

Avaliação da qualidade ambiental e da água superficial em duas sub-bacias hidrográficas do médio rio Uruguai, sul do Brasil

Rodrigo Rogoski Soltis^{1*}, Milton Norberto Strieder², David Augusto Reynalte Tataje³, Daniela Alves da Silva⁴, Rafaela Roberta Morelato⁵, Júlia Villela Toledo Ferreira⁶, Sirlei Maria Hentges⁷, Cristiane Maria Loebens⁷, Tieli Cláudia Menzel⁷

¹Mestre em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis, Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil. (*Autor correspondente: rodrigossoltis@gmail.com)

²Doutor em Biociências, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil.

³Doutor em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, Brasil

⁴Graduanda em Ciências Biológicas, Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil.

⁵Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

⁶Mestranda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

⁷Mestre em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis, Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

Histórico do Artigo: Submetido em: 04/05/2023 – Revisado em: 25/11/2023 – Aceito em: 31/01/2023

RESUMO

Os ambientes aquáticos continentais estão entre os ecossistemas que atualmente vem sendo mais impactados pela ação humana, principalmente pelos diferentes usos da água e a ocupação intensiva do solo. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a qualidade da água e do ambiente das sub-bacias hidrográficas dos rios Piratinim e Comandá, na região Noroeste do Rio Grande do Sul, Brasil. As avaliações foram realizadas em 36 pontos amostrais, distribuídos em trechos de nascente, intermediário e foz de doze riachos localizados nas regiões alta, média e baixa das duas sub-bacias. Os resultados dos parâmetros físico-químicos da qualidade da água, encontram-se em sua maioria, dentro dos valores máximos permitidos pelo CONAMA. De acordo com os índices BMWP (Biological Monitoring Working Party) foi verificado que a água dos riachos da região classifica-se como de qualidade “boa” e “aceitável”, evidenciando uma melhor qualidade de água na sub-bacia do Piratinim com relação ao Comandá. Na análise das características ambientais, considerando aspectos ecológicos e de habitat através da aplicação de um PAR (Protocolo de Avaliação Rápida), foram detectados apenas dois trechos com qualidade de “impactado” e “alterado”, nas sub-bacias dos rios Piratinim e Comandá, respectivamente. As análises bifatoriais dos dados bióticos e abióticos demonstraram que embora não se tenha diferenças estatísticas significativas, existe uma tendência de valores piores do BMWP e PAR na sub-bacia do Comandá, uma vez que muitos pontos ficaram próximo da condição de ambiente alterado, em especial nos trechos de nascente, sendo estas áreas de atenção especial para recuperação ambiental.

Palavras-Chaves: Monitoramento ambiental, Cursos d’Água, Ecossistemas lóticos.

Environmental and surface water quality assessment in two sub-basins of the middle river Uruguay, southern Brazil

ABSTRACT

The aquatic environments are among the ecosystems that are currently being most impacted by human action, mainly due to different uses of water and intensive land occupation. The goal of this work was to evaluate the quality of water and the environment in the sub-basins of the Piratinim and Comandá rivers, in Rio Grande do Sul, Brazil. The evaluations were carried out in 36 sampling points, distributed in stretches of the source, intermediate and mouth of twelve streams located in the high, medium and low regions of the two sub-basins. The results of the physical-chemical parameters of water quality are mostly within the maximum values allowed by CONAMA. According to the BMWP (Biological Monitoring Working Party) indices, it was verified that the water from the streams in the region is classified as of “good” and “acceptable” quality, evidencing a better water quality in the sub-basin of the Piratinim in relation to Comandá. In the analysis of the environmental characteristics, considering ecological and habitat aspects through the application of a PAR (Rapid Assessment Protocol), only two sections with “impacted” and “altered” quality were detected, in the sub-basins of the Piratinim and Comandá rivers, respectively. The bifactorial analyzes of the biotic and abiotic data showed that, although

Soltis, R. R., Strieder, M. N., Tataje, D. A. R., Silva, D. A., Morelato, R. R., Ferreira, J. V. T., Hentges, S. M., Loebens, C. M., Menzel, T. C. (2024). Avaliação da qualidade ambiental e da água superficial em duas sub-bacias hidrográficas do médio rio Uruguai, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.12, n.1, p.02-20.



there are no statistically significant differences, there is a tendency towards worse BMWP and PAR values in the Comandá sub-basin, since many points were close to the altered environment condition, in the source stretches, these areas of being special attention to environmental recovery.

Keywords: Environmental monitoring, Biodiversity, Surface waters.

1. Introdução

A qualidade da água é uma questão de grande relevância para toda a sociedade, visto ser um elemento fundamental para a manutenção da vida (Guimarães et al., 2017). Os impactos causados pelas atividades antrópicas geram sérios danos ambientais, onde os ecossistemas das águas continentais encontram-se entre os mais afetados (Biasi et al., 2010; Callisto et al., 2001; Queiroz et al., 2008). A expansão dos centros urbanos e o uso intensivo das áreas rurais, principalmente para a produção agrícola, contribui de forma negativa para a degradação destes ecossistemas (Moreno e Callisto, 2006; Queiroz et al., 2008). Estas ações acarretam na perda da qualidade hídrica e ambiental, resultando, conseqüentemente, na redução da composição e alteração na estrutura das comunidades aquáticas, levando a perda da integridade biológica dos ambientes naturais (Goulart e Callisto, 2003; Gonçalves, 2004; Biasi et al., 2010).

Em consequência da atual expansão do uso da terra e da água, pesquisadores em todo o mundo têm aplicado diversas metodologias para avaliar o impacto antropogênico na qualidade da água superficial em bacias hidrográficas (Menezes et al., 2010; Fao Iwmi, 2018; Moraes e Jordão, 2022). Dentre alguns dos indicadores frequentemente utilizados em análises de monitoramento ambiental e da qualidade das águas, estão: os parâmetros físico-químicos, os índices biológicos e o PAR (Protocolo de Avaliação Rápida).

Os parâmetros físico-químicos auxiliam na avaliação e no monitoramento dos corpos d'água, detectando os efeitos das atividades antrópicas na água, sendo, portanto, uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, possibilitando a caracterização e a análise de tendências em bacias hidrográficas (Vargas et al., 2019). As características físicas correspondem à presença de sólidos, enquanto as características químicas referem-se às substâncias dissolvidas na água (Neves et al., 2015). Em termos de legislação, a Resolução CONAMA nº 375/2005, determina os parâmetros físico-químicos como o principal instrumento de avaliação da qualidade das águas no Brasil, apresentando os Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada parâmetro com relação a qualidade das águas superficiais.

Índices biológicos são, também, frequentemente utilizados como uma forma de verificar a qualidade das águas superficiais (Silva, 2016). Atualmente, um dos índices mais empregados na América do Sul é o *Biological Monitoring Working Party Score System* (BMWP Score System), proposto por Armitage et al. (1983). No cálculo do BMWP, considera-se a presença das famílias de macroinvertebrados aquáticos, sendo atribuído para cada uma das famílias identificadas, um valor de 1 a 10 de acordo com o nível de tolerância pré-definida pelo índice em uma escala crescente de sensibilidade à poluição. O resultado obtido indicará o índice da qualidade da água, que vai de “ótima” a “muito crítica”.

Junto às avaliações da qualidade das águas, a inspeção do entorno dos corpos d'água é fundamental no que tange verificar a presença de fontes de impactos. Os Protocolos de Avaliação Rápida – PAR, vêm sendo utilizados visando avaliar a diversidade de habitats por meio da inspeção visual das características ecológicas e de habitat desses ambientes. Essa metodologia foi proposta inicialmente por Hannaford et al. (1997), sendo utilizada atualmente como base principal para trabalhos envolvendo a verificação da qualidade ambiental dos ecossistemas aquáticos. O PAR caracteriza-se por ser uma espécie de checklist, constituído por parâmetros e categorias que serão avaliadas junto às regiões de interesse. Cada categoria apresenta determinada pontuação conforme o estado de degradação de cada parâmetro avaliado. O resultado do protocolo, que será o somatório de cada parâmetro, indica o grau de conservação dos locais, podendo ser classificados como ambientes “impactados”, “alterados” ou “naturais” (Callisto et al., 2002).

As comunidades de macroinvertebrados bentônicos constituem um importante grupo de organismos encontrados em sedimentos de fundo, abaixo da coluna d'água, sendo componentes-chave em qualquer

ecossistema aquático (Hentges et al., 2021). Estes organismos são constantemente utilizados em estudos de biomonitoramento (Bonada et al., 2006; Silveira e Queiroz, 2006; Hering et al., 2004) uma vez que estes são capazes de nos revelar os níveis de integridade ambiental de uma região visto que alguns grupos são extremamente sensíveis a mudanças físicas, bem como a exposição de diferentes tipos de concentrações de poluentes no ambiente, enquanto outros táxons apresentam maior tolerância à contaminação (Buss et al., 2003; Goulart e Callisto, 2003; Gonçalves e Aranha, 2004). Dessa forma, a predominância de determinados táxons, é capaz de nos revelar as condições ambientais e da qualidade da água, possibilitando estimar os efeitos da poluição sobre o curso d'água de maneira integral (Guimarães et al., 2017). Neste contexto, visando manter a qualidade dos ambientes aquáticos e sua biodiversidade, torna-se necessária a aplicação de indicadores ambientais, considerando que a riqueza, abundância e composição das comunidades aquáticas estão fortemente relacionadas à integridade ecológica (Strieder et al., 2006).

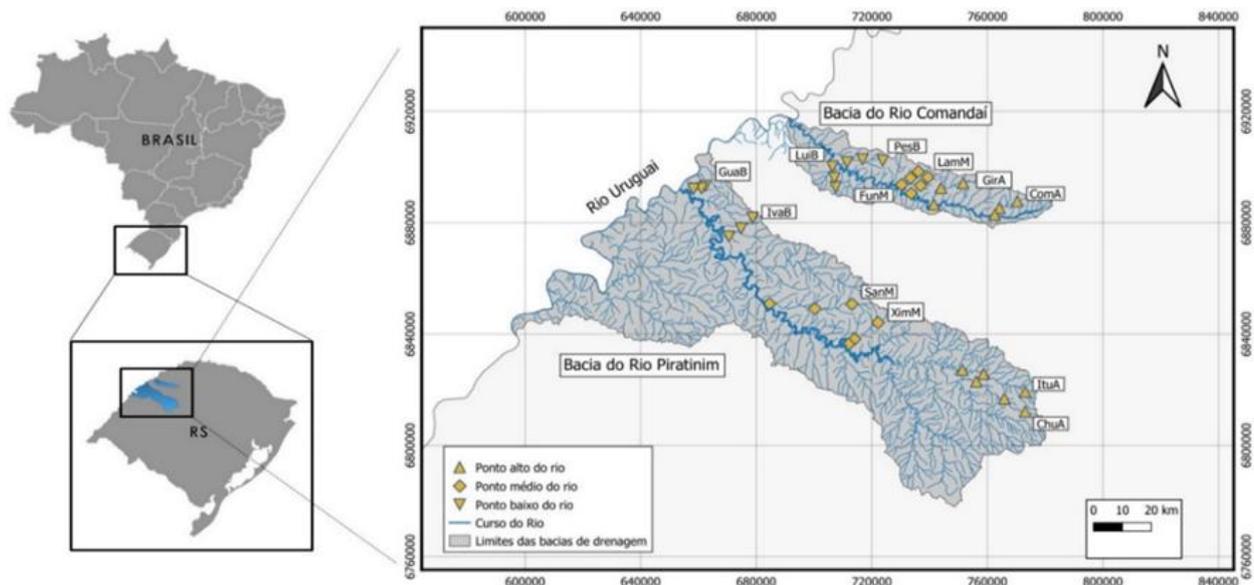
O presente estudo foi desenvolvido nos principais riachos das sub-bacias dos rios Piratinim e Comandaí, dois importantes afluentes do médio rio Uruguai, na região Noroeste do Rio Grande do Sul, Brasil. As águas superficiais são de extrema importância nesta região, uma vez que são fontes de água utilizada para consumo humano, dessedentação animal e destinada às atividades da agricultura. Neste contexto, o artigo tem como objetivo avaliar a qualidade da água e do ambiente nos principais riachos das duas sub-bacias hidrográficas e apresentar os resultados das avaliações, comparando diferentes metodologias aplicadas e tentando correlacioná-las.

2. Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

O presente trabalho foi realizado nos principais riachos das sub-bacias hidrográficas dos rios Piratinim (28°00' a 29°05'; 54°05' a 56°00'), e Comandaí (27°07' a 28°13'; 53°24' a 55°20'), afluentes do médio rio Uruguai, localizados na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1).

Figura 1 - Localização dos 36 pontos de amostragem, distribuídos em 12 riachos nas sub-bacias hidrográficas dos rios Piratinim e Comandaí (RS, Brasil).



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

A sub-bacia do rio Piratinim possui uma área de drenagem com aproximadamente 7.596,07 km², abrangendo 15 municípios (SEMA, 2009; SEMA, 2020) e está situada predominantemente no bioma Pampa. A sub-bacia do rio Comandaí, que se localiza ao sul da bacia hidrográfica dos rios Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo, conta com uma área de drenagem de 1.431 km², compreendendo 52 municípios total ou parcialmente (FEPAM, 2004) e caracteriza-se por apresentar em sua maior parte o bioma Mata Atlântica, com algumas áreas de transição entre os biomas Pampa e Mata Atlântica.

O uso principal da água na região do estudo é destinado às atividades da agricultura (irrigação), pecuária (dessedentação animal) e consumo humano (abastecimento público) (DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2012; SEMA, 2009). Ressalta-se que a região pertencente a sub-bacia do rio Comandaí apresenta maior número de áreas agrícolas, enquanto na sub-bacia do rio Piratinim predominam campos de pastagem, em virtude da região (Bioma Pampa) ser propício para a prática da pecuária.

O presente estudo compreendeu os riachos Chuni, Ximbocu, Santana, Itu, Guaracapa, Ivaí; Comandaízinho, Giruá, Lamberdor, Fundão, Pessegueiro e Luiza. A fim de facilitar a compreensão a respeito dos locais de coleta, foram definidas categorias que são descritas a seguir. Para o nome dos riachos foram utilizadas as três primeiras letras de seu nome. Para englobar as diferentes regiões das bacias, classificou-se como “A” para as regiões altas, “M” para as regiões médias e “B” para as regiões baixas das sub-bacias.

2.2 Amostragem dos dados:

As coletas das amostras de água ocorreram no mês de outubro de 2021, durante a estação primavera. A área investigada corresponde as três principais regiões (alta, média e baixa) das sub-bacias hidrográficas avaliadas, sendo selecionados dois riachos para cada uma das três principais regiões dos rios Piratinim e Comandaí, totalizando desta forma 12 riachos. Para cada riacho foram amostrados três pontos: nascente, intermediário e foz, obtendo-se um total de 36 pontos amostrais (Figura 1). Os pontos de amostragens foram previamente selecionados através de imagens de satélite, obtidas através da plataforma Google Earth Pro (versão 7.3.4.8248).

Um medidor multiparâmetros (YSI Professional Plus) foi utilizado para medir os parâmetros abióticos temperatura da água (°C) e oxigênio dissolvido (mg/L), in situ. Os demais parâmetros físico-químicos foram analisados posteriormente, ex situ, em laboratório. As amostras com o material coletado foram armazenadas em frascos de vidro âmbar de 1 litro, previamente esterilizados e devidamente identificados com etiquetas contendo informações referentes aos locais de coleta, para posterior análise junto ao Laboratório de Águas e Ecotoxicologia da Universidade Federal Fronteira Sul - UFFS, *Campus* Cerro Largo, RS. Os procedimentos de coleta e preservação das amostras seguiram como base o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2011). Todas as análises seguiram os procedimentos metodológicos do Standard Methods da American Public Health Association (APHA, 2005; 2012; Tabela 1).

A interpretação dos resultados dos fatores físico-químicos levou em consideração os Valores Máximos Permitidos (VMP) em legislação. Para tanto, utilizou-se como base os valores de referência para qualidade das águas de Classe II, citados junto a Resolução CONAMA nº 357/2005 que estabelece a classificação dos corpos d'água e as diretrizes ambientais para estes.

Tabela 1- Procedimentos metodológicos para avaliação dos parâmetros físico-químicos analisados nos 36 pontos amostrais, nas sub-bacias hidrográficas dos rios Piratinim e Comandaí, RS, Brasil.

| Parâmetros | Equipamento | Referência |
|---|-----------------------------|---------------------|
| Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹) | Sonda YSI Professional Plus | 4500 G (APHA, 2005) |
| Temperatura (°C) | Sonda YSI Professional Plus | 2550 B (APHA, 2005) |
| pH | pHmêtro HACH® | 4500 (APHA, 2012) |
| Condutividade elétrica (uS cm ⁻¹) | Condutivímetro | 2510 B (APHA, 2005) |

| | | |
|-------------------------------------|--|---------------------|
| Cor aparente (uH) | Colorímetro DLA – COR | 2120 (APHA, 2012) |
| Turbidez (uT) | Turbidímetro PoliControl AP 2000 | 2130 (APHA, 2012) |
| Resíduo total (mg L ⁻¹) | Forno Mufla N1200 JUNG, Estufa SOLAB SL | 2540 B (APHA, 2012) |
| Nitrato (mg L ⁻¹) | Evolution 201 UV-Visible Spectrophotometer | 4500 B (APHA, 2005) |
| Sólidos sedimentáveis (mL/L) | Cone Imhoff | 2540 F (APHA, 2005) |

Fonte: elaborado pelos autores (2023)

As coletas dos espécimes de macroinvertebrados nos principais riachos das sub-bacias dos rios Comandá e Piratinim, ocorreram durante a estação primavera, nos meses de setembro a novembro, nos anos de 2016 e 2017, respectivamente. As coletas foram realizadas com o auxílio de pucá aquático – “dipnet” (malha de 250 µm). Durante as coletas, buscou-se explorar todo tipo de habitat presente nos locais, como: margens, lama, vegetação, fundos rochosos e arenosos. Com o intuito de coletar um maior número de indivíduos, buscou-se revirar as pedras/rochas e outros sedimentos dispostos no fundo dos riachos, a fim de desprender os espécimes presos nestes sedimentos. O material biológico coletado foi disposto ainda no local de coleta em bandejas de coloração clara a fim de selecionar os indivíduos do substrato com o auxílio de pinças de ponta fina (pré-triagem).

Após a triagem, os indivíduos de macroinvertebrados foram acondicionados imediatamente em frascos de vidro devidamente identificados, contendo álcool etílico 70%, para posterior identificação dos espécimes em laboratório. Foi empregado um esforço amostral de 30-45 minutos para a coleta de macroinvertebrados em cada local. No laboratório, os indivíduos coletados foram analisadas com o auxílio do estereomicroscópio com aumento de até 45 vezes, sendo a identificação das amostras feita sempre que possível até o nível de família. Para a determinação taxonômica utilizou-se como base as seguintes referências: McCafferty (1981), Merritt; Cummins (1984), Lopretto; Tell (1995), Fernández; Domínguez (2001), Pes et al. (2005), Benetti et al. (2006), Costa et al. (2006), Lecci e Froehlich (2007), Mariano e Froehlich (2007), Pereira et al. (2007), Pinho (2008), Souza et al. (2007), Mugnai et al. (2010), Segura et al. (2011), Hamada et al. (2014). O material-testemunho está disponível no Laboratório de Zoologia da Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus Cerro Largo*, RS.

Com relação a análise da variável biológica através do Índice Biological Monitoring Working Party score system - BMWP, calculou-se a qualidade das águas dos trechos dos riachos estudados e analisou-se os resultados obtidos conforme os valores de referência e as classes de enquadramento descritos no respectivo índice, conforme mostra a tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2. Classes de qualidade da água e valores de referência de acordo com o índice BMWP.

| Valor | Qualidade da água |
|---------|--------------------------|
| >150 | Classe I -Ótima |
| 101-149 | Classe II -Boa |
| 61-100 | Classe III -Aceitável |
| 36-60 | Classe IV -Duvidosa |
| 16-35 | Classe V -Crítica |
| <15 | Classe VI -Muito Crítica |

Fonte: elaborado pelos autores com base no respectivo índice (2023).

Quanto a caracterização das condições ambientais dos riachos, utilizou-se como ferramenta metodológica o "Protocolo de Avaliação Rápida de Rios" (PARs) (Quadro 1) da diversidade de habitats, sugerido por Callisto et al. (2002), o qual foi modificado de Hannaford et al. (1997). Este protocolo é capaz de analisar de forma integrada os ecossistemas lóticos, através de uma metodologia fácil, simples e rápida, que por meio da inspeção visual dos pontos amostrais, analisa-se características ecológicas e de habitat com fins de avaliar a qualidade ambiental das regiões de interesse.

Quadro 1. Pontuação do PAR de acordo com os níveis de perturbação.

| Pontuação | Nível de Perturbação |
|-----------|----------------------|
| 0-40 | Impactado |
| 41-60 | Alterado |
| ≥ 61 | Natural |

Fonte: elaborado pelos autores com base no respectivo índice (2023).

O PAR utilizado é composto de duas tabelas, uma contemplando características ecológicas e outra de habitats. Na primeira, é atribuído as pontuações 4 (natural), 2 (mediano) e 0 (pobre) pontos, englobando 10 parâmetros, representando 40% do PAR. Já para a segunda tabela, temos um total de 12 parâmetros e 4 categorias, sendo as possíveis pontuações 5 (natural), 3 (levemente alterado), 2 (moderadamente alterado) e 0 (extremamente alterado), correspondendo à 60% do protocolo (Anexo A). O resultado do protocolo busca indicar o grau de conservação dos trechos dos riachos estudados, sendo atribuídas as classes das pontuações conforme a tabela 2 demonstra.

2.3 Análise de dados:

A ANOVA bifatorial foi usada para testar diferenças significativas entre os diferentes trechos dos riachos e entre as duas sub-bacias (Piratinim e Comandaí) em relação ao ambiente abiótico e fatores, bem como o teste de Tukey a 5% de significância, para identificar as respectivas desigualdades. Além disso, a média e o desvio padrão dos parâmetros investigados foram calculados. Essas análises foram realizadas usando o software Statistica 7.0.

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi usada para avaliar semelhanças de fatores abióticos e índices entre os pontos de amostragem (Legendre & Legendre, 1998). Uma vez que muitas das variáveis estão inter-relacionadas, a PCA permite uma redução em grupos estatisticamente independentes ou componentes principais (PCs) (McCreadie et al., 1995). Antes de aplicar a PCA, uma matriz de correlação foi usada para identificar os fatores altamente correlacionados, fatores altamente correlacionados foram removidos. Os eixos da PCA com autovalores maiores que 1,0 foram aceitos para interpretação de acordo com o critério de Kaiser-Guttman, e apenas variáveis de autovetores maiores do que 0,4 foram considerados estruturalmente representativos (Jackson, 1993). A Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada com o software PC-ORD (versão 5.0).

3. Resultados e Discussão

3.1 Resultado dos parâmetros físico-químicos analisados

Na tabela 3 estão demonstradas as análises físicas e químicas das águas superficiais obtidas junto às sub-bacias hidrográficas dos rios Piratinim e Comandaí, na estação da primavera de 2022.

Tabela 3. Resultado dos parâmetros físico-químicos analisados em 12 riachos, totalizando 36 pontos amostrais, nas sub-bacias dos rios Piratiniim e Comandaí, RS, Brasil.

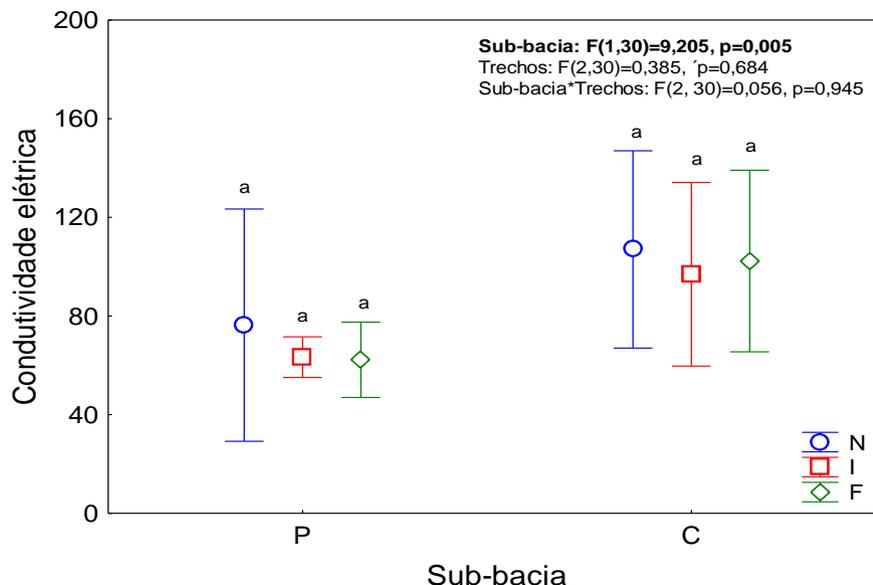
| BACIA | RIACHO | PONTO | OD | pH | CE | COR | TURB | NIT | RT | SS | TEMP |
|------------|---------------|---------------|-------|------|--------|--------|-------|------|--------|------|-------|
| Piratiniim | Chuni | Nascente | 11,08 | 7,59 | 163,13 | 9,00 | 11,00 | 0,11 | 160,00 | 0,00 | 17,40 |
| | Chuni | Intermediário | 11,14 | 7,15 | 65,89 | 105,00 | 19,00 | 0,10 | 200,00 | 0,10 | 20,50 |
| | Chuni | Foz | 10,70 | 7,00 | 65,69 | 11,00 | 19,00 | 0,01 | 210,00 | 0,10 | 19,90 |
| | Itu | Nascente | 10,51 | 6,50 | 58,27 | 11,00 | 16,00 | 0,10 | 100,00 | 0,00 | 17,10 |
| | Itu | Intermediário | 10,70 | 6,61 | 74,38 | 105,00 | 18,00 | 0,11 | 180,00 | 0,00 | 18,20 |
| | Itu | Foz | 11,02 | 6,74 | 75,79 | 134,67 | 21,00 | 0,10 | 180,00 | 0,00 | 18,40 |
| | Ximbocu | Nascente | 10,25 | 7,10 | 63,59 | 153,00 | 25,00 | 0,02 | 170,00 | 0,10 | 18,90 |
| | Ximbocu | Intermediário | 10,22 | 7,32 | 59,89 | 303,67 | 36,00 | 0,08 | 250,00 | 0,12 | 19,00 |
| | Ximbocu | Foz | 10,50 | 7,80 | 75,30 | 424,33 | 61,00 | 0,05 | 190,00 | 0,10 | 19,30 |
| | Santana | Nascente | 10,00 | 6,95 | 56,8 | 155,00 | 35,00 | 0,09 | 150,00 | 0,00 | 20,70 |
| | Santana | Intermediário | 10,36 | 7,07 | 55,06 | 161,33 | 31,00 | 0,05 | 100,00 | 0,10 | 19,30 |
| | Santana | Foz | 10,45 | 7,02 | 56,37 | 177,00 | 34,00 | 0,07 | 140,00 | 0,10 | 19,50 |
| | Ivaí | Nascente | 10,49 | 5,99 | 35,66 | 105,00 | 26,00 | 0,51 | 150,00 | 0,00 | 17,20 |
| | Ivaí | Intermediário | 10,28 | 6,41 | 55,38 | 105,00 | 20,00 | 0,11 | 170,00 | 0,00 | 17,90 |
| | Ivaí | Foz | 10,60 | 6,63 | 36,62 | 11,00 | 16,00 | 0,18 | 230,00 | 0,00 | 17,70 |
| | Guaracapa | Nascente | 10,59 | 6,73 | 80,35 | 11,00 | 16,00 | 0,07 | 190,00 | 0,00 | 19,40 |
| | Guaracapa | Intermediário | 10,51 | 6,66 | 69,4 | 11,00 | 17,00 | 0,09 | 150,00 | 0,00 | 19,30 |
| | Guaracapa | Foz | 10,41 | 6,48 | 63,8 | 105,00 | 19,00 | 0,07 | 160,00 | 0,00 | 19,40 |
| Comandaí | Comandaízinho | Nascente | 10,28 | 6,31 | 41,5 | 154,00 | 29,00 | 0,14 | 130,00 | 0,10 | 18,10 |
| | Comandaízinho | Intermediário | 10,72 | 6,35 | 50,3 | 105,00 | 24,00 | 0,06 | 180,00 | 0,10 | 17,20 |
| | Comandaízinho | Foz | 10,30 | 6,36 | 54,42 | 105,00 | 28,00 | 0,06 | 180,00 | 0,10 | 17,50 |
| | Giruá | Nascente | 10,33 | 7,42 | 73,95 | 500,00 | 63,00 | 0,08 | 230,00 | 0,18 | 21,04 |
| | Giruá | Intermediário | 10,22 | 6,73 | 66,8 | 202,00 | 33,00 | 0,11 | 180,00 | 0,12 | 20,00 |
| | Giruá | Foz | 10,65 | 6,59 | 71,14 | 235,33 | 39,00 | 0,14 | 190,00 | 0,15 | 19,90 |
| | Lambedor | Nascente | 10,29 | 6,72 | 98,94 | 105,00 | 19,00 | 0,17 | 140,00 | 0,16 | 21,20 |
| | Lambedor | Intermediário | 10,34 | 6,57 | 89,70 | 10,33 | 17,00 | 0,22 | 240,00 | 0,12 | 20,40 |
| | Lambedor | Foz | 9,85 | 6,51 | 93,81 | 105,00 | 28,00 | 0,12 | 190,00 | 0,18 | 20,70 |
| | Fundão | Nascente | 10,41 | 6,48 | 105,94 | 9,33 | 15,00 | 0,17 | 130,00 | 0,10 | 20,90 |
| | Fundão | Intermediário | 10,60 | 6,57 | 104,95 | 10,67 | 19,00 | 0,17 | 160,00 | 0,12 | 20,20 |
| | Fundão | Foz | 10,41 | 7,28 | 120,39 | 11,00 | 16,00 | 0,21 | 170,00 | 0,00 | 19,00 |
| | Pessegueiro | Nascente | 11,19 | 6,98 | 174,58 | 8,00 | 5,00 | 0,39 | 140,00 | 0,00 | 18,70 |
| | Pessegueiro | Intermediário | 11,19 | 7,14 | 145,24 | 8,33 | 3,00 | 0,44 | 180,00 | 0,10 | 19,10 |
| | Pessegueiro | Foz | 10,66 | 7,05 | 143,05 | 8,33 | 6,00 | 0,19 | 230,00 | 0,14 | 20,00 |
| | Luiza | Nascente | 9,45 | 6,93 | 148,01 | 8,33 | 2,00 | 0,03 | 220,00 | 0,10 | 23,10 |
| | Luiza | Intermediário | 9,95 | 7,09 | 124,53 | 8,00 | 7,00 | 0,31 | 240,00 | 0,10 | 20,10 |
| | Luiza | Foz | 10,22 | 7,06 | 131,09 | 8,67 | 10,00 | 0,18 | 240,00 | 0,10 | 19,20 |

Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Legenda: OD: oxigênio dissolvido; pH: potencial hidrogeniônico; CE: condutividade elétrica; TURB: turbidez; NIT: nitrato; RT: resíduo total; SS: sólidos sedimentáveis; TEMP: temperatura.

A análise de variância bi-fatorial aplicada aos diferentes fatores da qualidade da água apenas mostrou diferenças significativas para a condutividade elétrica. Este fator mostrou diferenças significativas entre as duas sub-bacias, com valores mais altos no Comandaí ($P < 0,05$; Figura 2).

Figura 2. Análise de Variância Bifatorial aplicada aos dados da condutividade elétrica considerando os fatores independentes sub-bacia e trecho de rio de dados coletados em riachos das Sub-bacias do rio Piratinim (P) e Comandaí (C).



Legenda: Trechos: N - Nascente, I - Intermediário, F Foz. O resultado da anova bifatorial significativo está exposto em negrito.

Apesar da ausência de diferença estatística nos demais parâmetros físico-químicos avaliados ($P > 0,05$), foram observadas algumas tendências como valores mais altos de turbidez, cor da água e sólidos suspensos nos riachos do Piratinim do que no Comandaí (Tabela 3).

Os valores dos diferentes fatores físico-químicos de qualidade da água estiveram, em sua maioria, de acordo com a Resolução do CONAMA. Apenas, o trecho de nascente do arroio Ivaí (sub-bacia do Piratinim) ficou com pontuação inferior (5,99) ao estipulado para a variável pH na referida Resolução (valor norteador de 6 a 9), estando muito próximo do limite descrito na referida Resolução.

3.2 Composição taxonômica e análise da qualidade da água através do cálculo do índice BMWP

Foram analisados 5.831 macroinvertebrados bentônicos obtidos nos seis riachos da sub-bacia do Piratinim e 3.842 indivíduos capturados nos seis riachos da sub-bacia do rio Comandaí, totalizando 9.673 indivíduos examinados nas duas sub-bacias. Entre os macroinvertebrados obtidos estão representantes aquáticos e semi-aquáticos, sendo distribuídos em 73 táxons, os quais incluem representantes dos filos Platyhelminthes, Nematomorpha, Anellida, Mollusca, Insecta, Crustacea e outros Arthropoda.

Os táxons mais abundantes foram Hydropsychidae, Simuliidae, Baetidae e Chironomidae. Acerca da frequência dos táxons, Baetidae foi a única família encontrada em todos os locais de coleta. Outras famílias muito frequentes foram Chironomidae, Hydropsychidae, Simuliidae e Leptophlebiidae presentes em quase todos os pontos de amostragem.

O índice BMWP aplicado na sub-bacia do rio Piratinim e Comandaí variou entre as classes de qualidade da água “aceitável” e “ótimo”. Na sub-bacia do rio Piratinim 11% dos pontos amostrais apresentaram qualidade da água “ótima” e no Comandaí apenas 6% dos pontos apresentaram essa condição. Ressalta-se que os trechos

de nascente dos seis riachos verificados na sub-bacia do rio Piratinim tiveram pontuação superior a 100, o que indica uma qualidade no mínimo “boa”. Já na sub-bacia do rio Comandaí, apenas dois riachos dos seis verificados ultrapassaram os 100 pontos nos trechos de nascente, enquanto os demais pontos de nascente apresentaram qualidade considerada “aceitável” (Tabelas 2 e 4).

Tabela 4. Resultado do índice biológico BMWP de qualidade da água com relação a comunidade de macroinvertebrados bentônicos, aplicados em 12 riachos, totalizando 36 pontos amostrais, nas sub-bacias dos rios Piratinim e Comandaí, RS, Brasil.

| Bacia | Região | Trecho | Riacho | Valor | Classe |
|-----------|--------|---------------|---------------|-------|--------|
| Piratinim | Alta | Nascente | Chuní | 124 | II |
| | | Intermediário | | 154 | II |
| | | Foz | | 104 | II |
| | | Nascente | Itú | 111 | II |
| | | Intermediário | | 94 | III |
| | | Foz | | 130 | II |
| | Média | Nascente | Ximbocu | 110 | II |
| | | Intermediário | | 85 | III |
| | | Foz | | 91 | III |
| | | Nascente | Santana | 177 | I |
| | | Intermediário | | 74 | III |
| | | Foz | | 75 | III |
| | Baixa | Nascente | Ivaí | 127 | III |
| | | Intermediário | | 143 | III |
| | | Foz | | 120 | III |
| | | Nascente | Guaracapa | 153 | I |
| | | Intermediário | | 137 | II |
| | | Foz | | 100 | III |
| Comandaí | Alta | Nascente | Comandaízinho | 70 | III |
| | | Intermediário | | 118 | II |
| | | Foz | | 81 | III |
| | | Nascente | Giruá | 99 | III |
| | | Intermediário | | 84 | III |
| | | Foz | | 96 | III |
| | Média | Nascente | Lambedor | 81 | III |
| | | Intermediário | | 129 | II |
| | | Foz | | 97 | III |
| | | Nascente | Fundão | 90 | II |
| | | Intermediário | | 66 | III |
| | | Foz | | | |

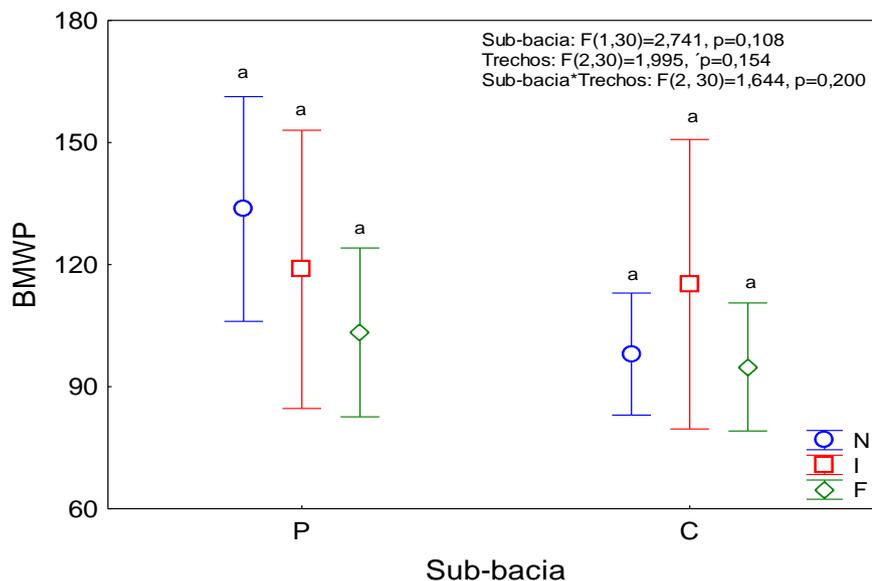
| | | | | |
|-------|---------------|-------------|-----|-----|
| | Foz | | 74 | III |
| | Nascente | | 107 | II |
| | Intermediário | Pessegueiro | 155 | I |
| | Foz | | 111 | II |
| Baixa | Nascente | | 128 | II |
| | Intermediário | Luiza | 139 | II |
| | Foz | | 110 | II |

Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Legenda: Classes BMWP: I – Ótima; II – Boa; III – Aceitável; IV – Duvidosa; V – Crítica; VI – Muito Crítica.

Apesar de não ter sido verificadas diferenças estatísticas na ANOVA bi-fatorial algumas tendências foram observadas: o valor médio do BMWP foi maior na sub-bacia do Piratinim do que no Comandaí; no Piratinim o índice foi piorando da nascente à foz, já no Comandaí os valores de nascente e foz foram os mais baixos (Figura 3).

Figura 3. Análise de Variância Bifatorial aplicada aos dados do BMWP (Biological Monitoring Working Party) considerando os fatores independentes sub-bacia e trecho de rio de dados coletados em riachos das Sub-bacias do rio Piratinim (P) e Comandaí (C).



Legenda: Trechos: N - Nascente, I - Intermediário, F - Foz.

3.3 Resultado da aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida – PAR

Na Tabela 5 é apresentada a pontuação de cada trecho amostral quanto às variáveis ambientais verificadas bem como o somatório destas. Observou-se que os pontos Comandaízinho nascente (51 pontos) e Ximbocu intermediário (41 pontos) foram os únicos trechos que apresentaram pontuação baixa, indicando, respectivamente, ambientes com o nível de perturbação de “alterado” e “impactado” junto as sub-bacias do Comandaí e Piratinim respectivamente. O restante dos trechos apresentaram pontuação igual ou superior a 61

pontos, sendo classificados como ambientes “naturais”. Os trechos que apresentaram maior pontuação nas sub-bacias do Piratinim e Comandaí, respectivamente, foram os pontos dos riachos Itu intermediário com 77 pontos e Luiza intermediário com 73 pontos.

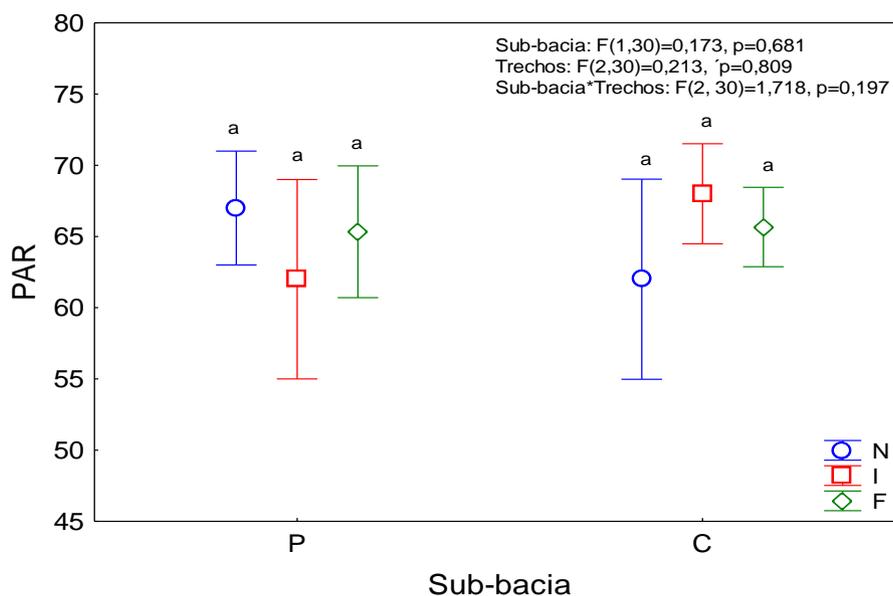
Tabela 5. Resultado do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), aplicado em 12 riachos, totalizando 36 pontos amostrais, nas sub-bacias dos rios Piratinim e Comandaí, RS, Brasil.

| BACIA | RIACHO | PONTO | VARIÁVEIS ECOLÓGICAS | VARIÁVEIS DE HABITAT | TOTAL |
|-----------|---------------|---------------|----------------------|----------------------|-----------|
| PIRATINIM | Chuni | Nascente | 36 | 35 | 71 |
| | Chuni | Intermediário | 32 | 34 | 66 |
| | Chuni | Foz | 36 | 27 | 63 |
| | Itu | Nascente | 32 | 29 | 61 |
| | Itu | Intermediário | 36 | 41 | 77 |
| | Itu | Foz | 36 | 36 | 72 |
| | Ximbocu | Nascente | 32 | 29 | 61 |
| | Ximbocu | Intermediário | 22 | 19 | 41 |
| | Ximbocu | Foz | 36 | 31 | 67 |
| | Santana | Nascente | 30 | 36 | 66 |
| | Santana | Intermediário | 34 | 29 | 63 |
| | Santana | Foz | 32 | 29 | 61 |
| | Ivaí | Nascente | 34 | 39 | 73 |
| | Ivaí | Intermediário | 36 | 26 | 62 |
| | Ivaí | Foz | 36 | 25 | 61 |
| | Guaracapa | Nascente | 36 | 26 | 62 |
| | Guaracapa | Intermediário | 36 | 27 | 63 |
| | Guaracapa | Foz | 34 | 34 | 68 |
| COMANDAÍ | Comandaízinho | Nascente | 30 | 21 | 51 |
| | Comandaízinho | Intermediário | 36 | 32 | 68 |
| | Comandaízinho | Foz | 32 | 32 | 64 |
| | Giruá | Nascente | 30 | 31 | 61 |
| | Giruá | Intermediário | 34 | 32 | 66 |
| | Giruá | Foz | 32 | 30 | 62 |
| | Lambedor | Nascente | 36 | 26 | 62 |
| | Lambedor | Intermediário | 32 | 37 | 69 |
| | Lambedor | Foz | 34 | 34 | 68 |
| | Fundão | Nascente | 34 | 29 | 63 |
| | Fundão | Intermediário | 34 | 29 | 63 |
| | Fundão | Foz | 32 | 32 | 64 |
| | Pessegueiro | Nascente | 34 | 38 | 72 |
| | Pessegueiro | Intermediário | 34 | 35 | 69 |
| | Pessegueiro | Foz | 32 | 36 | 68 |

| | | | | |
|-------|---------------|----|----|-----------|
| Luiza | Nascente | 32 | 31 | 63 |
| Luiza | Intermediário | 38 | 35 | 73 |
| Luiza | Foz | 34 | 34 | 68 |

A análise de variância bi-fatorial não mostrou diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os valores de PAR nas sub-bacias e trechos. Apesar disso, foi observado que a média do PAR dos pontos de nascente nos riachos do Comandaí tende a ser menores do que os outros trechos dos riachos. Essa tendência não foi verificada nos pontos de nascente dos riachos da sub-bacia do Piratinim (Figura 4).

Figura 4. Análise de Variância Bifatorial aplicada aos dados do PAR (Protocolo de Avaliação Rápida) considerando os fatores independentes sub-bacia e trecho de rio de dados coletados em riachos das Sub-bacias do rio Piratinim (P) e Comandaí (C).

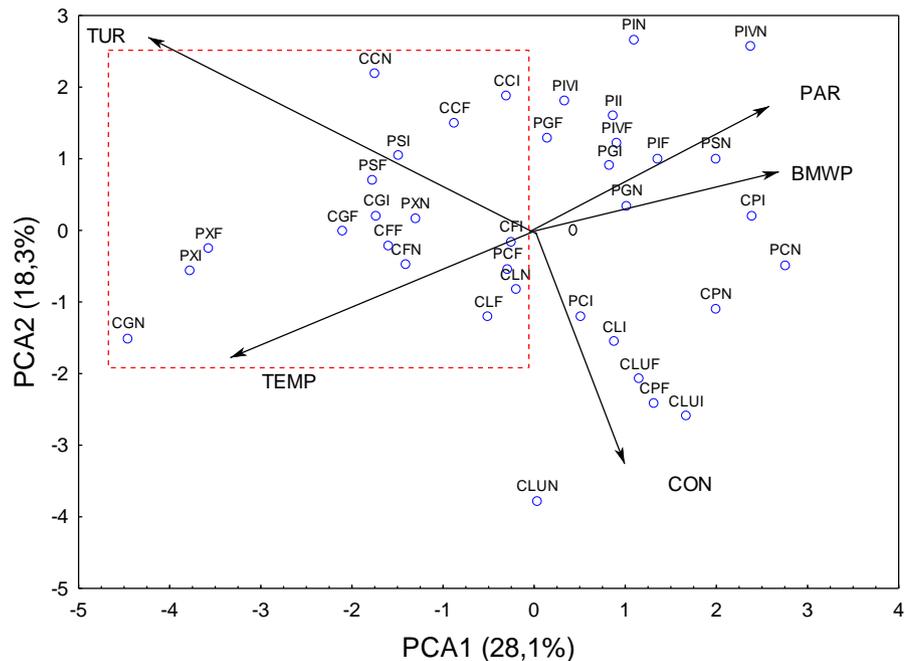


3.4 Correlação entre as variáveis bióticas e abióticas

Foram retidos os dois primeiros eixos da PCA, estes eixos explicam 46,4% da variabilidade dos dados coletados. A PCA1 mostra uma segregação dos pontos de amostragem de acordo principalmente com os índices PAR e BMWP. Os pontos que apresentaram maiores valores destes índices se encontram no lado esquerdo do biplot com destaque para vários pontos do Piratinim e os que apresentaram menores valores estão segregados no lado direito e se encontram agrupados em destaque na Figura 5.

A PCA2 mostrou informação complementar sobre a distribuição espacial dos dados. A maior parte dos pontos da sub-bacia Piratinim se encontram na parte superior do biplot caracterizados pela sua maior turbidez da água, já a parte inferior do biplot apresenta os pontos do Comandaí caracterizados pela maior temperatura e condutividade elétrica da água. A relevância dos fatores estruturantes da PCA pode ser verificada através da sua correlação com os eixos na Tabela 6.

Figura 5. Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada a matriz de dados bióticos e abióticos



coletados em riachos das sub-bacias do rio Piratinim e Comandai, RS, Brasil.

Tabela 6. Resultado da Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada a matriz de dados bióticos e abióticos coletados em riachos das sub-bacias do rio Piratinim e Comandai, RS, Brasil. Para cada eixo são mostrados o autovalor, a variância explicada e acumulada e o autovetor dos fatores abióticos. Valores em negrito mostram correlações significativas dos fatores com o eixo ($P < 0,05$).

| Fatores | PCA1 | PCA2 |
|------------------------|-------------|--------------|
| Autovalor | 2,35 | 1,98 |
| BMWP | 0,75 | 0,21 |
| Condutividade elétrica | 0,08 | -0,79 |
| Oxigênio dissolvido | 0,14 | -0,07 |
| PAR | 0,42 | 0,35 |
| Temperatura | -0,28 | -0,42 |
| Turbidez | -0,38 | 0,45 |

Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Quanto aos resultados dos parâmetros físico-químicos, a maior parte dos pontos do Piratinim caracterizam-se por apresentar maior turbidez (cor da água e presença de resíduos) do que os trechos do Comandai (Figura 5), provavelmente por conta das margens erodidas presente em alguns trechos devido ao desflorestamento para as atividades de dessedentação animal. Apesar disso, os parâmetros físico-químicos estavam de acordo com os valores de referência descritos na Resolução CONAMA nº 357/2005 e não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as bacias e os trechos, à exceção da Condutividade elétrica.

A condutividade elétrica (CE) refere-se à capacidade de uma solução conduzir determinada corrente elétrica, ou seja, quanto maior a concentração de íons na água, maior será a condutividade elétrica. A CE, que embora não esteja dentro das variáveis utilizadas na avaliação da qualidade das águas superficiais de Classe 2 pela Resolução CONAMA nº 375/2005, é apontado por diversos autores como um indicador da presença de poluentes quando estes se encontram acima de 100 uS cm^{-1} (Von Sperling, 2007; Gasparotto, 2011; Freddo Filho, 2018). Nessa perspectiva, as análises evidenciaram 10 trechos com valores acima do recomendado, variando de 104,95 até $174,58 \text{ uS cm}^{-1}$, indicando, dessa forma, certo nível de poluição presente na sub-bacia do rio Piratinim no arroio Chuni (Nascente), e na sub-bacia do rio Comandaí nos arroios Fundão, Pessegueiro e Luiza (Nascente, Intermediário e Foz).

Conforme Esteves (2011) e Von Sperling (2005), o uso do solo pode modificar a composição da água alterando a condutividade elétrica. Dessa forma, acredita-se que os 10 trechos que apresentaram valores acima do recomendado, são, provavelmente, decorrentes da ação humana, provocadas, principalmente pelas atividades do setor agrícola e da pecuária, que acontecem com frequência e de forma intensiva próximo das margens dos arroios. Sabe-se também que a condutividade elétrica é uma variável que aumenta à medida que mais sólidos com capacidade de se dissolver na água são adicionados, especialmente em estado coloidal orgânico e inorgânico, podendo também ser um indicativo da presença de lançamento de efluentes provindos de redes de esgotos (CETESB, 2016). Em um estudo similar realizado por Milz et al., (2022), obteve-se, também, maiores níveis de CE em ambientes com acúmulo de poluição oriundos de ações antrópicas, evidenciando a influência da degradação do ambiente frente aos valores altos verificados nesse fator.

Deve-se também considerar a influência da composição do solo (geologia) com relação a condutividade elétrica, uma vez que a estrutura deste tende a influenciar no resultado dessa variável (Pedrosa & Rezende, 1999). Solos mais arenosos e, portanto, com menor disponibilidade nutricional, tendem a apresentar menor condutividade elétrica, comparados com solos onde a presença de argila, por exemplo, é mais abundante, acarretando, geralmente, em maior condutividade elétrica. Percebe-se na prática tal influência, uma vez que o arroio Comandaízinho, no seu trecho de nascente, apresentou a menor condutividade elétrica dentre os pontos da sub-bacia do Comandaí, justamente pela ausência de rochas e outros elementos de substrato que acarretaria valores mais altos de CE.

Os resultados da CE podem influenciar na distribuição da fauna (Braun et al., 2014), quando essa variável apresenta valores extremos ou quando está ligada à poluição orgânica e a áreas de cultivo agrícola (Bispo et al., 2006). Os resultados da CE terem sido mais altos na sub-bacia do rio Comandaí, explicam a riqueza e abundância das espécies coletadas. Estudos semelhantes destacando os impactos antrópicos sobre as comunidades aquáticas, evidenciaram resultados semelhantes em virtude do aumento da degradação ambiental, nesse caso representada pela CE (Cunico et al. 2006 e Alexandre et al. 2009). Nota-se que os valores obtidos na CE foram superiores na sub-bacia do rio Comandaí se comparados ao Piratinim, acarretando numa riqueza e abundância menor de organismos amostrados junto a sub-bacia do Comandaí.

Os resultados obtidos frente a comunidade de macroinvertebrados aquáticos revelou grande diversidade e abundância de táxons, apontando para maior abundância e biodiversidade na sub-bacia do rio Piratinim se comparada à sub-bacia do Comandaí. Conforme salienta Callisto et al. (2001), os macroinvertebrados aquáticos como indicadores de qualidade ambiental não podem ser restritos apenas com relação à sua presença em determinado corpo hídrico, mas também à sua abundância dentro da comunidade.

O presente estudo evidenciou através das múltiplas análises, que a qualidade da água verificada junto aos principais riachos das sub-bacias dos rios Piratinim e Comandaí, caracteriza-se como de qualidade considerada “boa” na maior parte dos trechos investigados. Alguns trechos demonstraram qualidade inferior a outros, levando em consideração as análises físico-químicas e biológicas, isto pode ser atribuído a diferentes intervenções antrópicas, decorrentes principalmente do setor agrícola e da pecuária, tendo em vista que a região de estudo está situada em áreas com exploração agropecuária predominante, a qual exerce pressões junto às margens dos cursos d’água (Hentges et al., 2021; Limberger et al., 2021).

Com relação ao cálculo do índice biológico BMWP junto as sub-bacias dos rios Piratinim e Comandaí, conclui-se que houve um predomínio da Classe III o que indica um padrão de qualidade da água “aceitável”, sendo, portanto, mais representativo. As classes correspondentes a qualidade da água “ótima” foram verificadas apenas nos trechos de nascente dos riachos Guaracapa e Santana na sub-bacia do rio Piratinim, e no trecho intermediário do arroio Pessegueiro na sub-bacia Comandaí.

Os resultados podem estar associados ao nível de perturbação que ocorre na região da bacia (Scheeren, 2008) em virtude das atividades presentes na matriz do entorno dos riachos, pois estes estão localizados em área essencialmente rurais, sem influência antrópica urbana ou fontes pontuais de poluição doméstica e/ou industrial. Em contrapartida, os cultivos agrícolas e de criação pecuária, bem como as formas de manejo e uso do solo desenvolvidas próximo às margens dos riachos, representam importantes fontes de impactos não-pontuais aos ambientes aquáticos. Nota-se que a região baixa das sub-bacias do Piratinim e Comandaí foram as que apresentaram melhor qualidade da água com relação as regiões médias e altas. Os valores mais altos do BMWP na região baixa, podem ter relação com as características ecológicas vistas, uma vez que a vegetação ripária nos riachos dessas regiões é mais densa se comparada aos riachos das porções altas e médias da bacia.

Uma tendência hipotética de poluição do rio indicaria uma piora das condições de nascente a foz devido ao acúmulo da matéria orgânica e poluentes. Essa tendência foi observada no resultado do BMWP para a sub-bacia do rio Piratinim, com valores mais altos nos trechos de nascente e uma piora em direção a foz. Não foi essa a tendência observada nos riachos da sub-bacia do rio Comandaí, onde em alguns casos os trechos de nascente apresentaram valores piores do que os trechos intermediário e foz. Acredita-se que os valores baixos obtidos junto aos trechos de nascente da sub-bacia do rio Comandaí, tem relação direta com as condições e uso do solo, tendo em vista que o uso da terra nesses trechos são menos propensos a inundações se comparados aos trechos intermediários e foz, sendo, portanto, mais utilizados para as atividades da agricultura.

Quanto a análise da qualidade das características ambientais através da aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida - PAR, constatou-se que os trechos de nascente do arroio Comandaízinho e o trecho intermediário do arroio Ximbocu, apresentaram níveis de perturbação de “alterado” e “impactado”, respectivamente. A baixa pontuação obtida na aplicação do protocolo nestes locais, se dá devido às condições ecológicas e de habitat encontradas nos respectivos trechos, além das pressões antrópicas intensas presentes. O arroio Comandaízinho teve baixa pontuação devido principalmente a baixa qualidade e diversidade do substrato, sendo este composto basicamente por lama, além das atividades lindeiras de origem agrícola, que acarretam muitas vezes na mudança física do leito do arroio, afetando a vegetação ciliar. Já o arroio Ximbocu apresentou a pior qualidade ambiental dentre os 36 trechos analisados. Isso se deve por conta de diversos fatores, como pouca presença de trechos rápidos, níveis de erosão acentuados, margens muito impactadas com pouca vegetação ripária em virtude do deflorestamento, além da presença de diversas fontes de lixo e do odor na água por conta da poluição.

Na análise bifatorial do PAR, nota-se que embora também não se tenha diferenças estatísticas significativas, existe uma tendência futura para com relação aos arroios da sub-bacia do rio Comandaí, uma vez que os trechos de nascente apresentaram valores abaixo do esperado, estando muito próximos do limite da classificação “natural” atribuída pelo referido protocolo. Dessa forma, entende-se que a sub-bacia do rio Comandaí, em especial seus trechos de nascente, devem ser vistos como pontos de atenção para medidas de monitoramento e recuperação, visando a integridade destes locais. Acredita-se que as baixas pontuações obtidas junto aos pontos do Comandaí, estão fortemente relacionadas às atividades agrícolas intensivas que ocorrem com frequência na região. Percebe-se que, os pontos de nascente foram bastante afetados com relação aos pontos intermediário e foz, visto que na medida que alguns pontos se aproximam dos centros urbanos, diminuem as áreas agrícolas lindeiras aos arroios, evidenciando-nos, uma inclinação negativa para os impactos provocados por estas atividades.

Na análise de PCA pode-se observar a separação dos dados de acordo com os índices analisados. Esta nos mostrou que os dados referentes aos índices PAR e BMWP demonstraram a presença de mais trechos da sub-bacia do Piratinim com valores mais altos se comparados aos do da sub-bacia do Comandaí, indicando

aparentemente melhor qualidade ambiental e da água nesta sub-bacia. Tais resultados também são vistos conforme a diversidade e abundância de macroinvertebrados coletados na sub-bacia do Piratinim, superior à do Comandaí.

4. Conclusão

As análises da qualidade da água dos doze riachos estudados demonstraram que todos os pontos amostrais estão de acordo com os VMP expostos na Resolução CONAMA nº 357, quanto aos parâmetros físico-químicos utilizados nas análises de águas superficiais de Classe II. Ressalta-se que apenas a variável condutividade elétrica, a qual não consta na respectiva resolução como uma das variáveis utilizadas nas avaliações da qualidade das águas, teve valores acima do recomendado, estes resultados estão de acordo com diversos autores, que ressaltam a interferência de fontes de poluição quando estes valores são elevados (acima de 100 uS cm⁻¹).

As sub-bacias dos rios Piratinim e Comandaí ainda apresentam grande diversidade biológica, sendo que nos riachos da primeira sub-bacia foi observada de maneira geral maior diversidade e abundância de macroinvertebrados em comparação a segunda.

Na análise do índice biológico BMWP, obteve-se predominantemente as classes de água consideradas de qualidade “boa” e “aceitável”. A sub-bacia do rio Piratinim apresentou de maneira geral melhor qualidade de água em comparação com o rio Comandaí e os riachos das regiões baixas nas duas sub-bacias foram as que apresentaram melhor qualidade de água em comparação as regiões altas e médias.

Quanto ao PAR (Protocolo de Avaliação Rápida), o ambiente da sub-bacia do rio Comandaí também demonstrou de maneira geral menor qualidade em relação a sub-bacia do Piratinim. Ressalta-se que muitos dos valores obtidos no PAR aplicado aos riachos da sub-bacia do Comandaí, estiveram próximos do limite da categoria de ambiente natural, sendo, portanto, um ponto de atenção para medidas de monitoramento visando a mitigação de impactos. Neste contexto, ressaltam-se que os resultados do presente estudo podem contribuir para o desenvolvimento de programas de monitoramento e recuperação ambiental em bacias hidrográficas no Estado do Rio Grande do Sul, integrados a projetos de gestão de comitês de bacias hidrográficas.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Fronteira Sul – *campus* Cerro Largo, pelo apoio logístico durante a realização do presente estudo.

6. Referências

BISPO, Pitágoras da Conceição et al. (2006). Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. **Brazilian Journal of Biology**, 66, 611-622.

BONADA, Nuria et al. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. **Annu. Rev. Entomol.**, 51, 495-52.

BRAUN, Bruna Marmitt et al. (2014). Diversity and ecological aspects of aquatic insect communities from montane streams in southern Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 26, 186-198.

BUSS, Daniel Forsin; BAPTISTA, Darcílio Fernandes; NESSIMIAN, Jorge Luiz. (2003). Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Cadernos de Saúde Pública**, 19, 465-473.

CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M. (2001). Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 6(1), 71-82.

CALLISTO, Marco et al. (2002). Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividade de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2016). **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas de Amostragem. São Paulo. 52. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 03 jan. 2022.

CONAMA (Brasil). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. (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**: seção 1, Brasília, DF, 053, 58-63.

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS. (2012). Relatório Anual sobre a situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul. **Secretaria do Meio Ambiente**, Porto Alegre.

DE QUEIROZ, Júlio Ferraz; TRIVINHO-STRIXINO, Susana; NASCIMENTO, VM da C. (2000). Organismos bentônicos bioindicadores da qualidade das águas da Bacia do Médio São Francisco. **Embrapa Meio Ambiente**, Jaguariúna, Brasil.

DE ASSIS ESTEVES, Francisco. (1998). Fundamentos de limnologia. **Interciência**.

FEPAM. (2004). Levantamento e análise de dados secundários relativos aos meios físico, biótico e antrópicos da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo – (MQA/PNMA II) – **Relatório 1. Relatório de consultoria elaborado pela PROFILL Engenharia e Meio Ambiente S.A.** (disponibilizado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo).

FREDDO F. V. J. (2018). **Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero Barreiras: estudo de caso em Benevides – PA**. Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 113, BR.

GASPAROTTO, Felipe Augusto. (2011). **Avaliação Ecotoxicológica e Microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba-SP**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.

GONÇALVES, F. B.; ARANHA, J. M. R. (2004). Ocupação de espaço temporal pelos macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Ribeirão, Paranaguá, PR (Brasil). **Acta Biológica Paranaense**, 33, 181-191.

GOULART, M. D.; CALLISTO, Marcos. (2003). Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, 2(1), 156-164.

GUIMARÃES, Roney Rodrigues; DE CARVALHO SILVA, Lidiane Fontes; GUIMARÃES, Ronald Rodrigues. (2017). Macroinvertebrados como Bioindicadores da Qualidade da Água do Rio Paraíba do Sul, Barra Mansa, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Dissertar**, 1(26,27), 50-57.

HANNAFORD, Morgan J.; BARBOUR, Michael T.; RESH, Vincent H. (1997). Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat. **Journal of the North American Benthological Society**, 16(4), 853-860.

HERING, Daniel et al. (2004). Assessing streams in Germany with benthic invertebrates: selection of candidate metrics. **Limnologia**, 34(4), 398-415.

JACKSON, DA. (1993). Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. **Ecology: Ecological Society of America**, 74, 2204-2214.

MAROTTA, H. S. R. O.; ENRICH, P. A. (2008). Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbanoambientais. **Ambiente & Sociedade**, 11(1), 207-218.

MATEO-SAGASTA, Javier; ZADEH, S. Marjani; TURRAL, Hugh (Ed.). (2018). More people, more food, worse water: a global review of water pollution from agriculture.

MCCREADIE, John W.; ADLER, Peter H.; COLBO, Murray H. (1995). Community structure of larval black flies (Diptera: Simuliidae) from the Avalon Peninsula, Newfoundland. **Annals of the Entomological Society of America**, 88(1), 51-57.

MENEZES, Juliana Magalhães et al. (2010). Índices de Qualidade de Água: métodos e aplicabilidade. **Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto de Mudanças Ambientais**. 1ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1, 325-352.

MILZ, Beatriz et al. (2022). Spatio-temporal variability of water quality in Billings Reservoir Central Body-São Paulo, Brazil. **Revista Ambiente & Água**, 17.

MORAES, Danielle Serra de Lima; JORDÃO, Berenice Quinzani. (2002). Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de saúde pública**, 36, 370-374.

MORENO, P.; CALLISTO, M. (2006). Benthic macroinvertebrates in the watershed of an urban reservoir in southeastern Brazil. **Hydrobiologia**, 560, 311-321.

PEDROSA, Paulo; REZENDE, Carlos Eduardo. (1999). As muitas faces de uma lagoa. **Ciência Hoje**, 40-47.

RINALDI, Silvana Aparecida. (2007). **Uso de macroinvertebrados bentônicos na avaliação do impacto antropogênico às nascentes do Parque Estadual do Jaraguá, São Paulo, SP**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.

SEMA, SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. (2009). **Aspectos das águas do rio Piratinim**. Porto Alegre: Comitê Piratinim.

SCHEEREN, L. W. (2008). **Quantificação da cobertura vegetal nas zonas ciliares dos principais corpos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piratinim, utilizando imagens do satélite CBERS.** In: Ministério Público do Rio Grande do Sul, Unidade de Assessoramento Ambiental, Geoprocessamento de bacias hidrográficas. Disponível em: <https://www.mprs.mp.br/media/areas/ambiente/arquivos/paibh/diagnostico_bacia_hidrografica_rio_piratinim_dat.pdf>. Acesso em: 11 janeiro 2023.

SILVA, D. B. (2016). **Qualidade de Água e Sedimento em Reservatório.** Dissertação de Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear, Instituto De Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, SP.

SILVEIRA, M. P.; DE QUEIROZ, J. F.; BOEIRA, Rita Carla. (2004). Protocolo de coleta e preparação de amostras de macroinvertebrados bentônicos em riachos. **Embrapa Meio ambiente**, 5.

SILVEIRA, M. P.; QUEIROZ, J. F. (2006). Uso de coletores com substrato artificial para monitoramento biológico de qualidade de água. **Embrapa Meio Ambiente**, 39, 1-5.

VARGAS, R. R. et al. (2019). The influence of land use and occupation on the water quality in urban watersheds. **Ciência e Natura**, 41.

VON SPERLING, M. (2005). **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Editora UFMG, Belo Horizonte, 3.