



SUSTENTABILIDADE EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS: ANÁLISE DE PESTICIDAS E ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO DIANTE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

¹João Gabriel Polutre dos Santos; ²Camilly Cristini Benan Silva; ³José Eduardo Gonçalves

¹Acadêmico do Curso de Biomedicina, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar - UniCesumar. jgpolutre@hotmail.com. Bolsista PIBIC/ICETI-UniCesumar.

²Acadêmica do Curso de Biomedicina, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar - UniCesumar. Camilly007@hotmail.com.

³Orientador, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas (PPGTL) da Universidade Cesumar - UniCesumar. jose.goncalves@unicesumar.edu.br

RESUMO

O presente estudo investigou a presença e a concentração de pesticidas em amostras de água superficial da bacia do rio Pirapó, Paraná, durante os anos de 2024 e 2025, considerando as quatro estações do ano. As coletas foram realizadas em diferentes pontos ao longo do curso do rio, abrangendo áreas de nascente, captação para abastecimento público e foz. As amostras foram processadas por extração em fase sólida (SPE) e analisadas por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), visando identificar e quantificar diferentes classes de pesticidas. Os resultados revelaram a detecção recorrente de diversos compostos, incluindo 2,4D, clorpirifós, carbaril, diuron e malationa, alguns em concentrações superiores aos Limites Máximos Permitidos (LMP) estabelecidos por normativas nacionais e internacionais. Os pontos P4 e P5 apresentaram as maiores concentrações e diversidade de pesticidas, sugerindo forte influência de atividades agrícolas intensivas na região. Os achados evidenciam a necessidade de monitoramento contínuo, implementação de práticas agrícolas sustentáveis e regulamentações mais rigorosas para reduzir o aporte de contaminantes aos ecossistemas aquáticos e proteger a qualidade da água e a saúde das populações dependentes desse recurso.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Química; Corpos d'água; Cromatografia Gasosa; Poluição Ambiental; Monitoramento.

1 INTRODUÇÃO

O uso da água, um recurso natural fundamental, está intrinsecamente ligado à evolução das sociedades humanas. Desde o período nômade, a dependência de fontes hídricas determinou a sobrevivência e a migração das comunidades. Com a transição para o sedentarismo, a água tornou-se o alicerce para o desenvolvimento socioeconômico, impulsionando a agricultura e o comércio nas primeiras civilizações (MORAES, 2002). A construção de sistemas de irrigação e aquedutos em civilizações antigas, como a romana, exemplifica a engenhosidade humana na manipulação da água para garantir o crescimento das comunidades (GLEICK, 2014).

Avanços em engenharia hídrica, como a construção de sistemas de irrigação, represas e canais, permitiram a expansão agrícola e a gestão eficiente dos recursos. Posteriormente, a água passou a ser utilizada como fonte de energia, com a emergência das usinas hidrelétricas, que se tornaram cruciais para a produção de eletricidade em escala global. No entanto, o progresso industrial e o crescimento urbano resultaram na intensificação da poluição hídrica, com a descarga de resíduos em corpos d'água.

Entre os principais contaminantes, os pesticidas destacam-se por seu significativo impacto ambiental e sanitário. Embora essenciais para o controle de pragas na agricultura moderna, seu uso inadequado pode levar à contaminação de ecossistemas aquáticos e à exposição humana a substâncias tóxicas (CAMPOS, 2009). A lixiviação e o escoamento superficial transportam esses compostos para rios, solos e lençóis freáticos, comprometendo a qualidade da água e a biodiversidade. A presença de resíduos de pesticidas em ambientes aquáticos é uma preocupação global, pois podem bioacumular e



biomagnificar ao longo da cadeia alimentar, afetando organismos não-alvo e, em última instância, a saúde dos consumidores (LIESS, 2002).

O estado do Paraná, com sua intensa atividade agroindustrial, especialmente na cultura da soja, é particularmente suscetível aos desafios relacionados ao uso de pesticidas. A elevada atividade agrícola pode resultar no uso extensivo de pesticidas, que podem ser transportados para os rios por lixiviação e escoamento superficial. Esse fenômeno compromete a qualidade da água, afeta a biodiversidade aquática e impacta negativamente as comunidades que dependem desses recursos.

A bacia do Rio Pirapó, um recurso hídrico vital para o abastecimento público e atividades econômicas nas regiões norte e nordeste do estado, enfrenta ameaças de contaminação por esses agrotóxicos. Suas águas, utilizadas para consumo humano, atividades industriais e agrícolas, ressaltam a urgência de um monitoramento contínuo. A detecção de pesticidas como o glifosato e a atrazina nas águas da bacia do Rio Pirapó tem sido objeto de estudos, reforçando a necessidade de medidas de controle mais rigorosas (RIGON, 2014; SOUZA, 2005).

A implementação de políticas de gestão integrada e a adoção de práticas agrícolas sustentáveis são imperativas para mitigar os impactos negativos e assegurar a preservação dos recursos hídricos para as futuras gerações. O uso de Manejo Integrado de Pragas (MIP), o desenvolvimento de bio-pesticidas e a agricultura de precisão são exemplos de estratégias que podem reduzir a dependência de agrotóxicos e proteger a qualidade da água na região.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de água foram coletadas, em garrafas plásticas de 1 L, em pontos previamente estabelecidos na bacia do rio Pirapó (Tabela 1), no ano de 2024 e 2025, durante as quatro estações de cada ano. Após a coleta, elas foram armazenadas em um freezer para evitar qualquer degradação até o momento da extração e análise. Com base no perfil das amostras, analisamos sua composição química e possíveis substâncias que possam ter sido adicionadas à sua matriz.

Tabela 1: Identificação e caracterização dos pontos amostrais na Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó

Ponto	Característica do Ambiente	Coordenadas UTM
P1	Nascente do rio Pirapó, Distrito de Pirapó, Apuracana.	(23°33'32.4", 51°31'25.9")
P2	Localizado na porção superior, próximo à BR 369.	(23°27'08.8", 51°33'25.1")
P3	Localizado próximo à captação da SANEPAR.	(23°19'40.4", 51°50'44.8")
P4	Localizado próximo a PR 454.	(-23.304370, -51.893722)
P5	Localizado próximo à ponte da PR 463.	(-22.910175, -52.101036)
P6	Localizado próximo à foz, como rio Paranapanema.	(-22.548239, -52.028470)
P6.2	Localizado próximo à foz, com o rio Paranapanema.	(-22.544503, -52.028200)

Fonte: Autor.

A extração das amostras de água foi realizada utilizando um manifold à vácuo, no qual as amostras de água foram aspiradas aos cartuchos de extração em fase sólida (SPE, do inglês Solid Phase Extraction) por meio de mangueiras. Com o acionamento da bomba, a amostra foi percolada através do cartucho, permitindo a retenção dos analitos na matriz adsorvente de sílica (SCHNEIDER, 2013).

Após a extração, o manifold foi submetido a um procedimento de limpeza e, em seu interior, foram posicionados tubos de ensaio alinhados aos cartuchos de SPE, onde foram adicionados 2 mL dos solventes apropriados para a eluição dos compostos de interesse. Para substâncias apolares, foram utilizados diclorometano e acetato de etila;



enquanto para substâncias polares, foram empregados acetonitrila e acetato de etila. Os extratos eluídos foram submetidos à evaporação total em capela, seguida de ressuspensão em 1 mL de metanol e 1 mL de acetonitrila. As amostras finais foram transferidas para vials apropriados e encaminhadas para análise por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS).

Todos os padrões, solventes e reagentes utilizados no trabalho foram de grau HPLC ou espectroscópico. A água ultrapurificada foi obtida, a partir do sistema de ultrapurificação Satorius Arium® Mini Ultrapure Water System.

Para as análises de agroquímicos, foram rastreados os pesticidas acefato, 2,4D; 2,4,5T, alacloro, adilcarb, aldrina, atrazina, carbaril, carbendazim, carbofurano, carbosulfano, clordano, clorpirifos, DDT, DDD, DDE, diclorvos, diedrin, diuron, endosulfan, endrina, glifosato-AMPA, BHC, heptacloro, lindano- γ -HCH, malationa, mancozebe-ETU, metamidofós, metolacloro, molinato, paraquate, paration, pendimentalina, permetrina, profenofos, simazina, tebuconazol, terbufos, tiran, tocafeno e trifluralina. Na análise de pesticidas foram preparadas curvas de calibração a partir de um mix de padrão puro de cada pesticida analisado nas seguintes concentrações: 0,005, 0,01, 0,02, 0,03, 0,04 e 0,05 $\mu\text{g L}^{-1}$ para o GC-MS e 0,005, 0,01, 0,016, 0,025, 0,04 e 0,05 $\mu\text{g L}^{-1}$ para o LC-MS/MS.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados a seguir apresentam as concentrações dos pesticidas identificados nas amostras de água superficial coletadas nos diferentes pontos da bacia do rio Pirapó, nos dias 22 e 24 de agosto de 2024. A Tabela 1 apresenta os resultados, expressos em $\mu\text{g L}^{-1}$ e compara os valores obtidos aos Limites Máximos Permitidos (LMP) definidos por normativas nacionais e internacionais, como a Resolução CONAMA nº 357/2005, a RDC nº 347/2002 da ANVISA, a PRC-5/2017 (Portaria nº 2914/2011) e a Directive 2013/39/EU. Essa comparação permitiu identificar não apenas a presença e a frequência dos diferentes compostos, mas também os casos em que as concentrações ultrapassaram os valores de referência, fornecendo subsídios para avaliar o potencial risco ambiental e à saúde pública associado à contaminação da bacia hidrográfica.

A análise das amostras de água superficial da bacia do rio Pirapó revelou a presença disseminada de múltiplos pesticidas, incluindo herbicidas, inseticidas e fungicidas, refletindo a diversidade de insumos agrícolas utilizados na região. Compostos como 2,4D, clorpirifós, carbaril, diuron e malationa destacaram-se pela frequência de detecção em diferentes pontos amostrais, indicando uma ampla dispersão desses contaminantes no ambiente aquático. Os pontos P4 e P5 apresentaram as maiores concentrações e diversidade de pesticidas, o que sugere uma forte influência de atividades agrícolas intensivas e de práticas de manejo que favorecem o escoamento superficial e a lixiviação para os corpos hídricos.

Quando comparados aos LMP estabelecidos por legislações nacionais e internacionais, alguns pesticidas apresentaram concentrações preocupantes. O 2,4D, por exemplo, ultrapassou o LMP de 4,0 $\mu\text{g L}^{-1}$ nos pontos P4 e P5, atingindo valores de $5,25 \pm 1,11 \mu\text{g L}^{-1}$ e $6,01 \pm 1,36 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. O clorpirifós, detectado em todos os pontos amostrados exceto P2, apresentou níveis acima do LMP de 0,02 $\mu\text{g L}^{-1}$ em todas as ocorrências, evidenciando risco elevado para organismos aquáticos e para a saúde humana. O carbaril superou seu LMP (0,02 $\mu\text{g L}^{-1}$) em todos os pontos de detecção, com destaque para P3, P4 e P5. O diuron também apresentou valores superiores ao limite de 0,2 $\mu\text{g L}^{-1}$ nos pontos P2, P3 e P4. Esses excedentes indicam não apenas uso frequente, mas também persistência ambiental desses compostos.



Os resultados obtidos apontam para um cenário de contaminação crônica na bacia do rio Pirapó, com potencial para causar impactos ecotoxicológicos significativos, incluindo redução da biodiversidade aquática e riscos à saúde das populações humanas que dependem dessa água para abastecimento. A presença simultânea de diferentes pesticidas, inclusive de classes altamente tóxicas como organofosforados e carbamatos, reforça a necessidade de estratégias integradas de gestão, envolvendo monitoramento sistemático, fortalecimento da legislação ambiental, fiscalização do uso de agrotóxicos e incentivo à adoção de práticas agrícolas menos impactantes.

Tabela 2: Pesticidas identificados em amostras de água superficial coletadas em 22/08/2024 e 24/08/2024 na bacia do rio Pirapó.

Pesticidas	P1 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	P2 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	P3 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	P4 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	P5 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	P6 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	P6.2 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	wLMP ($\mu\text{g L}^{-1}$)
2,4D	nd	1.21±0,25	1.53±0,64	5.25±1,11	6.01±1,36	4.54±1,17	4.05±1,12	4.0
2,4,5T	nd	0.20±0,09	0.24±0,10	0.04±0,05	0.27±0,11	nd	nd	2.0
Alacloro	nd	0.02±0,01	0.03±0,02	0.06±0,03	0.06±0,04	nd	nd	20.0
Adilcarb	0.02±0,02	0.05±0,02	Nd	0.07±0,05	nd	nd	nd	3.0*
Atrazina	0.30±0,08	0.81±0,26	0.35±0,14	0.28±0,12	0.41±0,22	0.39±0,17	0.45±0,19	2.0
Carbaril	0.06±0,04	0.06±0,03	0.07±0,04	0.07±0,04	0.06±0,03	0.06±0,02	0.01±0,01	0.02
Carbendazim	0.70±0,21	0.628±0,19	0.38±0,10	0.39±0,15	0.16±0,07	nd	nd	120.0**
Carbofurano	nd	0.05±0,02	0.04±0,01	0.08 ±0,04	0.08 ±0,05	nd	nd	1.8***
Clordano	nd	nd	0.02±0,02	0.02±0,01	0.02±0,01	0.01±0,01	nd	0.2
Clorpirifos	0.28±0,10	0.39±0,22	0.09±0,03	0.31±0,09	0.25±0,11	0.25±0,09	0.31±0,12	0.02***
Diclorvos	0.10±0,05	0.09±0,04	0.07±0,03	0.26±0,21	0.23±0,12	0.21±0,08	0.44±0,17	10.0*
Diuron	nd	0.29±0,16	0.26±0,10	0.61±0,20	0.46±0,14	nd	nd	0.2#
Malationa	nd	0.23±0,12	0.09±0,07	0.09±0,05	0.09±0,06	nd	nd	0.1
mancozebe- ETU	nd	nd	3.2±0,21	2.66±0,59	9,73±1,21	nd	nd	180.0##
Metamidofós	0.02±0,01	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	10.0
Metolacloro	nd	nd	0.35±0,11	nd	0.32±0,14	nd	nd	10.0
Molinato	nd	0.03±0,02	0.02±0,01	0.04±0,03	0.02±0,01	nd	nd	6.0
pendimentalina	0.08±0,03	0.07±0,04	0.06±0,03	0.08±0,04	0.07±0,03	0.07±0,03	0.04±0,02	20.0
Permetrina	0.29±0,07	0.38±0,13	0.21±0,09	0.44±0,11	0.06±0,02	0.05±0,03	0.05± ,02	20.0
Profenofos	0.09±0,06	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	100.0*
Simazina	0.03±0,02	nd	0.05±0,03	0.04±0,02	0.03±0,01	nd	nd	2.0
Tebuconazol	nd	0.25±0,12	Nd	nd	0.17±0,006	nd	nd	11,0
Toxafeno	nd	0.09±0,03	0.21±0,10	nd	0.11±0,03	nd	nd	0.21
Trifluralina	nd	nd	0.04±0,02	0.03±0,02	0.02±0,01	nd	nd	0.2

P = pontos de coleta (Figure 1);; nd = não detectado; LMP = Limite Máximo Permitido (CONAMA 357, 2005); *RDC N° 347, 2002; **PRC-5/2017, Anexo XX(Origem Portaria 2914/2011); ***CCME, 2007; #Directive 2013/39/EU; ##PRC-5/2017, Anexo XX (Portaria 2914/2011).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da qualidade da água na bacia do rio Pirapó demonstrou um cenário preocupante de contaminação por pesticidas, refletindo a intensa pressão antrópica associada ao uso agrícola de compostos químicos na região. A presença de substâncias em concentrações acima dos limites legais em múltiplos pontos de coleta, especialmente nos trechos a jusante, indica não apenas a persistência e mobilidade desses contaminantes, mas também a insuficiência das práticas atuais de manejo e controle. Esses resultados ressaltam a necessidade urgente de fortalecer políticas públicas voltadas à gestão integrada dos recursos hídricos, com ênfase no monitoramento sistemático e na adoção de técnicas de cultivo menos impactantes. Além disso, é



fundamental ampliar as ações de educação ambiental e fiscalização para mitigar riscos ecotoxicológicos e assegurar a manutenção da biodiversidade aquática, preservando assim a qualidade e a disponibilidade da água para usos múltiplos e para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 01 de março de 2025.

CAMPOS, C. A. de. **O impacto dos agrotóxicos na saúde humana e ambiental**. In: Saúdeem Debate, vol. 2, n. 4, 2009.

GLEICK, Peter H. **Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources**. Oxford University Press, 2014.

LISS, M. **Ecological effects of pesticide use in tropical ecosystems**. In: Environmental Toxicology and Chemistry, vol. 21, n. 12, pp. 2727-2736, 2002.

MORAES, P. L. de. **Água e civilização: uma perspectiva histórica**. In: Revista de Estudos Hídricos, vol. 10, n. 2, 2002.

RIGON, A. **Análise da contaminação por pesticidas na bacia do Rio Pirapó**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, 2014.

SOUZA, R. S. **Contaminação por agrotóxicos em recursos hídricos no estado do Paraná**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, 2005.