

ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS ATRAVÉS DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS E DO ÍNDICE DE VIOLAÇÃO: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRAVATAÍ - RS

Gabriel Borges dos Santos

Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Mestre em Recursos Hídricos
Doutorando em Recursos Hídricos - UFPel
E-mail: gabrielwxssantos@hotmail.com

Marlon Heitor Kunst Valentini

Técnico em Controle Ambiental, Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Mestre em Recursos Hídricos
Doutorando em Recursos Hídricos - UFPel, Professor substituto no Instituto Federal Sul-rio-grandense:
Campus Camaquã
E-mail: marlon.valentini@hotmail.com

Lukas dos Santos Boeira

Engenheiro Hídrico, Mestre em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Doutor em Recursos Hídricos
Professor substituto no Instituto Federal Sul-rio-grandense: Campus Pelotas.
E-mail: lukasdossantosboeira@gmail.com

Larissa Aldrighi da Silva

Técnica em meio ambiente, Engenheira Ambiental e Sanitarista
Mestranda em Ciências Ambientais - UFPel
E-mail: larissa.aldrighi@gmail.com

Diuliana Leandro

Engenheira Cartográfica, Mestra em Ciências Geodésicas, Doutora em Ciências Geodésicas
Professora da UFPel, Coordenadora do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFPel
E-mail: diuliana.leandro@gmail.com

Bruno Müller Vieira

Engenheiro Químico, Mestre e Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais
Professor da UFPel, Diretor do Centro de Engenharias da UFPel
E-mail: bruno.prppg@hotmail.com

54

RESUMO

A qualidade das águas superficiais vem sofrendo alterações na sua quantidade, distribuição e qualidade, isso se deve muito ao crescimento populacional atrelado a maior exploração da natureza. Com isso, este estudo teve por objetivo avaliar a qualidade das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí - BHRG, localizada no Rio Grande do Sul, por meio de parâmetros físico-químicos e microbiológicos coletados em seis pontos de monitoramento (P1, P2, P3, P4, P5 e P6). A metodologia empregada consistiu no Percentual de Violação e no método estatístico de correlação de Spearman. O Percentual de Violação, que leva em consideração os padrões estabelecidos na resolução do CONAMA 357/05, mostrou através dos parâmetros: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, Escherichia coli e fósforo total a influência negativa da área urbana, localizada a jusante da BHRG (próximo ao exutório) nos pontos de monitoramento P4, P5 e P6, na qualidade das águas do rio Gravataí, indicando possíveis descarte de efluentes industriais e esgotos domésticos. A análise de correlação apresentou resultados preocupantes no que compete à qualidade dos corpos hídricos da BHRG, indicando possíveis fontes de poluição por descartes de efluentes industriais e esgotos domésticos nos corpos hídricos da BHRG. Portanto, é imprescindível um olhar mais crítico à BHRG com o investimento de políticas públicas como estratégia para melhorar a gestão de recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição Hídrica; Resolução CONAMA 357/05; Percentual de Violação; Correlação de Spearman. Uso e Cobertura do Solo.

ANALYSIS OF THE QUALITY OF SURFACE WATER USING STATISTICAL METHODS AND THE VIOLATION INDEX: CASE STUDY OF THE GRAVATAÍ RIVER HYDROGRAPHIC BASIN - RS

ABSTRACT

The quality of surface waters has been undergoing changes in quantity, distribution, and quality, largely due to population growth coupled with increased exploitation of nature. Therefore, this study aimed to assess the quality of surface waters in the Gravataí River Basin - BHRG, located in Rio Grande do Sul, through the collection of physicochemical and microbiological parameters at six different monitoring points (P1, P2, P3, P4, P5, and P6). The methodology employed consisted of the Violation Percentage and the Spearman correlation statistical method. The Violation Percentage, which takes into account the standards established in CONAMA Resolution 357/05, showed, through parameters such as dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, *Escherichia coli*, and total phosphorus, the negative influence of the urban area located downstream of BHRG (near the outlet) at monitoring points P4, P5, and P6, on the water quality of the Gravataí River, indicating possible discharge of industrial effluents and domestic sewage. The correlation analysis presented concerning results regarding the quality of the water bodies in BHRG, indicating potential sources of pollution from industrial effluent and domestic sewage discharge into the water bodies of BHRG. Therefore, it is essential to take a more critical look at BHRG and invest in public policies as a strategy to improve water resource management.

KEYWORDS: Water Pollution; CONAMA Resolution 357/05; Percentage of Violation; Statistical Analysis; Spearman correlation.

INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (BHRG) se localiza na Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba abrangendo parcela da região Metropolitana da capital do estado do Rio Grande do Sul (RS), a cidade de Porto Alegre (SEMA, 2012). O uso e ocupação do solo nessa bacia apresentam uma influência majoritariamente negativa na qualidade da água como apresentado por Martins *et al.* (2022). De tal modo, se faz necessário entender a composição da bacia para que estudos de maior e melhor qualidade sejam gerados.

Essas informações somadas ao constante aumento populacional e a ocupação inadequada, vem gerando uma sobrecarga nos serviços básicos, como o de saneamento básico, com o lançamento inadequado de resíduos sólidos e de esgoto sanitário nos corpos hídricos, que acaba ocasionando uma gradativa contaminação (Santos *et al.*, 2018). A urbanização acelerada resulta em demandas crescentes por água potável, tratamento de esgoto e gestão adequada de resíduos sólidos. Esses fatores contribuem para a contaminação gradual dos recursos hídricos e apresentam desafios significativos para a saúde pública e a qualidade de vida das comunidades, como levantamentos descritos em Vitor *et al.* (2021). Neste contexto, Santos *et al.* (2018) indicam uma necessidade de estudos baseados na qualidade da água, visto que além do mais, a contaminação desses corpos hídricos podem ser fortes

focos de transmissão dos mais diversos tipos de vetores, os quais, conseqüentemente afetam a saúde pública (Guedes *et al.*, 2017).

Ou seja, monitorar a qualidade da água é um ato importante para a segurança dessa fonte ao passar dos anos, além de permitir o acompanhamento das atividades antrópicas a fim de frear e mitigar quando necessário às atividades negativas, visto que o homem é um dos principais causadores de impactos por meio de sua ação antrópica (Gomes *et al.*, 2022).

Como diretriz para guiar esse monitoramento existe a resolução CONAMA 357 de 2005 que “dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes” (Brasil, 2005). Tal resolução carrega informações importantes como os limites de diversos parâmetros necessários no acompanhamento da bacia, de modo a enquadrar-se nos corpos hídricos do Brasil. Os mais utilizados para avaliar a qualidade da água são os físicos, químicos e biológicos, como: os referidos ao oxigênio (Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio), além de nitrogênio, fósforo e coliformes, de forma que suas análises podem ou não ter relação entre si (Santos *et al.*, 2018).

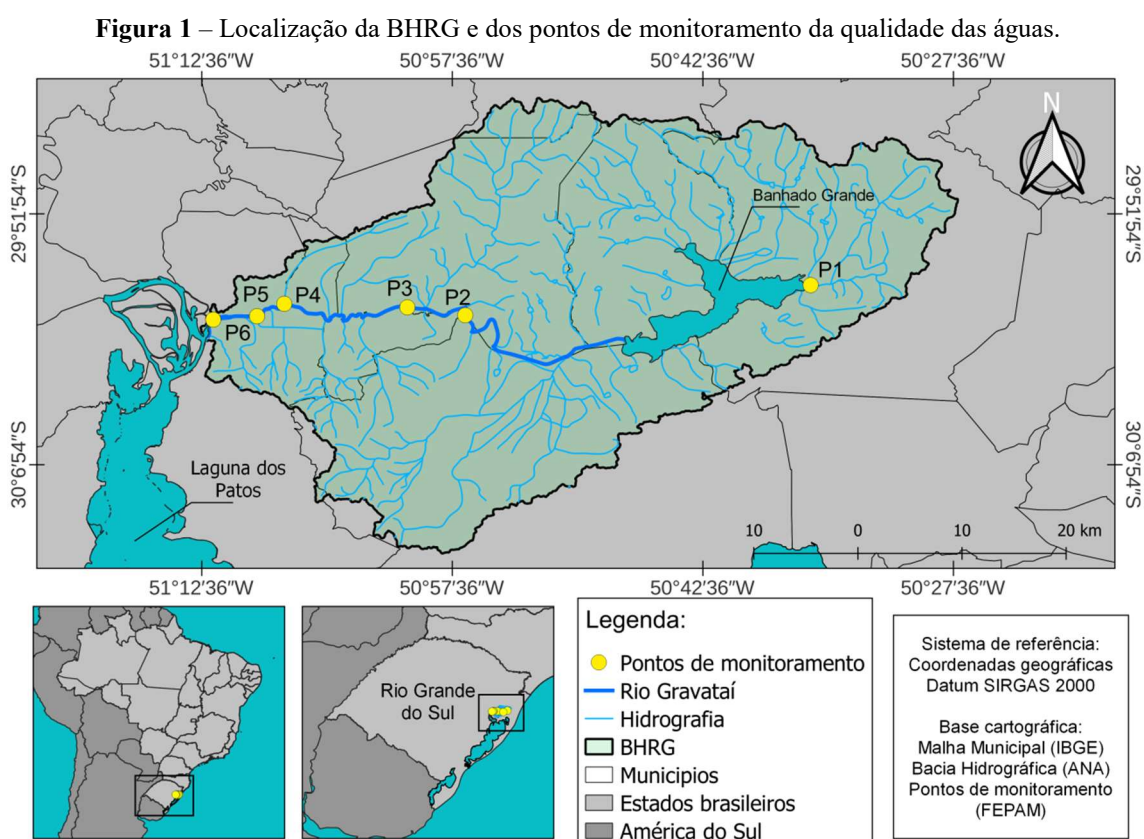
Associados com monitoramento da qualidade das águas podem existir os métodos estatísticos, que são capazes de proporcionar resultados simples a partir de um conjunto de dados complexos, tornando fácil a interpretação dos resultados (Gomes *et al.*, 2022; Valentini *et al.*, 2022a). Para Zhao *et al.* (2012) e Liao *et al.* (2008), os métodos estatísticos surgem como uma ferramenta oportuna, pois sem perder a exatidão, são capazes de fornecer resultados simples e compreensíveis a partir de um conjunto de dados originalmente complexo. Valentini *et al.* (2022a) abordam que existem os mais diversos métodos estatísticos disponíveis para aplicabilidade no monitoramento da qualidade de águas, com diferentes abordagens, entre eles, um dos mais comuns é a análise de correlação.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade das águas da BHRG-RS, por meio do percentual de violação (PV), que leva em consideração a Resolução CONAMA Nº 357/2005, e de métodos estatísticos. Conseqüentemente, a análise desenvolvida pode ajudar na compreensão sobre possíveis influências na qualidade da água dos corpos hídricos da BHRG, algo fundamental para o gerenciamento adequado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição do local de estudo e pontos de monitoramento

A área de estudo compreende a BHRG (Figura 1), sendo os pontos de coleta situados no rio Gravataí, que se situa na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul e ocupa uma área de aproximadamente 2.015,00 km² abrangendo o território, parcial ou total, de nove municípios: Alvorada, Cachoeirinha, Canoas, Glorinha, Gravataí, Porto Alegre, Santo Antônio da Patrulha, Taquara e Viamão (FEPAM, 2021). A população efetiva estimada para a BHRG, conforme FEPAM (2021) é de 1.255.730 habitantes, sendo 98% desse total residente em áreas urbanas.



Fonte: Autores.

O relevo é constituído por altitudes entre 20 e 350 m, onde as cotas mais baixas estão situadas no centro da bacia, enquanto as mais altas, na porção norte. O clima na bacia é classificado como Subtropical III, isto é, clima úmido, com variação longitudinal das temperaturas médias (Rossato, 2011). Caracteriza-se por chuvas que oscilam entre 1700 a 1800 mm anuais e uma temperatura média anual que varia entre 17°C e 20°C (Rossato, 2011).

Destaca-se ainda que, a BHRG está inserida na região geomorfológica da Planície Costeira Interna do estado do Rio Grande do Sul, onde predominam depósitos de planície lagunar e aluvionares

e ambientes sedimentares de turfa heterogênea, intercalada ou misturada com areia siltico-argilosa (Guasselli; Simioni; Laurent, 2020).

Cardoso *et al.* (2016) avaliaram as características do tipo de solo na região da BHRG, apresentando grande predomínio de Chernossolos - solos esses não hidromórficos, apresentando uma alta saturação por bases, argila de alta atividade e horizonte A chernozêmico - seguidos por Planossolos - solos com uma má drenagem, com concentrado de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta - e por Gleissolos - solos constituídos por material mineral, geralmente saturados por água a qual pode se elevar por ascensão capilar, atingindo a superfície do solo.

De acordo com Guasselli *et al.* (2018), o rio Gravataí, principal corpo hídrico da BHRG, percorre (no sentido leste para oeste) uma distância de 61,4 km aproximadamente, tendo suas nascentes nos banhados Grande e dos Pachecos, desaguando no delta do Jacuí. Ressalta-se que ao longo dos anos, o aprofundamento e a organização das plantações de arroz provocaram uma série de alterações significativas no equilíbrio de água do rio, nas zonas alagadas de sua planície de inundação, nos pântanos circundantes e em sua diversidade biológica. Isso resultou em impactos ambientais de grande relevância. Como resposta a essa situação e reconhecendo a rica biodiversidade da região, juntamente com a necessidade de proteger esse ecossistema e suas funções hidrológicas, foi instituída em 1998 a Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande (APABG). Seu propósito é preservar as áreas alagadas, regular o desenvolvimento urbano e garantir a sustentabilidade na utilização dos recursos naturais (Rodrigues; Lipp-Nissinen, 2018).

Os pontos de monitoramento utilizados neste estudo para avaliar a qualidade da água na BHRG estão descritos na Tabela 1 e apresentados espacialmente na Figura 1.

Tabela 1 - Descrição dos pontos de monitoramento.

Ponto	Estação (Cód. FEPAM)	Local	Trecho	Latitude	Longitude
1	87398500	arroio Chico Lomã	Alto Gravataí	-29,9359940°	-50,6024750°
2	87398900	rio Gravataí	Médio Gravataí	-29,9662800°	-50,9488450°
3	87398950	rio Gravataí	Baixo Gravataí	-29,9572470°	-51,0065200°
4	87405500	rio Gravataí	Baixo Gravataí	-29,9546620°	-51,1277030°
5	87406900	rio Gravataí	Baixo Gravataí	-29,9670040°	-51,1548550°
6	87409900	rio Gravataí	Baixo Gravataí	-29,9704310°	-51,1985840°

Fonte: Autores.

Coleta de dados

Os dados utilizados foram obtidos no banco de informações da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler (FEPAM) (FEPAM, 2021). A série de dados analisadas é composta por 6 pontos de amostragem, onde foram realizadas coletas entre os anos de 2010 a 2020, abrangendo todos os meses do ano.

- Ponto 1: 39 coletas;
- Ponto 2: 41 coletas;
- Ponto 3: 40 coletas;
- Ponto 4: 39 coletas;
- Ponto 5: 41 coletas;
- Ponto 6: 43 coletas.

Alguns dos parâmetros analisados foram: oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), colônias de *Escherichia coli* (E.coli), fósforo total (P total) e turbidez.

Percentual de Violação

Conforme os padrões estipulados pela Resolução CONAMA N° 357/2005 (BRASIL, 2005), foi aprovado na Resolução n° 58 do Conselho dos Recursos Hídricos - RS, de 24 de junho de 2009 (Rio Grande do Sul, 2009), o estabelecimento dos seguintes critérios de enquadramento para os corpos hídricos da BHRG, conforme Tabela 2:

Tabela 2 - Enquadramento dos corpos hídricos na BHRG.

Trecho	Enquadramento
Trecho Alto – Nascentes	1
Trecho Alto - Banhado Grande	Especial
Trecho Médio - Entre o Banhado Grande e a foz do Arroio Demétrio	1
Trecho Baixo - Entre a foz do Arroio Demétrio e a foz do rio Gravataí	2

Fonte: Adaptado de Resolução CRH Nº 113/2012 (RIO GRANDE DO SUL, 2012a).

Com isso, os pontos de monitoramento utilizados se enquadram na Classe 1 (P1 e P2) e Classe 2 (P3, P4, P5 e P6). Os padrões estipulados pela Resolução CONAMA Nº 357/2005 para águas de Classe 1 e 2 se encontra na Tabela 3.

Tabela 3 - Enquadramento dos corpos hídricos na BHRG.

Parâmetro	Classe 1	Classe 2
OD (mg/L O ₂)	≥6	≥5
DBO (mg/L O ₂)	≤3	≤5
E-Coli (NMP/100mL)	≤160	≤800
Fósforo total (mg/L P)	≤0,10	≤0,10
Turbidez (UNT)	≤40	≤100

Fonte: Adaptado de Resolução CONAMA Nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

Após tabelamento e organização dos dados, tais parâmetros foram avaliados nos seis pontos de amostragem para todas as coletas. Os resultados encontrados foram comparados com a resolução do CONAMA 357/2005 para verificação se o enquadramento dos corpos hídricos da BHRG segue os padrões exigidos para águas de Classe 1 e 2, respectivamente (conforme Tabela 3).

Para melhor entendimento e compreensão dos resultados foi calculado o Percentual de Violação (PV) (Valentini *et al.*, 2021a) para cada ponto de coleta em relação aos parâmetros apresentados na Tabela 3. Após o cálculo do PV os resultados foram classificados de acordo com a Tabela 4. O cálculo do PV se dá conforme Equação 1:

$$PV = (NAA * 100) / NAT$$

Equação 1

Em que: PV é o Percentual de Violação (%); NAA é o número de amostras em cada ponto de monitoramento que ficaram acima do permitido pela legislação para determinado parâmetro; e NAT é o número total de amostra por ponto para um determinado parâmetro.

Tabela 4 - Classificação dos valores do PV.

Valores do PV (%)	Classificação
75,01 – 100	Muito Alto
50,01 – 75	Alto
25,01 – 50	Médio
0,00 – 25	Baixo

Fonte: Autores.

Uso e ocupação do solo

Para melhor compreender os resultados obtidos, elaborou-se um mapa de uso e ocupação do solo (Figura 2) para a BHRP a partir do banco de dados do MapBiomias (2020) por meio do software livre de código fonte aberto, conhecido como QGIS. Tal mapa foi subdividido em 10 classes de uso e ocupação do solo, descritas na Tabela 5. Destaca-se que, no intuito de facilitar a visualização das classes no mapa foi feita a união dos usos Pastagem, Silvicultura, Soja, Outras Lavouras Temporárias e Restinga Arborizada pelo fato das mesmas abrangerem juntas somente em torno de 10% do uso e cobertura do solo da BHRG.

Tabela 5 - Descrição das classes de uso e ocupação do solo.

Classes	Descrição
Formação Florestal	Vegetação lenhosa com espécies arbóreas ou arbóreo-arbustivas, com predomínio de dossel contínuo.
Formação Campestre	Vegetação com predomínio de estrato herbáceo graminóide, com presença de dicotiledôneas herbáceas e subarbustivas
Pastagem	Área de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas à atividade agropecuária.
Silvicultura	Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto, araucária).
Soja	Áreas cultivadas com a cultura da soja.
Arroz	Áreas cultivadas com cultura de arroz, exclusivamente sob sistema de irrigação.
Outras Lavouras Temporárias	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano.
Restinga Arborizada	Vegetação herbácea que se estabelece sobre solos arenosos ou sobre dunas na zona costeira.
Campo Alagado e Área Pantanosa	Áreas pantanosas, denominadas regionalmente de banhados. Ocupam planícies e depressões do terreno com solo encharcado e também as margens rasas de lagoas ou reservatórios de água.
Área Urbanizada	Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura.

Fonte: Adaptado de MapBiomias (2020).

Análise estatística

- Matriz de correlação

A fim de verificar a relação entre os parâmetros de qualidade utilizou-se uma matriz de correlação. Segundo Reis (1997) esse tipo de análise permite identificar quais variáveis estão muito correlacionadas entre si.

Com o intuito de suprimir as diferenças das ordens de grandezas dos resultados obtidos através das análises laboratoriais para que não ocorram interferências sobre a matriz de correlação, realizou-se a padronização dos dados de acordo com a metodologia descrita por Wilks (2006).

De posse dos dados padronizados, foi verificada a normalidade de todos os dados dos pontos de monitoramento através do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Segundo Lopes *et al.* (2013), este teste oferece o parâmetro valor de prova, que é considerado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula (H₀), a qual, neste teste, corresponde à distribuição Normal. Dessa forma, se $\text{valor-p} \leq \alpha$, sendo α um nível de significância geralmente igual a 0,05, rejeita-se a normalidade amostral. Segundo Guimarães (2003) e Valentini *et al.* (2021b), a normalidade amostral é avaliada a fim de definir quais são os melhores testes de variância e coeficientes de correlação a serem utilizados, sendo que alguns testes e coeficientes são utilizados para dados que seguem uma distribuição normal e outros, os não paramétricos, não possuem essa limitação.

A partir do teste de normalidade, foi escolhido o coeficiente de correlação mais adequado para o presente estudo e, então, foi calculada a matriz correlação entre os parâmetros de qualidade utilizados neste estudo. A matriz de correlação foi calculada utilizando os dados padronizados, a fim de evitar interferências na análise das correlações entre os parâmetros, conforme abordado no início deste capítulo.

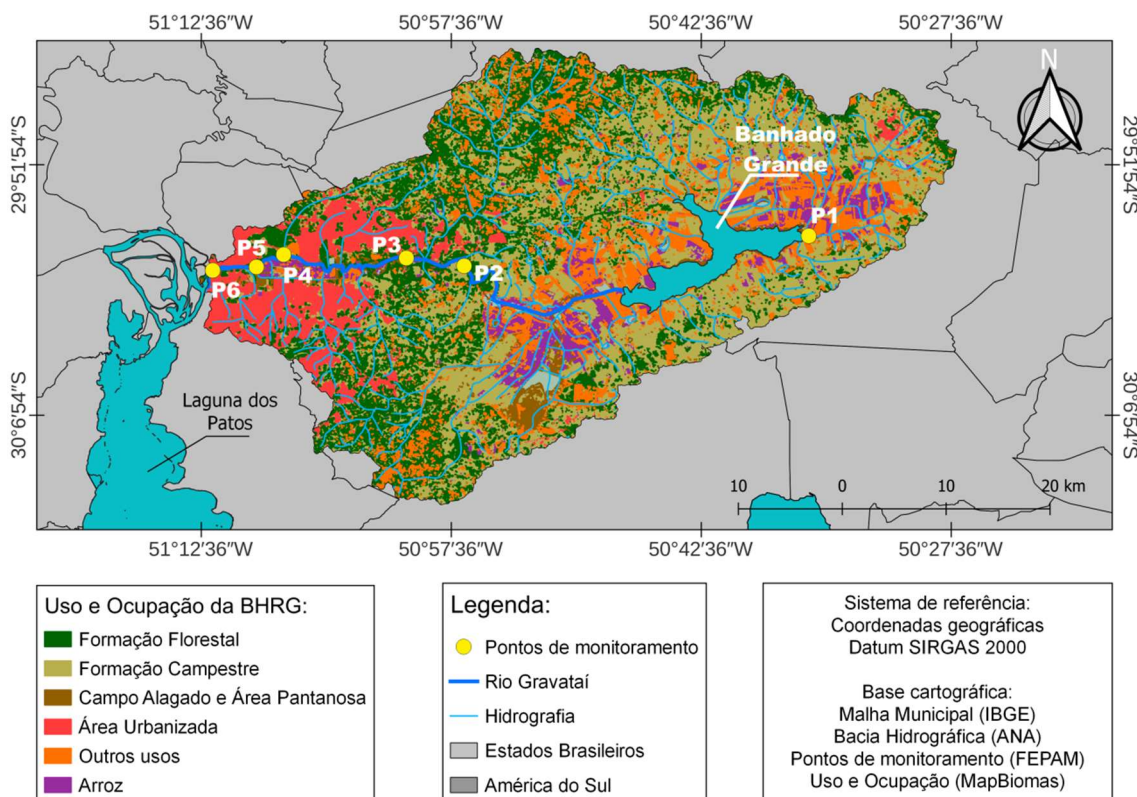
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise do uso e ocupação do solo e percentual de violação

A partir do mapa de uso e ocupação do solo na BHRG (Figura 2) e da Tabela 6, pode-se destacar o uso para formação campestre (43,5%), formação florestal (16,5%), arroz (13,2%) e área urbanizada (12,2%). Segundo o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (Rio Grande do Sul, 2012b), o predomínio até 2012 era de Formação Campestre (50,81%), lavouras (19,98%), formação florestal (11,12%) e áreas urbanizadas (7,65%). Destaca-se ainda segundo o Plano que uma área total de 80,37% da BHRG considerada área protegida.

Tais resultados evidenciam a dinâmica da BHRG com um viés mais natural, com formação campestre e florestal em predomínio, destacando tais formações no entorno do P2, assim como uma pequena influência no seu entorno por áreas de cultivo de arroz irrigado. Para o P1 é nítido o predomínio da orizicultura - cultivo do arroz irrigado, e para os pontos P3, P4, P5 e P6 mais próximos das áreas urbanizadas. Isso possibilita uma análise mais interessante quando trabalhado com questões de qualidade da água, visto que, estão presentes em ambientes com usos e ocupação do solo distintos, podendo assim influenciar em tais parâmetros.

Figura 2 - Uso e ocupação do solo na BHRG.



Fonte: Autores.

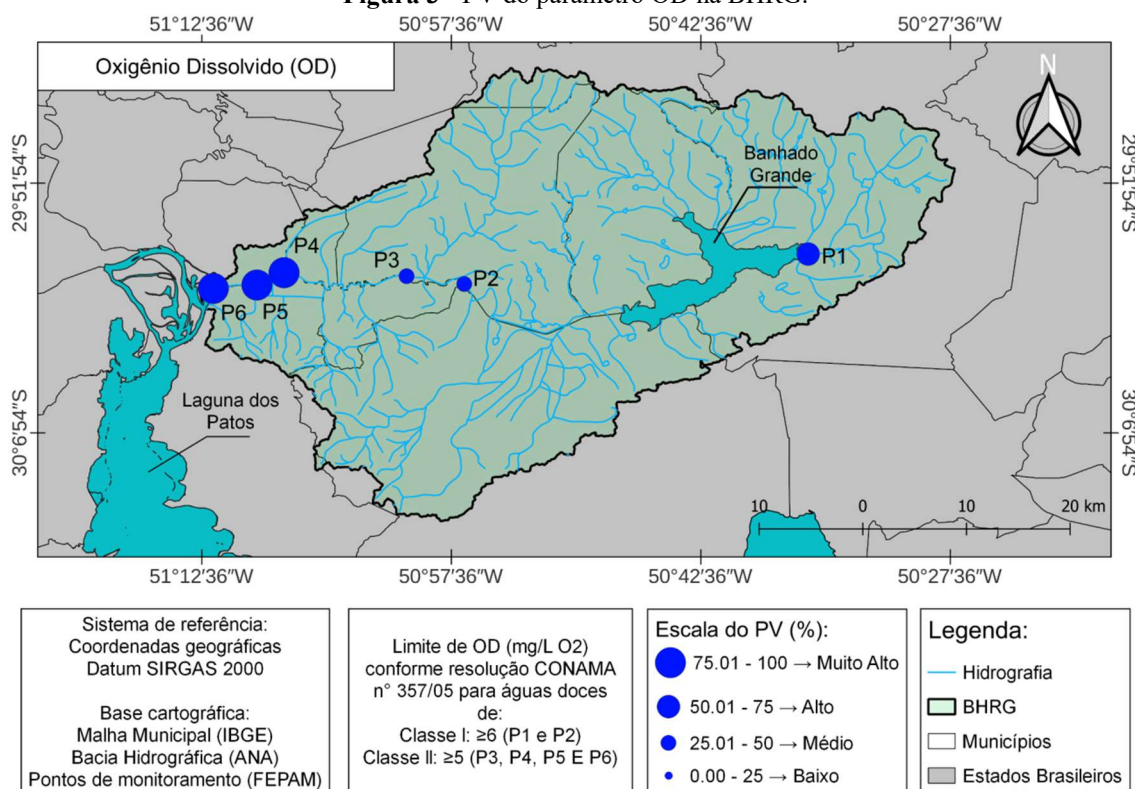
Tabela 6 - Descrição das classes de uso e ocupação do solo.

Classes	Área (Km²)	Porcentagem (%)
Formação Florestal	332,47	16,5
Formação Campestre	876,63	43,5
Pastagem	4,03	0,2
Silvicultura	52,39	2,6
Soja	42,31	2,1
Arroz	265,98	13,2
Outras Lavouras	84,63	4,2
Temporárias	84,63	4,2
Restinga Arborizada	26,20	1,3
Campo Alagado e Área	84,63	4,2
Pantanosa	84,63	4,2
Área Urbanizada	245,83	12,2

Fonte: Autores.

Ao tratar os dados do Percentual de Violação (PV) para a região da BHRG, referentes ao período entre 2010 e 2020, um primeiro destaque é o Oxigênio Dissolvido (Figura 3), que evidencia valores de PV na faixa de classificação muito alto, nas regiões próximas a áreas urbanizadas - P4, P5 e P6. Tais resultados podem trazer evidências que esses mananciais hídricos podem ter alta decomposição de matéria orgânica e a respiração realizada pelo ecossistema dos pontos P4, P5 e P6 colaborando para a diminuição da quantidade de OD na água (Janzen; Schulz; Lamon, 2008). Outro indicativo importante para essa classificação muito alta, são possíveis lançamentos de esgotos urbanos nos corpos hídricos da região a jusante da bacia (MENDES *et al.*, 2021). Para os pontos P2 e P3, o PV configura-se na classificação média, podendo ser um indicativo que para aquele ecossistema ocorre um aumento na produção fotossintética e a reaeração atmosférica, fatores que contribuem com o aumento da concentração de oxigênio na água (Janzen; Schulz; Lamon, 2008).

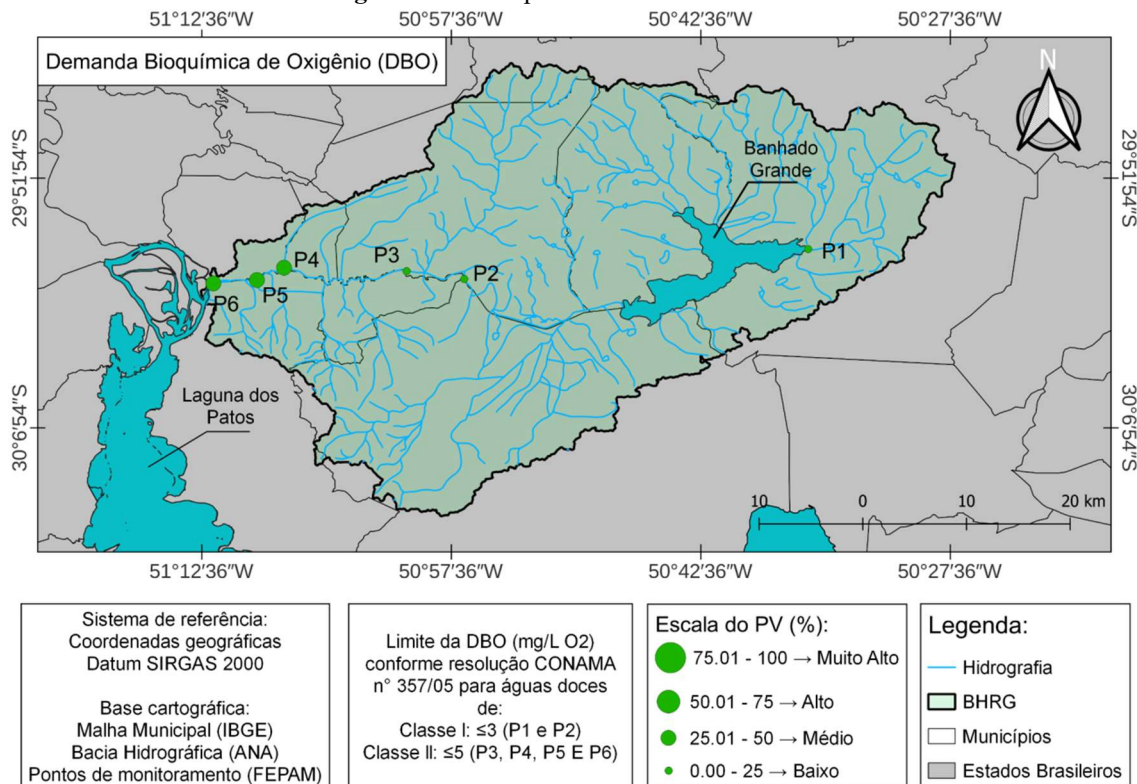
Figura 3 - PV do parâmetro OD na BHRG.



Fonte: Autores.

Outro parâmetro de destaque, é a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), o qual, junto a OD possibilitam indicar poluição provenientes de esgoto doméstico. Os resultados obtidos pelo PV para o parâmetro DBO (Figura 4) indicam uma situação mais confortável, quando comparado com os resultados de OD. Verifica-se que os pontos P1, P2 e P3 apresentaram uma baixa classificação, seguidos em média para os pontos P4, P5 e P6. Valentini *et al.* (2021a) ao avaliarem a qualidade da água para a Lagoa Mirim, obtiveram resultados de PV para a DBO semelhantes. No relatório atualizado da BHRG (FEPAM, 2023), verifica-se que para o ano de 2022, o ponto P6 foi enquadrado com DBO mais alto que a Classe 3, seguidos pelos pontos P4 e P5 enquadrados na Classe 3.

Figura 4 - PV do parâmetro DBO na BHRG..



Fonte: Autores.

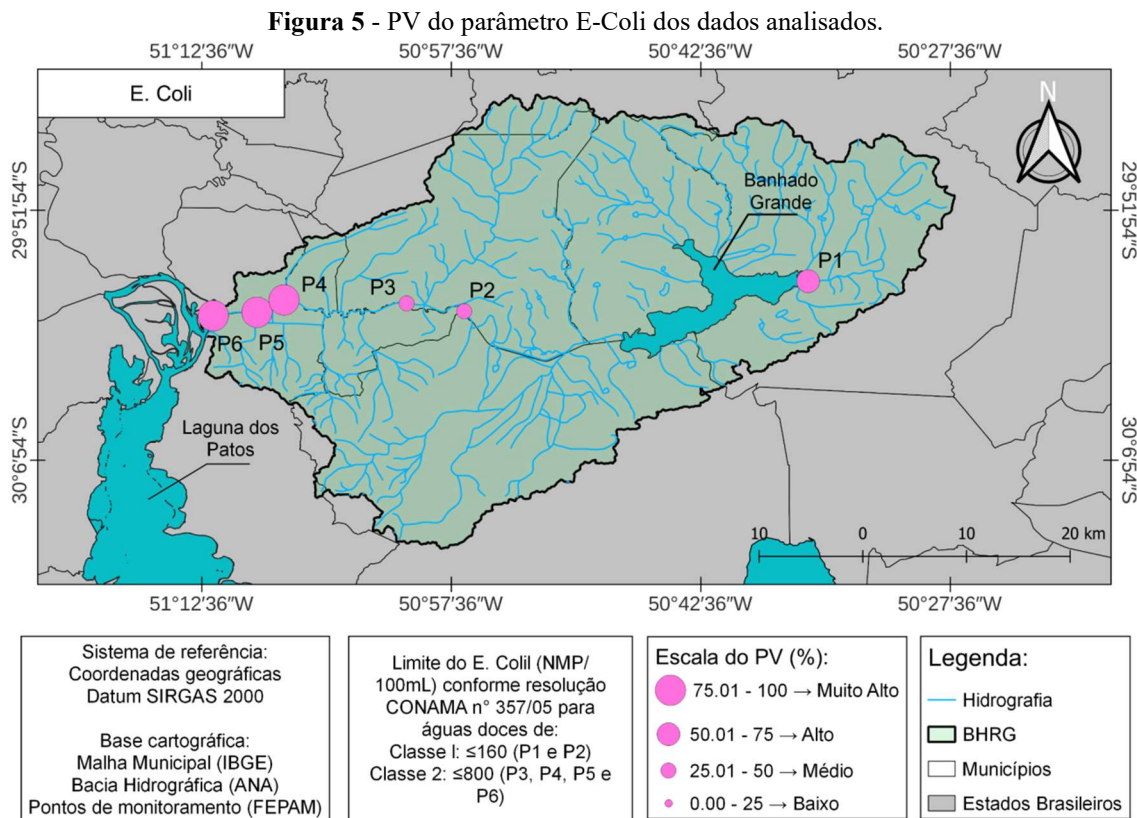
Quanto ao uso da água para abastecimento público, um dos principais parâmetros avaliados em questões de qualidade da água é referente aos Coliformes, sendo a *E. coli* considerada o parâmetro mais apropriado para análise de contaminação fecal nas águas (CETESB, 2016).

Quando constatado a presença de coliformes nas águas superficiais, podem ser considerados fortes indicativos de poluição agrícola e esgotos domésticos, conforme apresentado por Guedes *et al.* (2012) e Santos *et al.* (2020). Os resultados obtidos para PV na BHRG mostram uma situação que demanda atenção, sendo novamente os pontos P4, P5 e P6 na classificação muito alto provavelmente por estarem localizados em uma região com predomínio de áreas urbanizadas (Figura 2) e, apresentarem a mesma classificação para o parâmetro de OD, forte indicativo de poluição antrópica como despejos de efluentes.

Para o P1, nota-se uma classificação alta, sendo uma região com predomínio de cultivo de arroz, podendo ser indicativo de poluição agrícola. Para FEPAM (2023), em 2022 a BHRG apresentou as piores classificações de enquadramento para os pontos P1, P4, P5 e P6, constatando que tal situação analisada para os 11 anos (2010-2020) se manteve durante o último ano.

A área do Banhado Grande (Figura 5) funciona de certo modo como um “filtro”. Como a água diminui sua velocidade por determinado tempo no banhado, antes de continuar seu curso, a influência

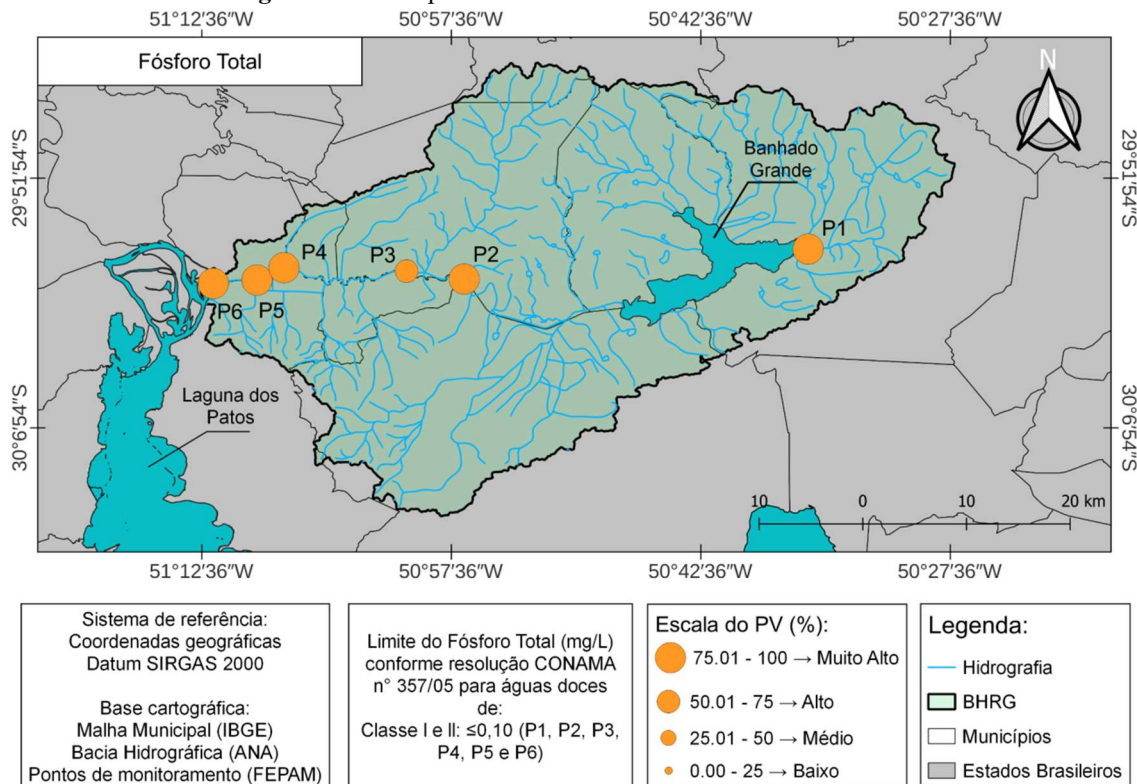
da radiação solar acaba sendo maior. De acordo com Vieira *et al.* (2018), os microrganismos patogênicos presentes na água são vulneráveis ao calor e a raios ultravioletas. Essa combinação entre temperatura e radiação acaba inativando os organismos patogênicos, isso se dá através da penetração dos raios na parede celular dos mesmos, destruindo toda a sua capacidade reprodutora (Berwick; Kesler, 2005).



Fonte: Autores.

Estudos analisando o Fósforo Total apresentam como principais fontes de altos índices quando ocorre contato com esgotos domésticos, sendo estes apontados pela ANA (2023) como principais fontes de fósforo na contaminação das águas, devido à presença de detergentes superfosfatados e matérias fecais. Outro ponto de fonte de P nas águas conforme ANA (2023) é a drenagem pluvial das áreas agrícolas e urbanas, assim como efluentes industriais como indústrias de fertilizantes, frigoríficos e laticínios. Em relação aos resultados de P, a partir da análise de PV (Figura 6), verifica-se um predomínio para 5 dos 6 pontos na classificação - muito alto para os pontos P1, P2, P4, P5 e P6 - sendo um grande indício desses mananciais estarem recebendo alguma fonte de contaminação.

Figura 6 - PV do parâmetro Fósforo total dos dados analisados.



Fonte: Autores.

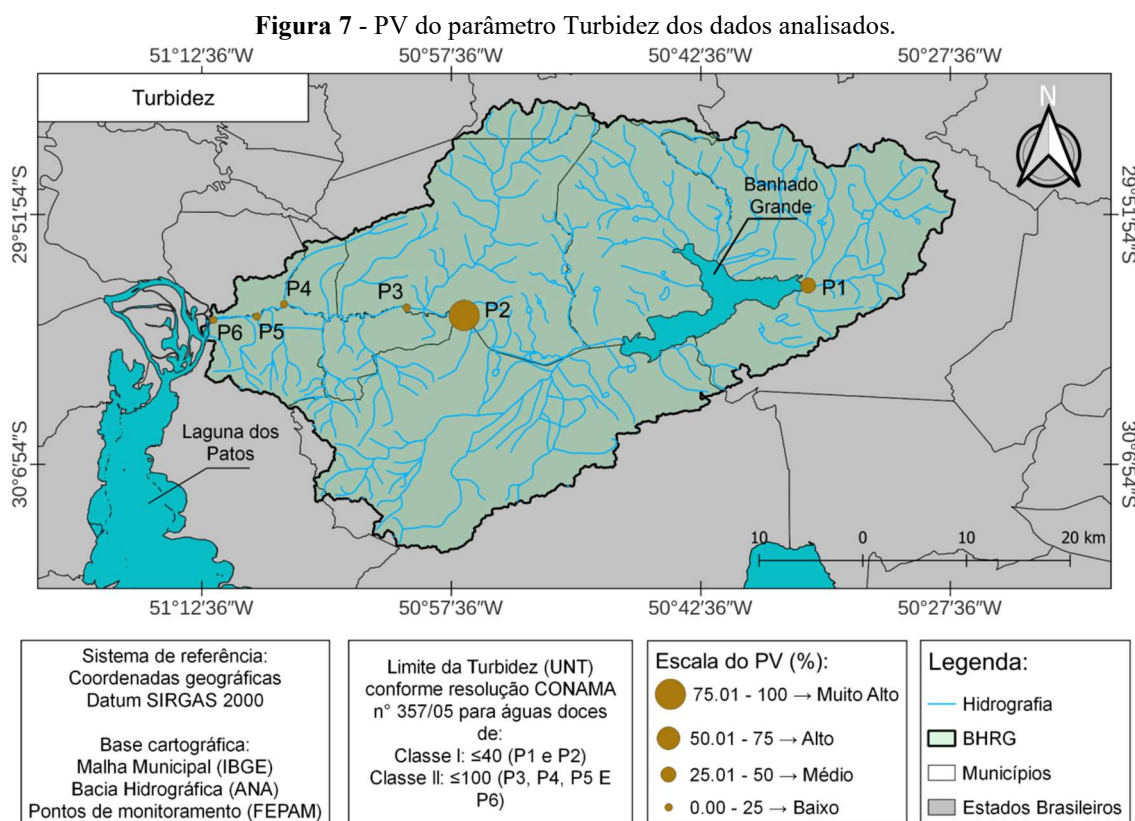
Como a análise neste estudo é pontual, ou seja, resultado médio de todas as coletas para aquele determinado ponto no período de análise (abrangendo todos os meses do ano), podemos inferir a influência de vários fatores na alta concentração de fósforo na qualidade da água do rio Gravataí como, por exemplo, efluentes industriais, esgotos domésticos, cultivo de arroz irrigado, entre outros.

Cerski, Prochnow e Carrillo (2013) buscaram averiguar se as premissas de abatimento de carga poluente, através do tratamento dos esgotos sanitários, estimados no plano de bacia do rio Gravataí eram coerentes com valores verificados no monitoramento de estações de tratamento de esgotos licenciadas pela FEPAM. Ao comparar a diferença dos valores estimados no Plano em relação aos efetivamente observados, o fósforo acabou se destacando segundo os autores. Conforme os mesmos, a exigência de abatimento deste parâmetro é rigorosa na legislação estadual e no Plano de Bacia e o atendimento a estas exigências é ainda muito baixo.

Macedo *et al.* (2011) avaliaram os parâmetros de qualidade da água usada para irrigação do campo experimental e da água que retorna ao rio Gravataí em uma estação experimental do arroz em Cachoeirinha - RS. Tal estudo mostrou que os teores de fósforo solúvel na água de irrigação oscilaram muito e foram altos durante os períodos monitorados atingindo concentrações superiores a 1,0 mg L⁻¹

¹, já na água de drenagem (saída), as concentrações do fósforo mantiveram-se mais uniformes e inferiores, mas mesmo assim superaram o padrão de referência para águas “Classe 2” (0,05 mg L⁻¹).

Ao analisar a Turbidez (Figura 7), através do PV, verificou-se que apenas o ponto P2 apresentou uma classificação diferente do baixo, enquadrando-se na faixa - muito alto. Essa classificação pode estar atrelada a questões referente ao uso e ocupação do solo onde se localiza o ponto, caracterizado por Pastagem e Floresta (Figura 2).



Fonte: Autores.

Pastagem e áreas de florestas podem aumentar a turbidez da água por conta de apresentarem um solo com cobertura natural, sem impermeabilização das partículas do solo, possibilitando assim uma desagregação das partículas devido a eventos de precipitação, chegando até o manancial hídrico e influenciando a turbidez, como mostra Raposo *et al.* (2010) para região da bacia do Ribeirão Sabará-MG, com grande predomínio dos usos do solo para ações de pastagem.

Podemos relacionar a alta turbidez à lama oriunda das lavouras que utilizaram o sistema de plantio de arroz pré-germinado que acabam despejadas no rio Gravataí. Estudos como Mattos *et al.*, (2012) e Rodrigues e Lipp-Nissinen (2018) apontam a influência dessa atividade na área. Esses autores destacam que essa prática agrícola envolve a inundação prévia a fim de preparar o solo,

resultando na formação de uma lama que contribui para o aumento da produtividade do cultivo. No entanto, a subsequente drenagem da área, realizada aproximadamente de três a cinco dias após a distribuição das sementes pré-germinadas, pode resultar na perda de sólidos totais, levando a um aumento na turbidez das águas.

Segundo informações da ANA (2009), em casos de formação de lodo ou lama decorrente desse método de plantio de arroz, é aconselhável aguardar alguns dias até que a lâmina d'água diminua, assegurando, dessa forma, que os sedimentos em suspensão se depositem naturalmente na própria plantação, evitando-se, assim, o despejo destes no corpo d'água receptor. Além disso, é recomendado não realizar a drenagem da plantação antes de decorridos 30 dias após a aplicação de qualquer agroquímico, a fim de prevenir a possível contaminação do corpo receptor com substâncias tóxicas (ANA, 2009).

Além das análises de PV apresentadas para cada ponto de coleta em relação a cada um dos parâmetros, faz-se importante um estudo estatístico, a fim de verificar suas principais correlações entre os parâmetros de qualidade.

Análise estatística

- Matriz de correlação

Foi analisada a distribuição amostral dos dados padronizados através do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS). Os resultados permitiram concluir que os dados analisados não seguem uma distribuição normal. Logo, o cálculo da matriz de correlação foi feito com base no coeficiente de Spearman. Segundo Helena *et al.* (2000), considera-se como forte uma correlação que obtenha, em módulo, um coeficiente igual ou superior a 0,5. Com base, então, nesse limiar analisa-se a matriz de correlação apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 - Correlação entre os dados de qualidade da água, BHRG.

	OD	DBO	Turbidez	Fósforo total	E. coli
OD	1,000				
DBO	-0,657	1,000			
Turbidez	0,170	0,005	1,000		
Fósforo	-0,617	0,696	0,045	1,000	
E.coli	-0,571	0,752	-0,029	0,673	1,000

Fonte: Autores.

Como se observa na Tabela 7 houve correlação forte e negativa do OD com DBO (-0,657), Fósforo total (-0,617) e E.coli (-0,571), ou seja, quanto maior for a concentração de OD menor será a concentração da DBO, Fósforo total e E.coli, e vice-versa. Tais correlações podem ser justificadas pelo fato de que o OD é influenciado pelo lançamento de efluentes. A presença do fósforo na água pode se dar através da decomposição da matéria orgânica (células e excrementos) ou até mesmo de esgotos domésticos, efluentes industriais e fertilizantes (Von Sperling, 2007). A presença da E.coli na água pode advir do despejo de esgoto doméstico além da presença dos dejetos animais (Santos *et al.*, 2020). A DBO fornece um indicativo da carga orgânica do recurso hídrico, ou seja, o excesso de matéria orgânica causa uma grande redução no OD da água (Valentini *et al.*, 2021c).

A Tabela 7 também apresenta uma forte correlação positiva entre DBO com Fósforo total (0,696) e E.coli (0,752), assim como, a correlação forte e positiva entre Fósforo total e E.coli (0,673). O fato das correlações terem sido positivas indica que quanto maior a concentração de determinado parâmetro na água maior também a do parâmetro ao qual possui correlação. Tais correlações positivas aqui mencionadas podem estar associadas com o descarte de efluentes industriais, esgoto doméstico ou até mesmo com dejetos de animais (Guedes *et al.*, 2012; Valentini *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2021; Valentini *et al.*, 2021b). De regra geral, com base na análise de correlação de Spearman, pode-se observar correlações preocupantes no que compete à qualidade dos corpos hídricos da BHRG.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que foi possível analisar a qualidade das águas na BHRG por meio do PV e métodos estatísticos. O PV demonstrou grande influência negativa da área urbana mais a jusante da bacia na qualidade da água do Rio Gravataí (nos pontos de monitoramento P4, P5 e P6), indicando possíveis descartes de efluentes industriais e esgotos domésticos. Destaca-se também a grande influência do cultivo do arroz irrigado na BHRG, que acaba causando alterações negativas nas concentrações de fósforo e turbidez, por exemplo, dos corpos hídricos. A análise de correlação de Spearman mostrou correlações entre parâmetros como, por exemplo, OD com DBO, Fósforo total e E.coli, apontando o possível lançamento de efluentes na água. Neste sentido, o monitoramento da qualidade hídrica superficial da BHRG se torna imprescindível, sendo necessário o desenvolvimento de um olhar crítico, assim como, o investimento de políticas públicas como estratégia para melhorar a gestão de recursos hídricos na área em questão.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. **Portal da Qualidade das Águas: Indicadores de Qualidade – Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 22 jun. 2023.

ANA - Agência Nacional de Águas; Instituto Rio Grandense Do Arroz -IRGA. **Conservação de água e preservação ambiental nas lavouras de arroz do Rio Grande do Sul: produção mais limpa**. Brasília: ANA, 2009. 54 p. ISBN 978-85-89629-65-2.

BERWICK, M.; KESLER, D. Ultraviolet radiation exposure, vitamina D, and cancer. **Photochem. Photobiol.** 2005.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 27 abr. 2023.

CARDOSO, S. L.; PALOSKI, N. I.; BENCKE, G. A.; IMHOFF, N. F. **Flora e fauna do Rio Gravataí e ambientes associados: guia ilustrado físico e biótico da bacia hidrográfica do sistema Gravataí**. Gravataí: [S.A.], 2016. 183p.

CERSKI, E. R.; PROCHNOW, T. R.; CARRILLO, D. P. Integração dos dados de monitoramento das estações de Tratamento de esgoto do órgão ambiental estadual com A estimativa de abatimento de carga poluente no plano de bacia do rio Gravataí– RS, XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. São Paulo: 2016.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Relatório da Qualidade da Água Superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí**. Porto Alegre (RS). 2021.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Relatório Técnico da Qualidade Ambiental do Estado do Rio Grande do Sul: Qualidade da água superficial nas Regiões Hidrográficas do RS (Guaíba, Litoral e Uruguai)**. Porto Alegre (RS). 2023.

GOMES, J. P.; SANTOS, G. B.; VALENTINI, M. H. K.; VIEIRA, B; M. Avaliação da variabilidade de parâmetros da qualidade das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguarão. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 40, p. 31-45, 2022.

GUASSELLI, L. A.; BELLOLI, T.; SIMIONI, J. P.; ETCHELAR, C. B.; BRENNER, V. C. **Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí**. In *Áreas úmidas: questões ambientais*. Primeira edição. Editora Imprensa Livre. Porto Alegre, 2018. 347p.

GUASSELLI, L. A.; SIMIONI, J. P. D.; LAURENT, F. Mapeamento e Classificação de Áreas Úmidas Usando Topographic Wetness Index (Twi) a Partir de Modelos Digitais de Elevação, na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí - Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.21, n.3, p.639-659, 2020.

GUEDES, H. A.; SILVA, D. D. D.; ELESBON, A. A.; RIBEIRO, C.; MATOS, A. T. D.; SOARES, J. H. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 558–563, 2012.

GUEDES, A. F.; TAVARES, L. N.; MARQUES, M. N. N.; MOURA, S. P.; SOUSA, M. N. A. Tratamento da água na prevenção de doenças de veiculação hídrica. **Journal of Medicine and Health Promotion**, v. 2, p. 452-461, 2017.

GUIMARÃES, P. R. B. **Análise de Correlação e medidas de associação**. Universidade Federal do Paraná. 2003. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~jomarc/correlacao.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2023.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNÁNDEZ, J. M.; FERNÁNDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, v. 34, n. 3, p. 807-816, 2000.

JANZEN, J. G.; SCHULZ, H. E.; LAMON, A. W. Medidas da concentração de oxigênio dissolvido na superfície da água. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 278 - 283, 2008.

LIAO, S. W. Identification of pollution of Tapeng Lagoon from neighbouring rivers using multivariate statistical method. **Journal of Environmental Management**, v. 88, p. 286-292, 2008.

LOPES, M. M.; CASTELO BRANCO, V. T. F.; SOARES, J. B. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Transportes**, v. 21, n. 1 p. 59–66, 2013.

MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E.; JERONIMO, I. O.; MALLMANN NETO, F. J. Qualidade da água do rio Gravataí usada na irrigação da estação experimental do arroz em Cachoeirinha – RS. **VII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado** - Balneário Camboriú SC, 2011.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias Pampa Sudamericano. **Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**, 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/download>. Acesso em: 05 maio 2023.

MARTINS, L. P.; SAMPAIO, J.; GODOI, R. S.; VARGAS, L. K.; SILVA, F. R.; BENEDUZI, A. Water quality assessment of the Demetrio stream: an affluent of the Gravataí River in the South of Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, e234692, 2022.

MATTOS, M. L. T.; SCIVITTARO, W. B.; PETRINI, J. A.; DOS SANTOS, I. M. B. **Qualidade da água de drenagem em cultivo de arroz pré-germinado**. Circular Técnica, 125. Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS, 2012.

MENDES, T. A.; ALVES, F. C. R.; FERREIRA, D.; MENDES, D.; CUBA, R. M. F. Fronteiras: **Journal of Social, Technological and Environmental Science**. v.10, n.1, p. 406-426, 2021.

RAPOSO, A. L.; BARROS, L. F. P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. O uso de taxas de turbidez da bacia do Alto Rio das Velhas – Quadrilátero Ferrífero/MG – como indicador de pressões humanas e erosão acelerada. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial, n. 3, 2010.

REIS, E. **Estatística multivariada aplicada**. Lisboa, Portugal: Edições Sílabo. 1997.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente. Conselho de Recursos Hídricos. **Resolução nº 58, de 24 de junho de 2009**. Aprova o Enquadramento das águas da bacia hidrográfica do Rio Gravataí. Porto Alegre, 2009. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/Resolucao%20CRH%20n%2058-2009%20Aprova%20o%20Enquadramento%20das%20águas%20da%20BH%20do%20Rio%20Gravataí.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente. Conselho de Recursos Hídricos. **Resolução nº 113, de 24 de outubro de 2012**. Aprova o Enquadramento das águas da bacia hidrográfica do Rio Gravataí. Porto Alegre, 2012a. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201708/22162306-resolucao-crh-113-2012-aprova-enquadramento-das-aguas-superficiais-do-rio-gravatai-05-11.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Gravataí. **Relatório Final**. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. 2012b. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/g010-bh-gravatai>. Acesso em: 30 mai. 2023.

RODRIGUES, M. B.; LIPP-NISSINEN, K. H. Diagnóstico de parâmetros de qualidade do rio Gravataí no interior da Área de Proteção Ambiental (APA) do Banhado Grande, RS, e a detecção de situação de criticidade. **Revista Thema**, v. 15, n. 3, p. 1137-1153, 2018.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. 240f. Tese. (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

SANTOS, S. A.; GASTALDINI, M. C. C.; PIVETTA, G. G.; SCHMIDT, O. Qualidade da água na bacia hidrográfica urbana Cancela Tamandaí, Santa Maria/RS. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 2, p. 23–44, 2018.

SANTOS, G. B.; VALENTINI, M. H. K.; SILVA, L. A.; FRANZ, H. S.; CORRÊA, B. L.; VIANA, F. V.; CORRÊA, M. G.; VIEIRA, B. M.; NADALETI, W. C.; LEANDRO, D.; VIEIRA, B. M.. Avaliação dos parâmetros e do índice de qualidade da água para o Arroio Moreira/Fragata, Pelotas/RS. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 4, p. 287-299, 2020.

SANTOS, G. B.; VALENTINI, M. H. K.; VIEIRA, B. M. Análise de regressão linear aplicada à modelagem de uma nova equação para o monitoramento de qualidade da água: Estudo de caso do Arroio Moreira/Fragata. **Revista Ambientale**, v. 13, n. 1, p. 13–27, 2021.

SEMA. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. 2012. Rio Grande do Sul. **Recursos Hídricos e Saneamento**. Encatre. 16p. 2012. Disponível em: https://rsgovbr-my.sharepoint.com/personal/raiza-schuster_sema_rs_gov_br/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Ffraiza%2Dschuster%5Fse

ma%5Frs%5Fgov%5Fbr%2FDocuments%2FBiblioteca%20DIPLA%2FPBHs%2FG010%20%2D%20Bacia%20Hidrogr%C3%A1fica%20do%20Rio%20Grav. Acesso em: 28 jun. 2023.

VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B.; DUARTE, V. H.; DROSE, A.; VIEIRA, B. M.; VIANA, F. V.; CORRÊA, M. G.; GUEDES, H. A. S.; NADALETI, W. C.; VIEIRA, B. M. Monitoramento e identificação de grupos de poluentes da Lagoa Mirim. **Revista Ibero-Americana De Ciências Ambientais**, v. 11, n. 4, p. 228–235, 2020.

VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B. DOS; FRANZ, H. S.; SILVA, L. A.; FRAGA, G. DA S.; MELLO, N. P. DE; BOEIRA, L. DOS S.; ROMANI, R. F. Análise da Influência de Fatores Climáticos na Concentração de Ferro e Manganês em Água Bruta Destinada a um Sistema de Tratamento de Água. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 5, p. 2486–2486, 2022a.

VALENTINI, M.H.K.; SANTOS, G.B.; FRANZ, H.S.; VIEIRA, B.M. Avaliação da qualidade da água da Lagoa Mirim por meio de métodos estatísticos e índice de violação. **Revista Ambientale**, Alagoas, v. 13, n. 1, p. 28-37, 2021a.

VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B.; DUARTE, V. H.; VIEIRA, B. M.. Análise da influência de fatores naturais sobre a condição de balneabilidade das praias da cidade de Itapoá-SC. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 3, p. 45-55, 2021b.

VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B.; MACHADO, L. L.; VIEIRA, D. S.; VIEIRA, M. B.; ROMANI, R. F.; LEANDRO, D.; NADALETTI, W. C.; VIEIRA, B. M. Análise da qualidade da água da Lagoa Mirim através do IQA e de métodos estatísticos. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.1, p.375-384, 2021c.

VIEIRA, B. M.; GOLIN, N.; VALENTINI, M. H. K.; CORRÊA, M. G.; VIANA, F. V.; NADALETI, W. C. Avaliação da eficiência do método SODIS na desinfecção da água para consumo humano em Pelotas/RS. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.7, p.158-170, 2018.

VITOR, G. A.; LANDO, G. A.; DUARTE, C. de A. L.; MARQUES, D. de A. V.; D'ANGELO, I. B. de M. Title health and sanitation in Brazil: a narrative review on the association of basic sanitation conditions with waterborne diseases. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e521101522913, 2021.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the atmospheric sciences**. Second edition. International geophysics series 91, 2006.

ZHAO, Y.; XIA, X. H.; YANG, Z. F.; WANG, F. Assessment of water quality in Baiyangdian Lake using multivariate statistical techniques. **Procedia Environmental Sciences**, v.13, p.1213-1226, 2012.

Recebido em: 07/07/2023
Aceito em: 10/10/2023