

VI CONGRESSO DA SOCIEDADE DE ANÁLISE DE RISCO LATINO-AMERICANA (SRA-LA)

MÉTODO AHP APLICADO À ANÁLISE INTEGRADA DA SAÚDE E QUALIDADE DOS ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS DE TRÊS RIOS DO OESTE PARANAENSE

AHP METHOD APPLIED TO THE INTEGRATED ANALYSIS OF THE HEALTH AND QUALITY OF AQUATIC ECOSYSTEMS OF THREE RIVERS OF WEST PARANÁ

FERNANDO GARRIDO DE OLIVEIRA

Universidade Federal do Paraná (UFPR), garrido@ufpr.br

ALESSANDRA SVONKA PALMEIRO

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), aspalmeiro@ufrrj.br

HELENA CRISTINA DA SILVA DE ASSIS

Universidade Federal do Paraná (UFPR), helassis@ufpr.br

MARITANA MELA PRODOCIMO

Universidade Federal do Paraná (UFPR), maritana.mela@ufpr.br

LILIAN DENA DOS SANTOS

Universidade Federal do Paraná (UFPR), liliansantos@ufpr.br

RESUMO ABSTRACT

As mudanças na cobertura e uso do solo tem sido o principal impulsionador na degradação da qualidade das águas superficiais, comprometendo a saúde dos organismos que compõem os ecossistemas aquáticos. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a qualidade das águas e a saúde dos ecossistemas aquáticos dos Rios São Camilo (SC), Santa Fé (SF) e Pioneiro (PIO), localizados no oeste do estado do Paraná por meio do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), a partir da combinação de diferentes índices. Foram amostrados três pontos em cada um dos rios, sendo: a montante (SC1, SF1 e PIO1), intermediário (SC2, SF2 e PIO2) e jusante (SC3, SF3 e PIO3), nas estações inverno de 2022 e verão de 2023. O cálculo do índice de saúde e qualidade hídrica (ISQH) demonstrou-se consistente ($RC < 0,1$). O ISQH demonstrou a predominância de áreas de saúde e qualidade ruins e regulares nos três rios avaliados.

Changes in land cover and use were the main driver in manipulating the quality of surface waters, compromising the health of the organisms that make up aquatic ecosystems. The objective of the present work was to evaluate the water quality and health of the aquatic ecosystems of the São Camilo (SC), Santa Fé (SF) and Pioneiro (PIO) Rivers, located in the west of the state of Paraná using the AHP (*Analytic Hierarchy Process*), based on the combination of different indexes. Three points were sampled in each of the rivers, namely: upstream (SC1, SF1 and PIO1), intermediate (SC2, SF2 and PIO2) and downstream (SC3, SF3 and PIO3), in the winter 2022 and summer 2023 seasons. The calculation of the health and water quality index (ISQH) was declared consistent ($RC < 0.1$). ISQH demonstrated the predominance of areas of poor and regular health and quality in the three rivers evaluated.

Palavras-Chave: Análise integrada. Método AHP. GIS. Recursos Hídricos. Ecossistemas Aquáticos.

Keywords: Integrated analysis. AHP method. GIS. Water Resources. Aquatic Ecosystems.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças na cobertura e uso do solo ao longo do tempo tem sido o principal impulsionador na degradação da qualidade das águas superficiais, destacando a necessidade imediata da proteção dos recursos hídricos por meio do planejamento, monitoramento e controle, garantindo dessa forma o acesso das populações humanas a esses recursos (MELLO et al., 2020).

A qualidade das águas superficiais e a saúde dos diversos organismos que compõem as comunidades aquáticas dependem diretamente das diversas atividades humanas potencialmente poluidoras, tais como, atividades industriais (e.g. geração de resíduos sólidos e líquidos, vazamento de compostos químicos, emissões atmosféricas); urbanização (e.g. lançamento de esgoto doméstico não tratado, impermeabilização do solo); atividades agrícolas (e.g. desflorestamento, degradação do solo, uso inadequado de fertilizantes químicos, fármacos e agrotóxicos); e produção animal (e.g. esterco e fezes, cama de aviários, restos de alimentação, águas residuárias, carcaças, embalagens de insumos) (AKHTAR et al., 2021).

A perda da qualidade da água pode afetar diretamente a saúde das populações humanas e de animais domésticos locais, possibilitando o surto de doenças infectocontagiosas de disseminação hídrica como dengue, diarreia, giardíase, esquistossomose, entre outras, além de causarem possíveis cenários de intoxicação devido a sua ingestão (Lugo et al., 2021).

Atualmente a difusão de misturas químicas complexas em águas superficiais tem causado diversos efeitos tóxicos sobre os ecossistemas aquáticos, acarretando a perda de biodiversidade e redução das populações de peixes e outros organismos. Dentre os contaminantes de importância ecotoxicológica, podemos citar: metais pesados, fármacos, produtos de higiene pessoal, agrotóxicos, compostos orgânicos voláteis, nanomateriais e substâncias que atuam como desreguladores endócrinos (PALANSOORIYA et al., 2020).

Nesse contexto, os ecossistemas aquáticos encontram-se em risco iminente para a sobrevivência de peixes, invertebrados e plantas aquáticas, devido a sua contaminação por diversos tipos de compostos como agrotóxicos, compostos orgânicos e inorgânicos, solventes e outros, resultan-

do na redução da qualidade das águas e perda de biodiversidade (WOLFRAM et al., 2021).

Com o intuito de mitigar e até mesmo reverter esses processos até padrões aceitáveis de sustentabilidade, faz-se necessário o estabelecimento de sistemas de monitoramento adequados, garantindo a qualidade da água, bem-estar, desenvolvimento e a saúde das populações (CHAPMAN & SULLIVAN, 2022).

Os sistemas de monitoramento devem abranger parâmetros físicos, químicos e biológicos relevantes à preservação da vida aquática, manutenção da qualidade da água destinada ao abastecimento público e desenvolvimento de setores importantes para a economia, como a indústria e agricultura (SAALIDONG et al., 2022).

A integração dos índices de qualidade da água aos Sistemas de Informação Geográficas (SIG) têm possibilitado aos programas de monitoramento, por meio das técnicas de Sensoriamento Remoto, avaliações espaço-temporais de bacias hidrográficas inteiras, possibilitando a criação de bancos de dados de informações relevantes à pesquisadores e tomadores de decisões na elaboração de políticas públicas (ADJOVU et al., 2023).

Semelhantemente, o biomonitoramento apresenta-se como uma ferramenta que visa avaliar o efeito de diferentes agentes estressores sobre a saúde dos organismos nos ambientes aquáticos, por meio escolhidos organismos de relevância ecológica de diferentes níveis tróficos, denominados bio-monitores (ABAS, 2021).

As técnicas de tomada de decisão multicritério tem permitido que pesquisadores e especialistas tomem decisões sobre cenários qualitativos e quantitativos, baseadas na análise abrangente de amplos e complexos conjuntos de dados (KHAN & ALI, 2020). O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), desenvolvido por Saaty (1977), é uma poderosa ferramenta multicritério de tomada de decisão que tem sido utilizada em inúmeras aplicações em diversos campos da economia, política, engenharia, saúde e educação. Sua integração aos SIGs tem se tornado cada vez mais reconhecida como uma potente ferramenta de análise, sendo demonstrada através de casos como cenários de adequação de terras e gestão de recursos naturais (RIDWAN et al., 2023).

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) implementou a Agenda 2030, que tem como objetivo geral colocar o mundo em um ca-

minho mais sustentável e resiliente até 2030, erradicando a pobreza e promovendo uma vida digna para todos (UN, 2015). Dentre os seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), um é integralmente destinado a assegurar disponibilidade e gestão sustentável de água e saneamento para todos (UN, 2024).

Para que os objetivos de sustentabilidade sejam alcançados torna-se imprescindível o estabelecimento de programas eficazes de monitoramento, que visem avaliar os riscos de exposição ambiental e possíveis efeitos tóxicos sobre a saúde dos organismos que constituem as populações e comunidades aquáticas, bem como riscos à saúde pública (ALTENBURGER, et al., 2019).

2. OBJETIVOS

Os objetivos do presente estudo foram: (I) desenvolver um Índice Integrado de Saúde e Qualidade Hídrica (ISQH), a partir dos índices de Qualidade da Água (IQA), de Resposta Integrada de Biomarcadores (IBR) e de Lesão Histopatológico (ILH), para os Rios São Camilo, Santa Fé e Pioneiro, localizados no oeste do Paraná, por meio do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*); (II) produzir mapas de fácil interpretação utilizando o ISQH, por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

3. METODOLOGIA

3.1 Localização Rios São Camilo, Santa Fé e Pioneiro

Os Rios São Camilo, Santa Fé e Pioneiro estão localizados no oeste do estado do Paraná, pertencentes à região Sul do Brasil, e fazem parte da grande bacia do Rio Piquiri, terceiro principal afluente do Rio Paraná (**Figura 1**). Entre as ocupações e usos da terra majoritários estão a agricultura de soja e milho, seguida pela aquicultura, avicultura, urbanização, atividade agroindustrial e mineração.

Esses rios possuem 33,38 km, 26,36 km e 28,01 km de extensão, respectivamente, com 124,38 km², 85,49 km² e 95,32 km² em áreas de drenagem, respectivamente, além de 373, 173 e 96 viveiros de cultivo aquícolas, respectivamente, totalizando 166,8 hectares de lâmina d'água (ZACARKIM et al., 2015).

Os solos predominantes dessas três bacias são o Latossolo Vermelho Férrico (LZf) e o Nitissolo Vermelho (NV), segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). Segundo a classificação proposta por Köppen (1936), o clima da região é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical e inserido no contexto da Floresta Estacional Semidecidual, pertencente ao bioma Mata Atlântica.

Figura 1 – Mapa da localização da área do estudo.

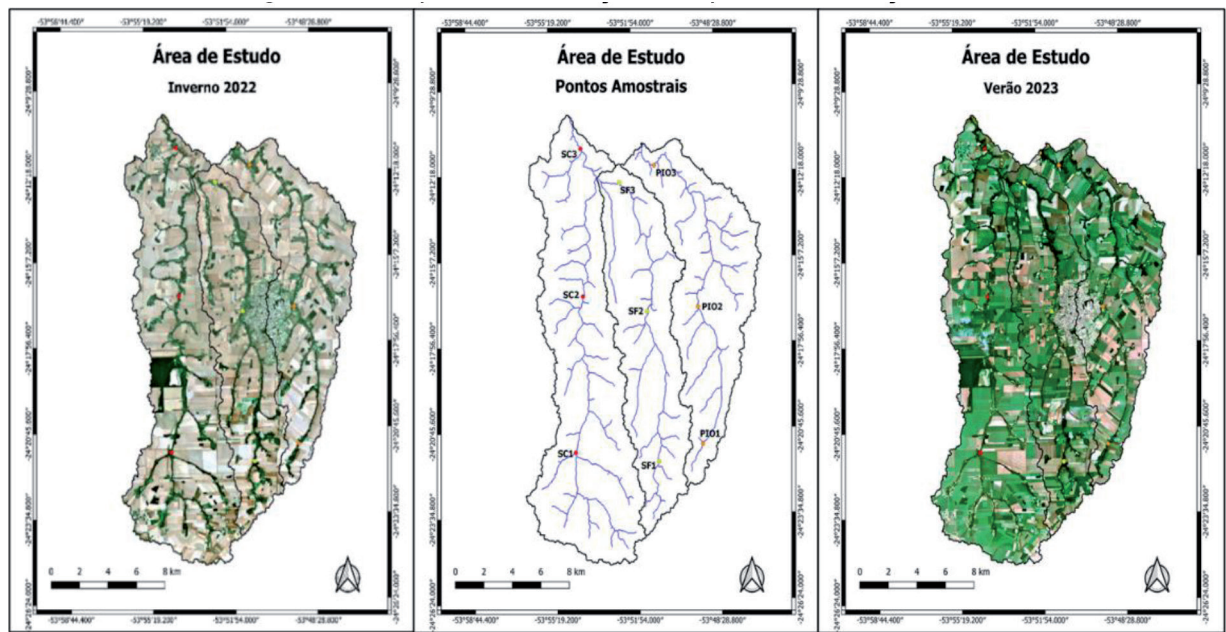


Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Para cada um dos Rios São Camilo (SC), Santa Fé (SF) e Pioneiro (PIO) foram selecionados três pontos amostrais, distribuídos de modo equidistante, ao longo de cada microbacia, sendo três pontos localizados a montante (SC1, SF1, PIO1),

três intermediários (SC2, SF2, PIO2) e três localizados a jusante (SC3, SF3, PIO3). As coletas foram realizadas na última semana do inverno 2022, período de vazio sanitário para o cultivo da soja, e verão 2023, período de safra (**Figura 2**).

Figura 2 – Mapa de localização dos pontos e estações amostrais.



Legenda: Sistema de Referência Geodésico - SIRGAS2000.

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Foram coletadas amostras de água, nas quais foram avaliados 12 parâmetros de qualidade da água e de peixes da espécie *H. ancistroides*, selecionada como espécie biomonitora, na qual foram avaliados biomarcadores de estresse oxidativos e histopatológico.

3.2 Dados Climáticos

Os dados climáticos registrados pela estação Palotina – TRMM 721 apresentaram menor índice de precipitação acumulada e temperatura média no inverno e maiores no verão (**Tabela 1**).

Tabela 1 – dados climáticos da estação meteorológica Palotina – TRMM 721, referentes as estações inverno de 2022 e verão de 2023.

Estações	Temperatura média (°C)	Precipitação acumulada (mm)
Inverno 2022	21,45	539,7
Verão 2023	24,91	938,7

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

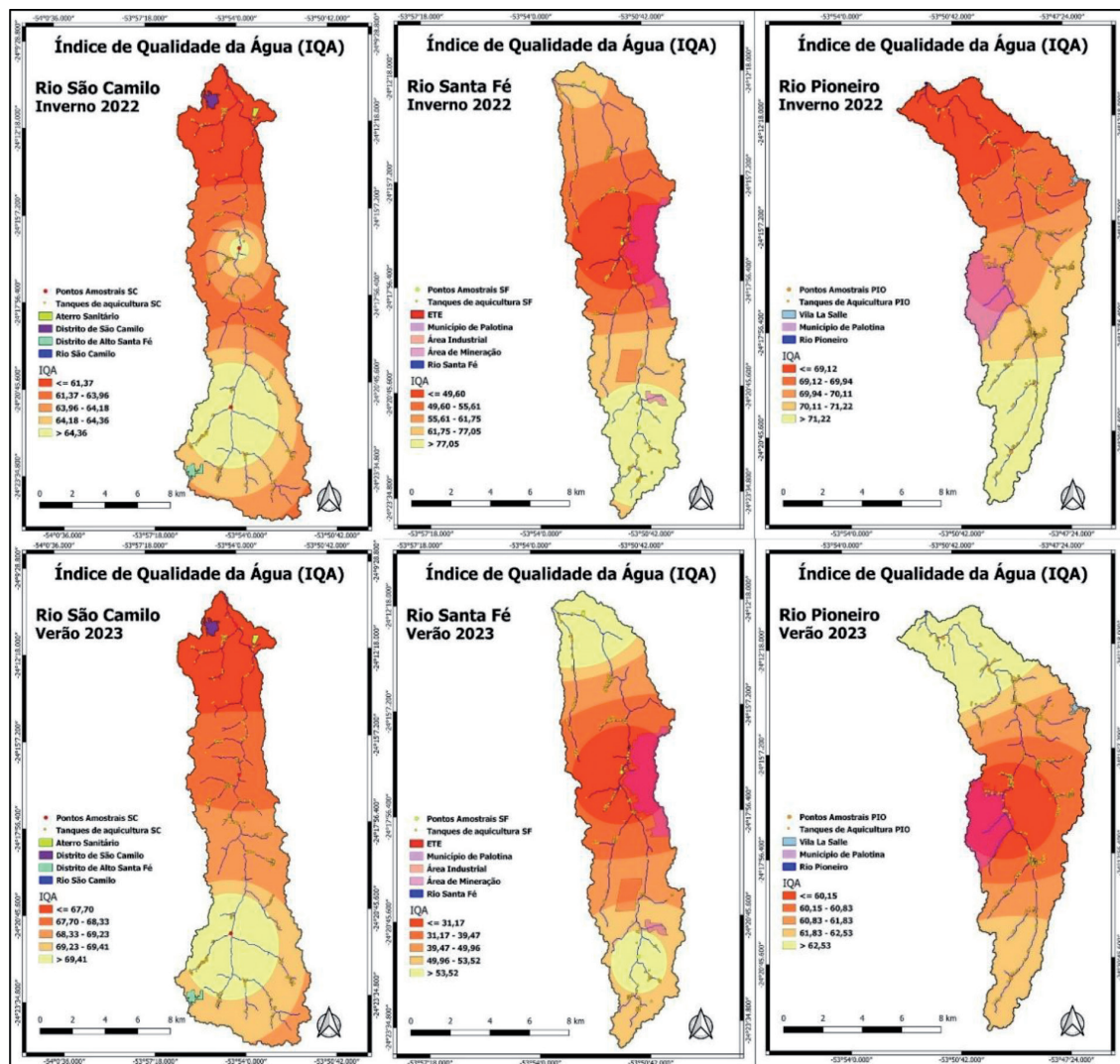
3.3 Índices IQA, IBR e IHL

A partir dos 12 parâmetros de qualidade da água foi calculado o Índice de Qualidade da Água (IQA), enquanto a partir dos biomarcadores de estresse oxidativos e histopatológico foram calculados o Índice de Respostas de Biomarcadores (IBR) e Índice de Lesão Histopatológica (ILH), respectivamente, por meio dos métodos descritos

por Pesce & Wunderlin (2000), Beliaeff & Burgeot (2002) e Bernet et al., (1999), respectivamente.

A partir do índice IQA calculado foram produzidos mapas de Kernel por meio do método de interpolação espacial IDW (*Inverse Distance Weighting*), com a finalidade de se estimar a qualidade da água ao longo de toda a rede de drenagem das microbacias (Figuras 3).

Figura 3 – Mapas de IQA para as microbacias dos rios São Camilo, Santa Fé e Pioneiro, nas estações do inverno de 2022 e verão de 2023.



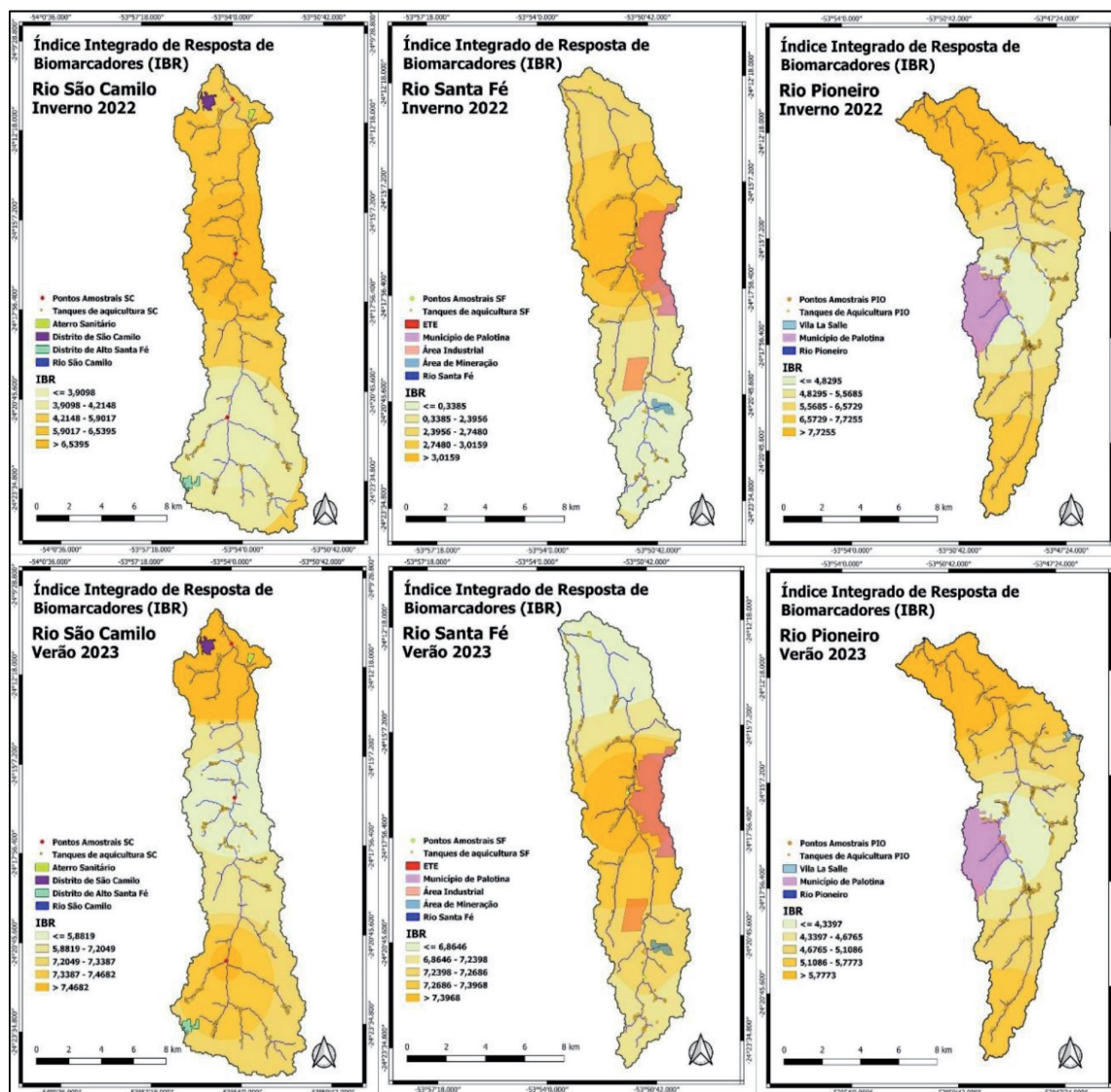
Legenda: Sistema de Referência Geodésico - SIRGAS2000.

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

De igual modo foi produzido mapas de Kernel a partir do índice IBR calculado, com a finalidade de se estimar o nível de estresse oxidativo

nas populações de *H. ancistroides*, ao longo de toda a rede de drenagem das microbacias (Figuras 4).

Figura 4 – Mapas de IBR para as microbacias dos rios São Camilo, Santa Fé e Pioneiro, nas estações do inverno de 2022 e verão de 2023.



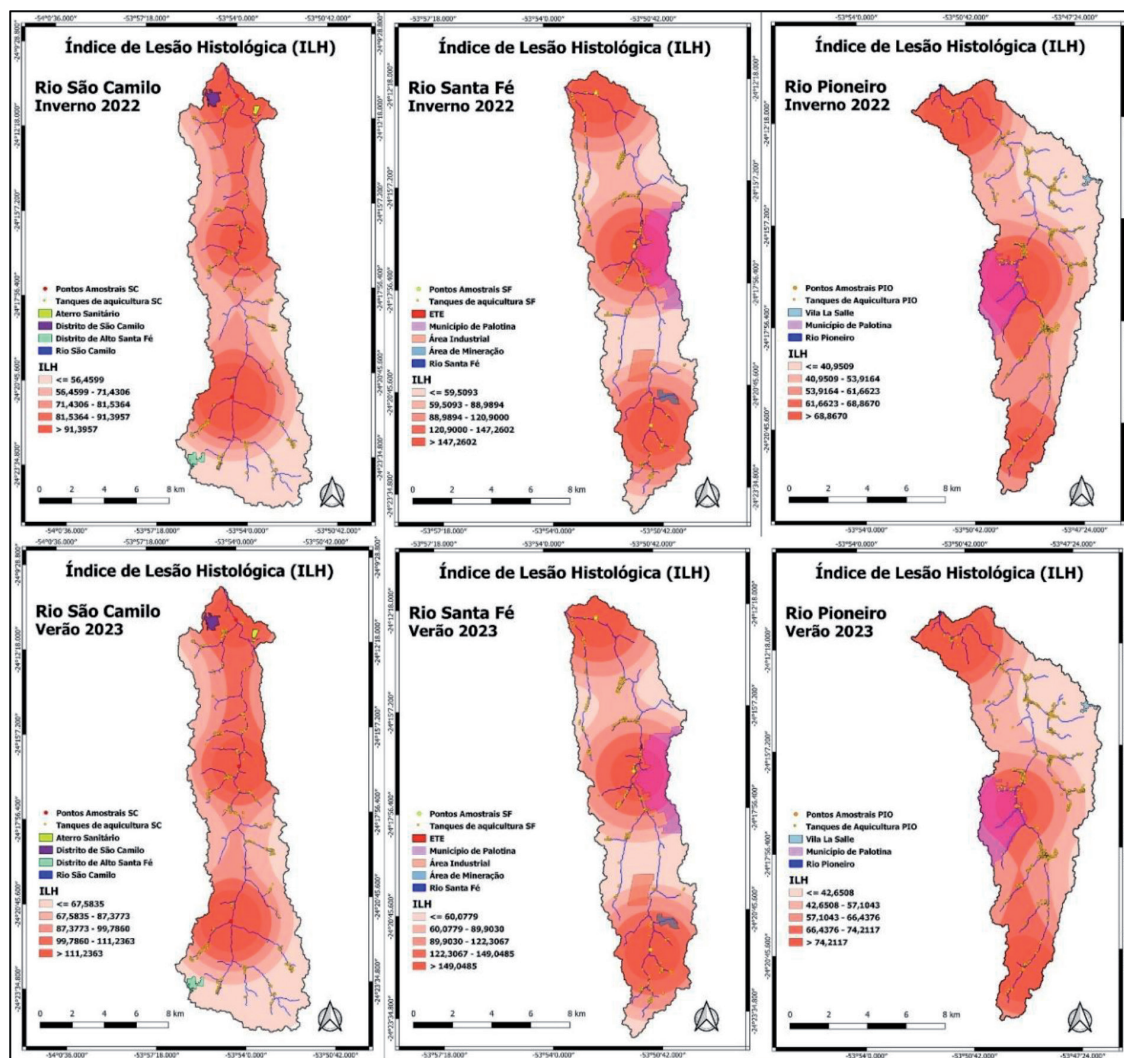
Legenda: Sistema de Referência Geodésico - SIRGAS2000.

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Por último foram produzidos mapas de Kernel a partir do índice ILH calculado, com a finalidade de se estimar a condição de saúde das popu-

lações de *H. ancistroides*, ao longo de toda a rede de drenagem das microbacias (Figuras 5).

Figura 5 – Mapas de ILH para as microbacias dos rios São Camilo, Santa Fé e Pioneiro, nas estações do inverno de 2022 e verão de 2023.



Legenda: Sistema de Referência Geodésico - SIRGAS2000.

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Os índices IQA, IBR e ILH e seus respectivos mapas de calor utilizados neste trabalho foram obtidos em estudos individuais anteriores, realizados pelos autores a fim de se avaliar de modo extensivo a qualidade da água, o estresse oxidativo e a saúde das populações de *H. ancistroides* (Dados não publicados).

3.4 Cálculo Índice Integrado de Saúde e Qualidade Hídrica (ISQH)

A construção da matriz de comparação pareada foi realizada de acordo com o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), proposto por Saaty (1977), na qual os índices IQA, IBR e ILH foram utilizados como os respectivos critérios, dispostos em uma matriz 3 x 3 (Tabela 2).

Tabela 2 – Estruturação da matriz de comparação pareada.

	ILH	IBR	IQA
ILH	1	2	3
IBR	0,5	1	2
IQA	0,3	0,5	1

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Para a realização das comparações pareadas para todos os critérios foi utilizada uma versão simplificada da escala numérica proposta por Saaty (1980) (**Tabela 3**).

Tabela 3 – Escala fundamental de Saaty para comparação pareada.

Peso	Explicação
1	Importância igual para o objetivo
2	Importância moderada para o objetivo
3	Importância forte para o objetivo

Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (1991).

Para a normalização dos dados referentes a cada índice foi utilizada uma variação linear. Após a normalização dos índices IQA, IBR e ILH os dados dos três índices passaram a variar entre 0 e 1, possibilitando sua agregação.

O cálculo do Índice Integrado de Saúde e Qualidade Hídrica foi realizado na calculadora *raster*, do programa QGIS 3.16.16-Hannover com GRASS 7.8.5, por meio da combinação linear ponderada, de acordo com a seguinte equação: $ISQH = (IQA \times \text{Peso1}) + (IBR \times \text{Peso2}) + (ILH \times \text{Peso3})$. A classificação proposta na matriz de comparação pareada foi realizada por meio do parâmetro da Razão de Consistência (RC), cujo valor ideal deve ser menor que 0,1 (10%).

3.5 Interpolação Espacial (IDW)

A interpolação espacial para cada micro-bacia foi realizada por meio do programa QGIS 3.16.16-Hannover com GRASS 7.8.5, a partir do ISQH calculado, sendo as faixas de classificação delimitadas de acordo com os valores da **Tabela 4**. A escala de cores adotada varia do vermelho

(valor mais alto) até o azul (valor mais baixo), para indicar áreas mais e menos impactadas, respectivamente.

Tabela 4 – Classificação em relação a faixa de ISQH.

ISQH	Classificação
0 - 0,25	Excelente
0,26 - 0,50	Bom
0,51 - 0,70	Regular
0,71 - 0,90	Ruim
0,91 - 1	Péssimo

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cálculo do ISQH, resultado da agregação dos índices IQA, IBR e ILH por meio do método AHP demonstrou-se consistente ($RC < 0,1$), indicativo de que classificação proposta na matriz de comparação pareada foi realizada de modo adequado, como pode ser observado em outros estudos de qualidade e saúde dos ecossistemas aquáticos, que integram índices diversos e SIG, por meio do método AHP (MISHRA et al., 2024; YUAN et al., 2022).

A lógica utilizada na atribuição dos pesos, de modo crescente, para cada um dos índices foi o seguinte: (I) o ILH é o índice mais significativo dos três, uma vez que danos histopatológicos são em sua maioria irreversíveis, e portanto possuem elevado impacto sobre a saúde dos animais; (II) o IBR por indicar o estresse oxidativo é condicionado pela qualidade da água, acompanhando sua variação, à medida que piores condições de qualidade contribuem para o aumento do estresse, podendo resultar em danos histológicos e genéticos, enquanto melhores condições de qualidade contribuem para a sua redução; e (III) o IQA por indicar a qualidade das águas é condicionado por fatores ambientais e antrópicos diversos, como pluviosidade, temperatura, concentrações de contaminantes, entre outros, podendo variar entre um amplo espectro de qualidade, de um momento para outro.

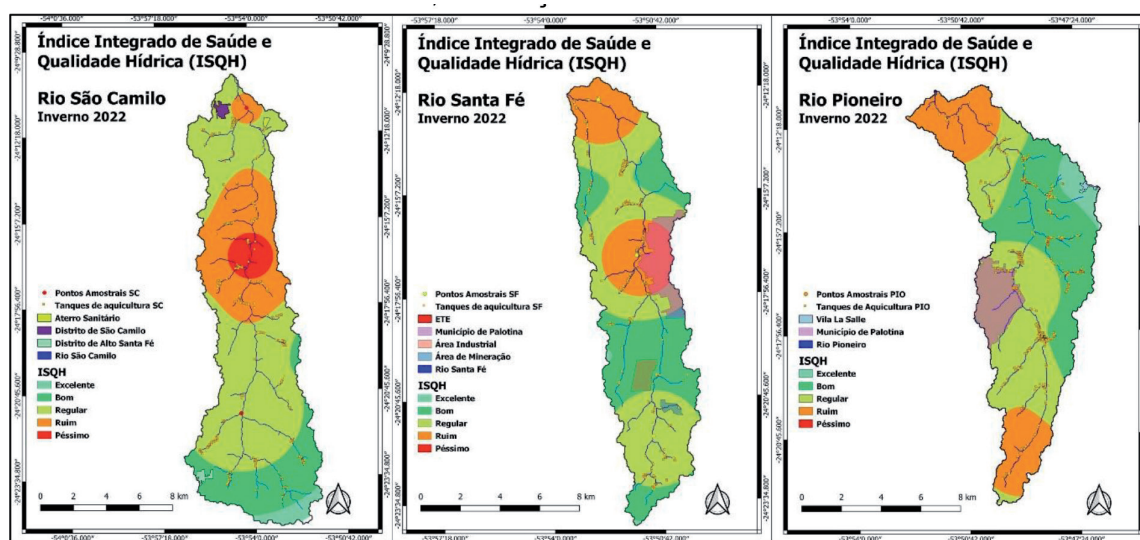
Os mapas resultantes da interpolação do ISQH (**Figura 6**), na estação inverno, demonstraram que a rede de drenagem da microbacia do Rio São Camilo apresentou qualidade e saúde regular, na maior parte de sua extensão, com trechos ruins e péssimos nos arredores do ponto intermediário SC2, indicando elevado impacto nesse trecho do rio, região predominantemente agrícola, mas que nesse período encontrava-se suspensa na maior parte das três microbacias avaliadas, devido a imposição do vazio sanitário da soja.

A rede de drenagem do Rio Santa Fé apresentou trechos majoritariamente com qualidade e saúde boa e regular, com trechos ruins nos arredores do ponto intermediário SF2, trecho sob a influência de atividades agrícolas, aquícolas, industriais e urbanas, e do ponto a montante SF3,

localizado na região exutória da microbacia, sob influência de atividades agrícolas e aquícolas. Apesar das baixas temperaturas do período não favorecerem a produção de efluentes, os baixos índices de precipitação podem ter favorecido o aumento das concentrações de contaminantes nessas águas, reduzindo sua qualidade e comprometendo a saúde desses animais.

A rede de drenagem do Rio Pioneiro também apresentou trechos majoritariamente com qualidade e saúde boas e regulares, com trechos ruins nos arredores dos pontos PIO1 e PIO3, indicando que o nível de impacto sobre as águas e sua biota é elevado nos pontos à montante e jusante, respectivamente, ambos sob influência de atividades agrícolas e aquícolas.

Figura 6 – Mapas do ISQH para as microbacias dos rios São Camilo, Santa Fé e Pioneiro, na estação do inverno de 2022.



Legenda: Sistema de Referência Geodésico - SIRGAS2000.

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

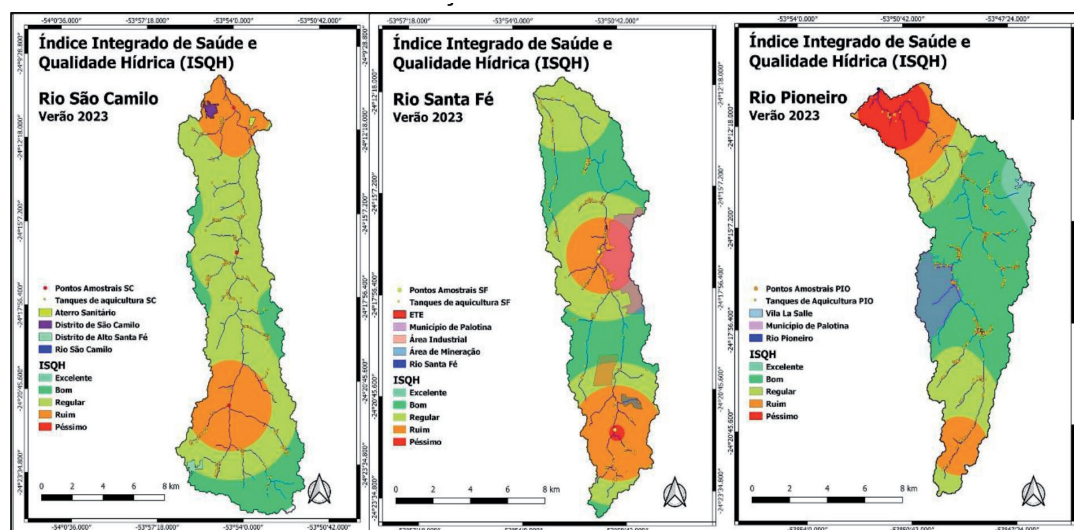
Na estação verão (**Figura 7**), a rede de drenagem da microbacia do Rio São Camilo também apresentou qualidade e saúde regular, na maior parte de sua extensão, com trechos ruins nos arredores do ponto a montante SC1 e do ponto a jusante SC3, ambos sob elevada influência agrícola, que nessa estação encontrava-se entre as safras de soja e milho, período de intensa atividade nas três microbacias avaliadas.

O Rio Santa Fé apresentou trechos majoritariamente com qualidade e saúde boas e regulares, com trechos ruins e péssimos nos arredores do ponto a montante SF1, sob influência de atividades agrícolas e aquícolas, e ruins nos arredores do ponto intermediário SF2, sob influência de atividades agrícolas, aquícolas, urbanas e industriais, indicando um elevado impacto nesses dois trechos do rio. Diferentemente do que foi observa-

do na estação do inverno, no verão as elevadas temperaturas favorecem a produção de efluentes urbanos, aquícolas e indústrias, enquanto os elevados índices de precipitação observados podem ter contribuído para a lixiviação e carreamento de contaminantes diversos que podem ter contribuído de modo sinérgico para perda de qualidade dessas águas e consequente comprometimento da saúde desses animais.

A rede de drenagem do Rio Pioneiro também apresentou trechos majoritariamente com boa qualidade e saúde, com trechos ruins e regulares nos arredores do ponto PIO1 e péssima no ponto PIO3, nos pontos à montante e jusante, respectivamente. Pequenos trechos de excelente saúde e qualidade hídricas podem ser observadas à oeste da microbacia do Rio Pioneiro em ambas as estações, indicando baixo impacto nessa região da microbacia.

Figura 7 – Mapas do ISQH para as microbacias dos rios São Camilo, Santa Fé e Pioneiro, na estação do verão de 2023.



Legenda: Sistema de Referência Geodésico - SIRGAS2000.

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

O índice ISQH obtido por meio da combinação ponderada dos índices IQA, IBR e ILH demonstrou-se ser consistente na avaliação integrada da saúde e qualidade hídrica desses ecossistemas. Ademais, os mapas obtidos podem ser utilizados como importantes ferramentas a serem utilizados no planejamento e execução de políticas públicas destinadas à recuperação e conservação desses ecossistemas.

5. CONCLUSÃO

Evidencia-se por meio do ISQH a predominância de áreas de saúde e qualidade ruins e regulares nos três rios avaliados, em ambas as estações, demonstrando a deterioração sistêmica da qualidade das águas dos Rios São Camilo, Santa

Fé e Pioneiro, bem como da saúde das populações de *H. ancistroides*,

Os mapas de fácil interpretação visual obtidos por meio da técnica de interpolação espacial do ISQH podem contribuir aos tomadores de decisão na elaboração de políticas públicas adequadas, colaborando para a recuperação e conservação desses ecossistemas.

REFERÊNCIAS

ABAS, A. A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges. *Ecological Indicators*, v.121, 2021.

- ADJOVU, G.E.; STEPHEN, H.; JAMES, D.; AHMAD, S. Overview of the Application of Remote Sensing in Effective Monitoring of Water Quality Parameters. *Remote Sens*, v.15, n.1938, 2023.
- AKHTAR, N.; ISHAK, M.I.S.; BHAWANI, S.A.; UMAR, K. Various Natural and Anthropogenic Factors Responsible for Water Quality Degradation: A Review. *Water*, v.13, 2021.
- ALTENBURGER, R.; BRACK, W.; BURGESS, R.M.; BUSCH, W.; ESCHER, B.I.; FOCKS, A.; HEWITT, L.M.; JACOBSEN, B.N.; ALDA, M.L.; AIT AISSA, S.; BACKHAUS, T.; GINEBREDÁ, A.; HILSCHEROVÁ, K.; HOLLENDER, J.; HOLLERT, H.; NEALE, P.A.; SCHULZE, T.; SCHYMANSKI, E.L.; TEODOROVIC, I.; TINDALL, A.J.; UMBUZEIRO, G.A.; VRANA, B.; ZONJA, B.; KRAUSS, M. Future water quality monitoring: improving the balance between exposure and toxicity assessments of real-world pollutant mixtures. *Environ Sciences Europe*, v.31, n.12, 2019.
- BELIAEFF, B.; BURGEOT, T. Integrated biomarker response: a useful tool for ecological risk assessment. *Environ. Toxicol. Chem.*, v.21, 2002, p.1316-1322.
- CHAPMAN, D.V.; SULLIVAN, T. The role of water quality monitoring in the sustainable use of ambient waters. *One Earth*, v.5, 2022.
- LUGO, J.L.; LUGO, E.R.; LA PUENTE, M. A systematic review of microorganisms as indicators of recreational water quality in natural and drinking water systems. *J Water Health*, v.19, n.1, 2021, p.20-28.
- KHAN, A.U.; ALI, Y. Analytical Hierarchy Process (AHP) And Analytic Network Process Methods and Their Applications: A Twenty-Year Review From 2000-2019. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, v.12, n.3, 2020.
- KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds): *Handbuch der Klimatologie*. Berlin: Gebrüder Bornträger. Banda 1, Parte C, 1936, p.1 - 44.
- MELLO, K.; TANIWAKI, R.H.; PAULA, F.R.; VALENTE, R.A.; RANDHIR, T.O.; MACEDO, D.R.; LEAL, C.G.; RODRIGUES, C.B.; HUGHES, R.M. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management*, v.270, 2020.
- MISHRA, A.P.; SINGH, S.; JANIC, M.; SINGHD, K.A.; PANDE, C.B.; VARADE, A.M. Assessment of water quality index using Analytic Hierarchy Process (AHP) and GIS: a case study of a struggling Asan River. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, v.104, n.5, 2024, p.1159-1171.
- PALANSOORIYA, K.N.; YANG, Y.; TSANG, Y.F.; SARKAR, B.; HOU, D.; CAO, X.; MEERS, E.; RINKLEBE, J.; KIM, K.H.; OK, Y.S. Occurrence of contaminants in drinking water sources and the potential of biochar for water quality improvement: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v.50, n.6, 2020, p.549-611.
- PESCE, S.F.; WUNDERLIN, D.A. Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suquia River. *Water Research*, v.34, 2000, p.2915-2926.
- RIDWAN, M.A.; SOEMARNO; IMAM, S.; ASMAUL, M.S. Exploring the Potential and Benefits of AHP and GIS Integration for Informed Decision-Making: A Literature Review. *Ingénierie des Systèmes d'Information*, v.28, n.6, 2023.
- SAALIDONG, B.M.; ARAM, S.A.; OTU, S. LARTEY, P.O. Examining the dynamics of the relationship between water pH and other water quality parameters in ground and surface water systems. *PLoS ONE*, v.17, n.1, 2022.
- SAATY, T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v.15, n.3, 1977, p.234-281.
- SAATY, T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v.15, n.3, 1977, p. 234-281.

SAATY, T.L. The analytical hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill, 1980, 287p.

UN - UNITED NATIONS. *Department of Economic and Social Affairs, Sustainable Development: The 17 Goals*. 2024. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/goals>>. Acesso em: 18 nov. 2024.

UN - UNITED NATIONS. *Nações Unidas Brasil: Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 18 nov. 2024.

WOLFRAM, J.; STEHLE, S.; BUB, S.; PETSCHICK, L.L.; SCHULZ, R. Water quality and ecological

risks in European surface waters – Monitoring improves while water quality decreases. *Environment International*, v.152, 2021.

YUAN, Q.; WU, H.; ZHAO, Y.; ZHANG, Y.; YAO, R.; ZHAO, Y.; YAN, W. Ecosystem health of the Beiyun River basin (Beijing, China) as evaluated by the method of combination of AHP and PCA. *Environmental Science and Pollution Research*, v.29, 2022, p.39116-39130.

ZACARKIM, C.E.; OLIVEIRA, L.C. (Org.). *Sistema de Informações Geográficas na Aquicultura: Município de Palotina*. UFPR, 1 ed., 2015, 139p., p.19.