confirmando o efeito negativo do escoamento urbano para o canal.



O P16 se encontra no lado direito da Figura 3, estando associado às mesmas variáveis com altas cargas positivas do Fator 1, porém se distancia dos demais pontos por estar na parte inferior, ficando dessa forma associado também às variáveis com maior carga negativa no Fator 2 (transparência e fosfato). Esse ponto corresponde à desembocadura de um canal de drenagem da zona urbana do município de Pelotas, o Canal Santa Bárbara, onde estudos já demonstraram um alto grau de poluição (Nagel *et al.*, 2014; Sanches Filho *et al.*, 2009; Simon *et al.*, 2003).

Interessante destacar que nesse ponto amostral a transparência é maior do que em todos os outros pontos, demonstrando que a contribuição negativa do Canal Santa Bárbara está intensamente ligada a porção de material dissolvido na água e não de partículas em suspensão, como se poderia esperar.

Nessa mesma Figura, no lado esquerdo encontram-se todos os pontos amostrais mais a montante do canal, estando sob influência de atividades agrícolas. Estão associados a esses pontos amostrais as variáveis com maiores cargas negativas no Fator 1 (turbidez, oxigênio dissolvido e potássio). Segundo Libânio (2010) a turbidez dos corpos d'água é particularmente elevada em regiões com solos erodíveis, onde as precipitações podem carrear partículas de silte, areia e argila para dentro dos mananciais, o que pode estar ocorrendo no Canal São Gonçalo. Já o potássio, encontrado em altas concentrações nesses locais, pode ser proveniente do uso de fertilizantes agrícolas. Os teores de oxigênio dissolvido são maiores nesses pontos, demonstrando uma boa condição quanto a essa variável, contrastando com o que ocorre nos pontos a jusante da barragem-eclusa.

Em relação aos demais fatores, no fator 3 a única variável com carga fatorial acima de 0,6 foi o ferro. No fator 4 as variáveis com maior carga fatorial foram cor aparente e cor verdadeira. Por fim, no fator 5, a variável com maior carga fatorial foi o cálcio. Essas variáveis que apresentaram altas cargas nos fatores 3, 4, 5 devem ser consideradas como importantes na qualidade da água do canal, mas são menos representativas do que aquelas dos fatores 1 e 2. Observando as cargas fatoriais das variáveis em estudo, constata-se que as variáveis coliformes totais, pH, nitrito, zinco e cromo VI apresentam baixos valores em todos os fatores (cargas inferiores a 0,6). Isso indica que na condição de baixa pluviosidade essas variáveis se tornam pouco relevantes na avaliação da qualidade da água do Canal São Gonçalo.

3.2 ALTA PLUVIOSIDADE

Para o período de alta pluviosidade foram extraídos seis fatores, baseado no critério da raiz latente, porém os fatores 5 e 6 não apresentaram nenhuma variável com carga fatorial acima de 0,6. Assim, apenas os quatro primeiros fatores são considerados como relevantes, explicando 72,76% da variância total. A Tabela 4 apresenta as cargas fatoriais para os quatro fatores relativos ao período de alta pluviosidade.



Tabela 4 - Cargas fatoriais de cada variável para os fatores selecionados dos dados de alta pluviosidade

Variáveis	Fatores			
	1	2	3	4
Transp.	0,46	-0,61	-0,48	-0,10
C. T.	-0,62	-0,05	0,01	0,61
C. Termot.	-0,52	-0,28	0,15	0,58
pH	-0,16	0,79	-0,49	-0,04
CE	-0,92	0,04	-0,31	-0,14
Turbidez	-0,40	0,84	0,03	0,24
OD	0,39	0,75	-0,29	0,10
Temperatura	-0,37	-0,23	0,19	0,58
Salinidade	-0,61	-0,05	-0,57	-0,13
SDT	-0,92	0,05	-0,31	-0,14
F ⁻	-0,91	-0,20	0,14	-0,09
K ⁺	-0,94	-0,04	0,13	-0,09
Ca ²⁺	-0,39	0,33	0,38	0,05
Cl ⁻	-0,92	0,09	-0,26	-0,10
NO ₃ ⁻	-0,39	-0,30	0,31	-0,57
Cor Ap.	0,11	0,66	0,64	0,10
Cor V.	0,20	-0,42	0,59	0,15
SO ₄ ²⁻	-0,02	0,26	-0,14	0,25
PO ₄ ³⁻	-0,93	-0,15	0,22	-0,07
NH ₃	-0,95	-0,10	0,16	-0,13
NO ₂ ⁻	0,19	-0,66	-0,16	-0,12
Fe	0,01	0,70	0,19	-0,36
Zn	-0,04	-0,27	-0,43	0,39
Cr	0,07	0,10	-0,59	0,21
% explicação	33,96	18,28	12,24	8,29

Transp. – Transparência; C. T. – Coliformes Totais; C. Termot. – Coliformes Termotolerantes; CE – Condutividade Elétrica; OD – Oxigênio Dissolvido; SDT – Sólidos Dissolvidos Totais; Cor Ap. – Cor Aparente; Cor V. – Cor Verdadeira.

Fonte: Elaborada pelos autores.

No Fator 1, as variáveis coliformes totais, condutividade elétrica, salinidade, sólidos dissolvidos totais, fluoreto, potássio, cloreto, fosfato e nitrato apresentaram as maiores cargas fatoriais.

A maioria dessas variáveis também apresentou alta carga fatorial no período de baixa pluviosidade, com exceção dos coliformes totais e do fosfato, que só apresentaram altas cargas fatoriais no período de alta pluviosidade, provavelmente pela maior variação desses parâmetros entre os pontos nesse período.

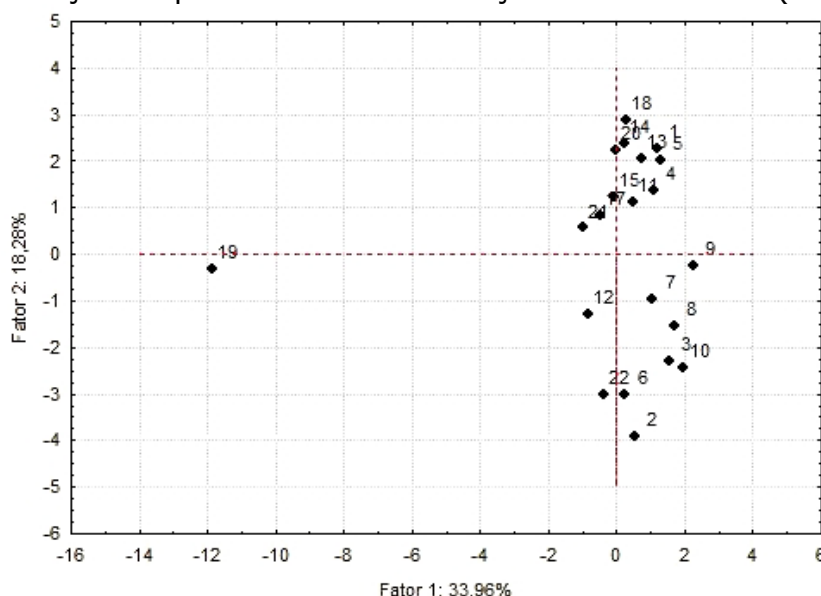
Já no Fator 2, as variáveis pH, ferro, oxigênio dissolvido, nitrito, turbidez, cor aparente e transparência apresentam altas cargas fatoriais. Nota-se que essas três últimas variáveis estão associadas à maior pluviosidade que, por diversos processos, acaba elevando as concentrações de partículas suspensas na água e interferindo nessas variáveis.

Em um estudo desenvolvido por Silveira *et al.* (2021) também no Canal São Gonçalo foi verificado uma variabilidade significativa nos parâmetros de qualidade de água em relação aos diferentes meses em que o estudo foi realizado, corroborando com as diferenças entre períodos de alta e baixa pluviosidade encontradas no presente estudo.

A Figura 4 demonstra a distribuição dos pontos amostrais em função dos Fatores 1 e 2.



Figura 4 – Distribuição dos pontos amostrais em função dos fatores 1 e 2 (alta pluviosidade).



Fonte: Elaborada pelos autores.

Observa-se na Figura 4 que o ponto mais afastado dos demais é o P19, correspondente a desembocadura do Canal do Pepino. Pela Figura observa-se que o P19 está associado fortemente às variáveis com elevadas cargas negativas no Fator 1 (coliformes totais, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais, fluoreto, potássio, cloreto, fosfato e amônia). Outros trabalhos já demonstraram que o Canal do Pepino é um manancial que compromete a qualidade da água do Canal São Gonçalo pela sua elevada carga de poluentes (Medronha *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2013). No presente estudo ficou evidente que a maior contribuição é com relação aos sólidos dissolvidos na água e a presença de nutrientes, que estão associados aos despejos de efluentes urbanos.

Na Figura 4 percebe-se também que os demais pontos amostrais ficaram relacionados às variáveis do Fator 2 (transparência, pH, turbidez, oxigênio dissolvido, cor aparente, nitrito e ferro), ou seja, para a quase totalidade dos pontos esses parâmetros são os que variam ao longo do canal no período de alta pluviosidade.

No Fator 3 a única variável com carga fatorial acima de 0,6 foi a cor aparente e no Fator 4 a única variável também com carga fatorial acima de 0,6 foi coliformes totais. Essas duas variáveis também apresentaram carga elevada no Fator 2 e no Fator 1 respectivamente.

As variáveis coliformes termotolerantes, temperatura, cálcio, nitrato, cor verdadeira, sulfato, zinco e cromo VI apresentam baixas cargas fatoriais em todos os fatores. Isso indica que na condição de alta pluviosidade essas variáveis se tornam pouco relevantes na avaliação da qualidade da água do Canal São Gonçalo.



3.3 SELEÇÃO DE PARÂMETROS PARA MONITORAMENTO

Uma das vantagens da aplicação ACP é a possibilidade de redução do número de variáveis, nesse caso de parâmetros de qualidade da água, facilitando as pesquisas e diminuindo custos nas etapas de amostragem e determinações analíticas, e tornando a interpretação ambiental mais objetiva e relevante.

Nesse estudo a ACP se mostrou uma importante ferramenta na diferenciação dos parâmetros que mais influenciam na variabilidade da qualidade da água em cada condição pluviométrica. Muitas variáveis demonstraram ser relevantes em ambos os períodos pluviométricos, pois apresentaram altas cargas fatoriais nos Fatores 1 ou 2, sendo elas: transparência, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido, salinidade, sólidos dissolvidos totais, fluoreto, potássio, cloreto, fosfato e amônia. Acrescidas a essas variáveis citadas, no período de baixa pluviosidade foram também relevantes as variáveis: coliformes termotolerantes, temperatura, nitrato e sulfato; e no período de alta pluviosidade as variáveis coliformes totais, pH, cor aparente, nitrito e ferro. Sendo assim, das 24 variáveis avaliadas, 22 se mostraram importantes em um dos períodos pluviométricos ou em ambos.

Somente as variáveis zinco e cromo VI não contribuíram para avaliação da qualidade da água do Canal São Gonçalo, demonstrando não haver uma variabilidade nesses parâmetros ao longo do canal. Além disso, a concentração desses parâmetros em todos os pontos amostrais nos dois períodos avaliados ficaram abaixo do limite da legislação (RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357/2005). Um estudo de Valadão *et al.* (2016) que avaliou a presença metais tóxicos, entre eles o zinco e o cromo, no sedimento do Canal São Gonçalo, também demonstrou que a concentração desses metais é baixa nesse ambiente.

Muitas dessas variáveis apresentaram forte correlação entre si, como por exemplo, sólidos dissolvidos totais e cloreto, o que faz com que o monitoramento de apenas uma das variáveis já indique a magnitude da outra. Além disso, outras variáveis se mostraram relevantes pela ACP, porém apresentaram concentrações bem abaixo dos limites estabelecidos na legislação brasileira para águas de Classe 2, sendo o caso do nitrito e do sulfato.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização desse estudo demonstrou que a qualidade da água do Canal São Gonçalo varia tanto espacial como temporalmente, considerando diferentes parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

A variação espacial da qualidade da água do canal demonstrou estar diretamente relacionada à condição de seus afluentes. Observou-se uma distinção entre os trechos a montante e a jusante da barragem-eclusa.

No trecho a jusante da eclusa contatou-se pior qualidade de água, sendo associada principalmente às entradas antrópicas urbanas. Os afluentes desse trecho são uma enorme fonte antrópica de poluição para o canal. Os locais mais críticos em termos de qualidade da água para os diversos



parâmetros foram a desembocadura dos canais Santa Bárbara (P16), Pepino (P19) e Drenagem (P21).

Apesar desse estudo trazer dados relativos às coletas feitas no ano de 2013, não houve até o momento avanços em termos de tratamento de esgoto e melhoria das condições de qualidade da água dos afluentes citados (P16, 19, 21). Além disso, estudos com dados de qualidade da água posteriores a 2013 (Albertoni *et al.*, 2016; Sanches Filho *et al.*, 2017; Silveira *et al.*, 2021) também indicaram problemas de poluição ao longo do Canal São Gonçalo.

Em relação às diferentes condições pluviométricas verificou-se que no período de baixa pluviosidade os parâmetros relacionados aos sólidos dissolvidos na água são os que mais contribuem para deterioração da qualidade da água, principalmente no trecho a jusante da eclusa. Já no período de alta pluviosidade há um aumento na parcela de sólidos suspensos, associados a parâmetros como turbidez, cor e coliformes.

Considerando-se que existe uma escassez de dados relativos à qualidade da água do Canal São Gonçalo e considerando o constante aumento da demanda hídrica, espera-se que os dados apresentados nesse trabalho contribuam para a melhoria da gestão desse manancial, garantindo que os usos múltiplos do canal sejam assegurados, o que é de interesse político, econômico, social e ambiental para toda a região.

5. AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pela bolsa de mestrado concedida.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DA LAGOA MIRIM. **Bacia Hidrográfica Mirim – São Gonçalo (BHMSG)**. Disponível em: <https://agencialagoamirim.com.br/bacia-hidrografica/>. Acesso em: 01 out. 2023.

ALBERTONI, E. F.; PALMA-SILVA, C.; TRINDADE, C. R.; FURLANETTO, L. M. Water quality of the São Gonçalo channel, urban and agricultural water supply in Southern Brazil. **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 22, 2017.

AUGUSTO, L. G. S.; GURGEL, I. G. D.; NETO, H. F. C.; MELO, C. H.; COSTA, A. M. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1511-1522, 2012.

BERTOSSI, A. P. A.; MENEZES, J. P. C.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; NEVES, M. A. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando Estatística Multivariada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2025-2036, 2013.

BRANCO FILHO, T. C. T.; SILVA, E. I.; BARTZ, I. Diagnóstico das ações de gestão pública voltadas ao abastecimento de água e esgotamento sanitário nos municípios inseridos na Bacia Hidrográfica Mirim e Canal São Gonçalo. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 14, n.35, 2021.



BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005, p.58-63.

CARVALHO, M. E. S. Vulnerabilidade hídrica na bacia sergipana do Rio Vaza Barris. **RA'EGA**, v. 25, p. 186-217, 2012.

CENTENO, L. N.; CECCONELLO, S. T. Modelagem multivariada para identificação de fontes de poluição, por meio de parâmetros limnológicos da qualidade da água: um estudo de caso do Arroio Grande/RS. **Revista Thema**, v. 19, n.1, 2021.

CORADI, P. C.; FIA, R.; RAMIREZ, O. P. Avaliação da qualidade da água superficial dos cursos de água do município de Pelotas-RS, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 4, n. 2, p. 46-56, 2009.

FIGUEIREDO, B. M.; ALVES, J. B. ; MILANI, I. C. B. Caracterização Ambiental do Canal São Gonçalo - RS. In: FIGUEIREDO, B. M.; ALVES, J. B. ; MILANI, I. C. B. (Org.). **Caracterização Ambiental do Canal São Gonçalo - RS**. 1ed.: Editora Científica Digital, 2023, v. 1, p. 92-108.

FRANÇA-SIECIECHOWICZ, M. S; FERNANDES, C. V. S.; KAVISKI, E.; KNAPIK, H. G.; PORTO, M. F. A. Análise multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água: estudo de caso da Bacia do Alto Iguaçu. In: Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 18, 2009, Campo Grande. **Anais [...]**. Campo Grande: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

GOUVÊA, T.; ZARNOT, D. H.; ALBA, J. M. F. Caracterização geoambiental e histórico do processo de desenvolvimento da bacia da Lagoa Mirim. In: ALBA, J. M. F. (Ed). **Sustentabilidade Socioambiental da Bacia da Lagoa Mirim**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. cap. 1, p. 17-28.

GRÜTZMACHER, D. D.; GRÜTZMACHER, A. D.; AGOSTINETTO, D.; LOECK, A. E.; ROMAN, R.; PEIXOTO, S. C.; ZANELLA, R. Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 632-637, 2008.

HAIR, J. J. F.; BLACK, W. C.; ANDERSON, R. E.; BABIN, B. J.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

KUNDZEWICZ, Z. W.; KRYSANOVA, V. Climate change and stream water quality in the multi-factor context. **Climate Change**, 103, p. 353-362, 2010.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Editora Átomo, 2010.

MACHADO, G. Comportamento das Características Químicas e Bioquímicas das águas superficiais: o caso do Canal São Gonçalo/RS. **Revista Faz Ciência**, v. 6, n. 1, p. 191-211, 2004.



MEDEIROS, W. M. V.; SILVA, C. E.; LINS, R. P. M. Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v.13, n. 2, 2018.

MEDRONHA, G. A.; MILANI, I. C. B.; SOUZA, M. F.; BONCZYNSKI, R.; DÉCIO JR, R. M. S.; SUZUKI, L. E. A. S.; DAI PRÁ, M.; COLLARES, G. L. Avaliação da qualidade água do Canal São Gonçalo-RS através do Índice de Qualidade de Água. In: 20º Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves, 2013.

MELLO K.; TANIWAKI, R. H.; DE PAULA, F. R.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; MACEDO, D. R.; LEAL, C. G.; RODRIGUES, C. B.; HUGHES, R. M. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, 2020.

NAGEL, G. W. COSTA, M. T. V.; NUNES, N. A.; SOUZA, M. F.; DÉCIO JR, R. M. S.; MILANI, I. C. B. Qualidade da água do Canal Santa Bárbara e influência sobre o Canal São Gonçalo. In: XXIII Congresso de iniciação científica da Universidade Federal de Pelotas, 2014 Pelotas. **Anais [...]**. Pelotas, 2014.

NETTO, J. P. S. Panorama da gestão de recursos hídricos no Brasil. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 241-258, 2022.

PASQUALETTO, A. PASQUALETTO, A. G. N.; PASQUALETTO, T. L. L.; MENDES, T. A. Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil. **Informe GEPEC**, v. 26, n.1, p. 46-61, 2022.

PEREIRA, M. A. F.; BARBIEIRA, B. P.; QUEVEDO, D. M. Importância do monitoramento e disponibilização de dados hidrológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos. **Sociedade e Natureza**, v.23, n.32, p.308-320, 2020.

PINTO, C. C.; FARIA, F. P. C. P.; ALMEIDA, G. M. Utilização de modelo baseado em análise por componentes principais para identificação de condições críticas de qualidade de água superficial. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.4, p.288-305, 2021.

PRASAD, P. CHAURASIA, M.; SOHONY, R. A.; GUPTA, I.; KUMAR, R. Water Quality analysis of surface water: a Web approach. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, n. 7, p. 5987-5992, 2013.

SABINO, C. V. S. ABREU, J. F.; LOBATO, W.; SABINO, G. S.; KNUP, E. A. N. Análise de alguns aspectos da qualidade da água da Bacia do Rio Paraoíba utilizando estatística multivariada. **Revista de biologia e ciências da terra**, v. 8, n. 2, p. 8-18, 2008.

SANCHES FILHO, P. J.; FERNANDES, C. C.; GONZALEZ, T. N.; RIBEIRO, P. M. Caracterização ambiental e determinação de alumínio nas águas do Canal Santa Bárbara, Pelotas-RS. In: 49º Congresso Brasileiro De Química, 2009, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre, 2009.

SANCHES FILHO, P. J.; BOHM, E. M.; BOHM, G. M. B.; MONTENEGRO, G. O.; SILVEIRA, L. A.; BETEMPS, G. R. Determination of hydrocarbons transported by urban runoff in sediments of São Gonçalo Channel (Pelotas – RS, Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, v.114, p. 1088–1095, 2017.



SANEP – SERVIÇO AUTÔNOMO DE SANEAMENTO DE PELOTAS. **Tratamento de água**. Disponível em: <https://portal.sanep.com.br/agua/tratamento-agua>. Acesso em: 09 out. 2025.

SILVA, S. A.; AZEVEDO, L. E. C.; LIMA, G. V. B. A.; PEREIRA, M. M.; ARAÚJO, I. R. S. Otimização estatística de parâmetros de qualidade de águas superficiais no monitoramento ambiental em atividades de mineração na Amazônia. **Research, Society and Development**, v.9, n.3, 2020.

SILVEIRA, V. R.; VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B.; NADALETI, W. C.; VIEIRA, B. M. Assessment of the Water Quality of the Mirim Lagoon and the São Gonçalo Channel Through Qualitative Indices and Statistical Methods. **Water Air Soil Pollut**, 232, 217, 2021.

SIMON, A. L. H.; GONÇALVES, A. M. B. A.; HILSINGER, R.; NOAL, R. E. Impactos ambientais e estado de degradação ambiental do Canal do Santa Bárbara, município de Pelotas, R.S. In: 10º simpósio brasileiro de geografia física aplicada, 2003, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro, 2003.

SOUZA, M. F.; MEDRONHA, G. A.; MILANI, I. C. B.; SUZUKI, I. C. B.; COLLARES, G. L.; NETO, M. B.; BONCZINSKI, R. G.; DÉCIO JR, R. M. S. Monitoramento da qualidade da água de um manancial hídrico sob influência de atividades antrópicas, no município de Pelotas, RS – Brasil. In: 20º Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves, 2013.

SOUZA, M. M. de; GASTALDINI, M. do C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Eng. Sanit. Ambient.** v.19, n.3, p.263-274, 2014.

VALADÃO, L. S.; GARCIA, J. F. C.; SANCHES FILHO, P. J.; PINTO, A. M. T. P. Determinação de elementos traço no sedimento do canal São Gonçalo, Pelotas, Rio Grande do Sul. **Revista ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.7, n.1, p.210-220, 2016.

Submissão: 31/10/2023

Aceito: 11/10/2025