



## SUSTENTABILIDADE AQUÁTICA: ENFRENTANDO DESAFIOS NA ANÁLISE DE BISFENÓIS

Natalia Frimmel Gavino<sup>1</sup>, Maria de Los Angeles Perez Lizama<sup>2</sup>, José Eduardo Gonçalves<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Acadêmica do Curso de Biomedicina, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. Bolsista PIBIC/ICETI- UniCesumar. [frimmelnatalia@gmail.com](mailto:frimmelnatalia@gmail.com)

<sup>2</sup>Co-orientadora, Dra., Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas e Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI, Unicesumar. [maria.lizama@unicesumar.edu.br](mailto:maria.lizama@unicesumar.edu.br)

<sup>3</sup>Orientador, Dr., Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas e Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI, Unicesumar. [jose.goncalves@unicesumar.edu.br](mailto:jose.goncalves@unicesumar.edu.br)

### RESUMO

Atualmente, determinadas atividades antrópicas são responsáveis por alterar a qualidade dos recursos hídricos, por meio da liberação de substâncias químicas que vêm sendo introduzidas no meio ambiente há algumas décadas, expondo os seres humanos e animais ao contato e a possíveis efeitos. Um grupo específico de substâncias (Bisfenóis), são capazes de causar desequilíbrios no sistema endócrino de humanos e animais e, com isso, afetar a saúde, o crescimento, o comportamento e a reprodução, mesmo em concentrações relativamente baixas. Como não são removidos completamente por processos de tratamentos convencionais, podem estar presentes em matrizes aquáticas, assim como nas águas superficiais. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a contaminação de águas superficiais e peixes na bacia do rio Pirapó por análise de mutirresíduos de Bisfenóis. Para tanto foram realizadas coletas de água em seis pontos da bacia do rio Pirapó, desde a nascente, até a foz com o rio Paranapanema. Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que os diferentes tipos de desreguladores endócrinos estão presentes nas águas superficiais e nos peixes, incluindo diferentes ativos registrados em órgãos oficiais e em diferentes graus de toxicidade. Todas estas informações permitem promover o monitoramento de corpos d'água, contribuindo para a avaliação do índice de qualidade de água (IQA) e para ampliar o conhecimento sobre a presença de Bisfenóis, e, desta forma, fomentar ações que minimizem estes problemas, como redução do consumo e uso racional dos mesmos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Corpos d'água; Poluição Ambiental; Impacto Ambiental; Peixe; Desregulador endócrino.

### 1 INTRODUÇÃO

Segundo o Chemical Abstracts Service (CAS), existem mais de 107 milhões de substâncias químicas orgânicas e inorgânicas registradas e aproximadamente 15.000 novas substâncias sendo adicionadas a cada dia (CAS, 2016). Todas essas substâncias vêm sendo introduzidas no meio ambiente há algumas décadas, expondo os seres humanos e animais ao contato e a possíveis efeitos. Porém, um grupo específico de substâncias, os chamados Desreguladores Endócrinos (DE), tem recebido maior atenção da comunidade científica por serem capazes de causar desequilíbrios no sistema endócrino de humanos e animais. (BILA & DEZOTTI, 2007; CHANG, 2009).

Em 1996, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) estabeleceu o conceito de disruptor endócrino como toda substância exógena, natural ou sintética, que possa alterar o equilíbrio hormonal de um organismo e ter consequentes efeitos adversos sobre sua saúde. (MARCONETTO *et al*, 2022).

Os DE podem ser encontrados em algumas matrizes ambientais, tais como: águas superficiais e de subsolo, sedimentos marinhos, solo e efluentes de estação de tratamento de esgoto (ETE). As concentrações dessas substâncias, apesar de baixas, são relevantes (BILA e DEZOTTI, 2003), podendo afetar a qualidade da água, a saúde dos ecossistemas e potencialmente impactar o suprimento de água potável.

Quando em contato com os seres vivos, os DE agem no sistema endócrino, o qual é formado por um conjunto de glândulas responsáveis pela produção dos hormônios. Os hormônios induzem efeitos em células e tecidos especificamente através dos mecanismos



de sinalização que normalmente envolvem os receptores hormonais (UNEP e WHO, 2013), os quais incluem receptores de estrogênio, de androgênio, da progesterona, da tireoide, dentre outros (DIAMANTI-KANDARAKIS, 2009).

Estas substâncias podem ser encontradas em produtos farmacêuticos, solventes e lubrificantes industriais e seus subprodutos como bifenilos policlorados e polibromados, dioxinas, em plásticos que contém bisfenóis, plastificantes compostos de ftalatos, e pesticidas mas no geral, se tratam de moléculas que têm em sua estrutura química halogênios e hidrocarbonetos aromáticos, sendo essa estrutura semelhante a de hormônios. (MARCONETTO et al 2022).

O BPA foi sintetizado em 1901 por Thomas Zincke, e, desde então, tem sido utilizado na fabricação de policarbonatos, um polímero transparente que possui boas qualidades para uso industrial: resistência mecânica e a altas temperaturas, estas fazem do BPA um dos compostos plásticos mais utilizados do mundo nas indústrias. (SCOPEL et al, 2021)

Atualmente é considerado um disruptor endócrino por apresentar similaridade com a molécula de estrogênio, tendo a capacidade de mimetizar esses hormônios e de interagir com seus receptores, causando o efeito antagônico irreversível. Também é reportado que o BPA é capaz de modificar a estrutura do DNA e até modular a expressão de genes oncogênicos e proto-oncogênicos. (SCOPEL et al, 2021).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do rio Pirapó possui uma área aproximada de 5.096,86 km<sup>2</sup>. O rio Pirapó nasce no município de Apucarana, a uma altitude de 863 metros, e percorre 168 km até desaguar no rio Paranapanema, no município de Jardim Olinda, a 321 metros de altitude (Da Graça; Silveira, 2020).

Considerando a relevância da Bacia do Rio Pirapó para o abastecimento hídrico regional e os potenciais riscos ambientais decorrentes das atividades antrópicas, foram selecionados pontos amostrais distribuídos em diferentes setores da bacia hidrográfica. A escolha desses pontos visou representar áreas com diferentes níveis de uso e ocupação do solo, bem como distintos graus de susceptibilidade à contaminação por bisfenóis, além proporcionar uma compreensão mais abrangente da dinâmica de persistência dos DE's no ambiente. A **Tabela 1**, a localização geográfica e a descrição dos pontos utilizados para a coleta de amostras de água, sedimento e organismos aquáticos.

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

Fonte: elaborado pelo autor.

Ponto	Característica do Ambiente	Coordenadas UTM (Fuso 22J)
P1	Nascente do rio Pirapó, Distrito de Pirapó, Apucarana, PR	23°33'27.59"S 51°31'29.80"O
P2	Localizado próximo à BR 369.	23°27'13.04"S 51°33'20.57"O
P3	Localizado próxima à captação de água da Sanepar, Maringá, PR.	23°19'24.89"S 51°50'1.61"O
P4	Localizado próxima a PR 454, entre Maringá e Iguaraçu.	23°18'16.78"S 51°53'37.05"O
P5	Localizada próximo a ponte da PR 463, Paranacity, PR.	22°54'31.61"S 52° 5'40.70"O
P6	Localizado próximo a foz com o rio Paranapanema.	22°33'3.47"S 52° 1'41.94"O

### 2.2 AMOSTRAS E COLETAS



As amostras de água e peixe foram obtidas dos pontos de coletas pré-estabelecidos na bacia do rio Pirapó, coletadas no mês de agosto de 2024, em seguida as mesmas foram armazenadas em freezer para não sofrerem degradação até o momento da extração e análise. De acordo com o perfil das amostras, foi analisada sua composição química e possíveis substâncias adicionadas a sua matriz.

Antes da coleta das amostras de água, foram medidas variáveis abióticas, como temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e turbidez, utilizando uma sonda multiparâmetro Horiba U52. Em seguida, foram coletados 3 litros de água da superfície com o auxílio de garrafas de vidro âmbar estéreis. As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas com gelo para transporte até o laboratório, onde foram armazenadas em freezer a  $-4^{\circ}\text{C}$  até o momento da análise.

### 2.3 REAGENTES, SOLVENTES E PADRÕES

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

### 2.4 MÉTODO DE EXTRAÇÃO DE RESÍDUOS DE BISFENÓIS EM ÁGUA E PEIXES POR GC-MS

Para análise das amostras de água, foram coletados 3 litros de água por ponto de coleta, a uma profundidade de no mínimo 10 cm, contra a corrente, sendo coletas realizadas em frascos esterilizados de 1 litro cada, totalizando 3 frascos por ponto, no mês de agosto de 2024. As amostras de água após coletadas foram armazenadas em recipientes térmicos para transporte até o laboratório. No laboratório as amostras foram congeladas e armazenadas para posterior procedimento de extração e análise cromatográfica.

As extrações foram realizadas cartuchos de extração em fase sólida SPE (SPE do inglês, Solid Phase Extraction) ABS Elut Nexus (60 mg / 3mL – Agilent) para os bisfenóis e Nvus WCX (60 mg /3 mL - Agilent) para os bisfenóis com fluxo de 10 mL min<sup>-1</sup>, após a adsorção dos bisfenóis, o cartucho é lavado com 10 mL de água ultrapurificada, seguido de secagem do cartucho sob vácuo, por 20 min, para eliminar traços de água e a eluição dos compostos é realizada com 3 mL de acetato de etila, seguido de eluição com 3 mL de diclorometano. As alíquotas finais foram combinadas, concentradas por fluxo de N<sub>2</sub> à secura e ressuspensionado para um vial de 2 mL com diclorometano e, em seguida, foram submetidas à análise por GC-MS.

Após o preparo das amostras de peixes com a separação de brânquia e músculo, o método de extração utilizado para peixes foi o método QuEChERS, adicionando 10 g de amostra em um tubo Falcon contendo 4 g de MgSO<sub>4</sub>, 1g de NaCl e 15 mL de acetonitrila. As amostras foram agitadas vigorosamente por 5 min em vórtex, 30 min em banho ultrassom, e centrifugadas a 4.000 rpm por 10 min. O sobrenadante foi transferido para outro tubo contendo 50 mg de PSA, 150 mg de C18 e 500 mg de MgSO<sub>4</sub>, agitados por 5 min e centrifugados por 10 min a 4.000 rpm. O sobrenadante foi novamente separado, evaporado em temperatura ambiente e ressuspensionado com acetato de etila, acondicionado em vial e submetido à análise cromatográfica por GC-MS.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As concentrações de bisfenóis e compostos análogos detectados nas amostras de água superficial e de peixes coletadas na bacia do rio Pirapó estão resumidas na **Tabela 2**. A detecção simultânea desses compostos em matrizes distintas reforça a preocupação com a persistência ambiental e o potencial de bioacumulação desses desreguladores endócrinos.

**Tabela 2:** Detecção de Bisfenol e seus análogos nos pontos de coleta analisados para amostras de água e peixes.



Compostos:	Tr (min)	Pontos / análise de água	Pontos / análise de peixe
Bisfenol A	16,85	1, 2, 3, 4, 5 e 6	2, 4 e 5
Bisfenol E	15,56	4 e 5	4
Bisfenol F	14,45	2, 3, 4, 5 e 6	2, 4, 5 e 6
Bisfenol S	18,43	2, 3, 4, 5 e 6	2, 4, 5 e 6
Bisfenol Z	19,87	3, 4 e 5	n.d.
Diisooctil ftalato	20,105	1, 2, 3, 4, 5 e 6	2, 3, 4, 5 e 6
Bisfenol AF	15,740	4	n.d.
Bisfenol Fbis	14,140	4	n.d.

Tr = tempo de retenção em minutos; n.d. = não detectado.

O Bisfenol A (BPA) foi detectado em todos os pontos de coleta de água (P1 a P6) e em peixes dos pontos P2, P4 e P5. Essa ampla distribuição está em concordância com a literatura, que o aponta como o bisfenol mais prevalente em ambientes aquáticos. (Zhang et al., 2019).

O Bisfenol E (BPE) foi identificado nas águas dos pontos P4 e P5 e em peixes do ponto P4. Sua presença corrobora estudos que apontam sua utilização como substituto do BPA, sem que haja uma diminuição proporcional dos riscos toxicológicos (Rosenmai et al, 2014).

O Bisfenol F (BPF) esteve presente nas águas dos pontos P2 a P6 e nos peixes dos pontos P2, P4, P5 e P6. Este composto também é amplamente utilizado como substituto do BPA, mas estudos indicam que seu perfil toxicológico pode ser tão preocupante quanto o do composto original (Zhang et al., 2019).

O Bisfenol S (BPS) foi encontrado em cinco pontos de água (P2 a P6) e em peixes dos mesmos pontos, com exceção de P3. Como apontado por Sun et al. (2023), o BPS tem sido cada vez mais utilizado como alternativa “livre de BPA”, mas evidencia toxicidade comparável e persistência ambiental relevante.

O Bisfenol Z (BPZ) foi identificado apenas nas águas dos pontos P3, P4 e P5, não sendo detectado nas amostras de peixes. No entanto, trabalhos prévios (Zhang et al., 2019) já indicaram que o BPZ pode alcançar concentrações elevadas (até 6.452,8 ng·L<sup>-1</sup>).

O Diisooctil ftalato (DIOP) foi detectado em todas as amostras de água e peixe, sendo o composto com maior ubiquidade no estudo. Apesar de não ser um bisfenol, sua estrutura lipofílica e ampla utilização favorecem sua persistência e bioacumulação. Cao *et al* (2025).

O Bisfenol AF (BPAF) e o Bisfenol Fbis (BPFbis) foram detectados exclusivamente na água do ponto P4, não sendo encontrados nos peixes. O BPAF, embora menos prevalente, é descrito por Zhang et al. (2019) como um dos análogos mais potentes em termos de atividade estrogênica. Já o BPFbis, ainda pouco estudado, pode representar um marcador de fontes específicas de contaminação ou de descarte industrial.

Em síntese, os resultados evidenciam a presença de múltiplos bisfenóis e plastificantes em diferentes compartimentos da bacia do rio Pirapó, com destaque para BPA, BPF e BPS, que foram detectados tanto em água quanto em tecidos de peixes, indicando risco potencial de bioacumulação. Comparados com dados internacionais, as concentrações observadas neste estudo estão dentro da faixa de variação global, mas revelam padrões de uso e descarte localmente significativos.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa desenvolvida demonstrou a presença de bisfenóis e seus derivados em diversos pontos de coleta ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó, confirmando a contaminação ambiental por esses compostos. Os resultados obtidos evidenciaram a presença destes, com destaque para o Bisfenol A (BPA), BPF e BPS, detectados tanto em água quanto em peixes, indicando potencial de bioacumulação. O Bisfenol Z (BPZ) foi identificado em concentrações significativas em água, demonstrando sua persistência



ambiental. Compostos como BPE e BPAF, também foram detectados, reforçando a necessidade de ampliar o monitoramento e a avaliação toxicológica desses análogos. Os achados demonstram a importância de monitorar os bisfenóis, cuja presença recorrente em água superficial e organismos aquáticos evidencia um risco potencial à saúde ecossistêmica e humana. Os dados obtidos reforçam a urgência de ações integradas de monitoramento ambiental, especialmente em áreas de captação de água para abastecimento público, além da necessidade de aprofundar a avaliação ecotoxicológica desses contaminantes emergentes. Esse estudo contribui significativamente para o diagnóstico da contaminação por bisfenóis em bacias hidrográficas brasileiras e pode subsidiar políticas públicas voltadas à gestão de resíduos plásticos, à regulamentação de compostos químicos emergentes e à preservação da qualidade dos recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS

BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Desreguladores endócrinos no meio ambiente: efeitos e consequências. *Química Nova*, v. 30, p.651-66, 2007.

CAO, J *et al.* Derivation of the oral reference dose (RfD) for bisfenol S and bisfenol F based on epidemiological and experimental studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.293, 118045, 2025.

CAS - CHEMICAL ABSTRACTS SERVICE. Disponível em: <https://www.cas.org/>. Acesso em: 07 de março 2025.

CHANG, H. S *et al.* The methods of identification, analysis and removal of endocrine disrupting compounds (EDCs) in water. *Journal of Harzadous Materials*, v. 172, p. 1-12, 2009.

DIAMANTI-KANDARAKIS, E. *et al.* Endocrine-disrupting chemicals: an Endocrine Society scientific statement. *Endocrine Reviews*, v. 30, n. 4, p. 293–342, 2009.

MARCONETTO *et al.* Principales disruptores endócrinos vinculados con salud reproductiva. *Medicina*. Buenos Aires, 2022; 82: 428-438.

ROSENMAI, A. K *et al.* Are Structural Analogues to Bisphenol A Safe Alternatives?, *Toxicological Sciences*, v. 139(1), p. 35–47, 2014.

C. F. V. SCOPEL *et al.* BPA toxicity during development of zebrafish embryo. *Braz. J. Biol.*, 2021, vol. 81, no. 2 pp.437-447.

SUN F. J *et al.* BPA and its alternatives BPF and BPAF exaggerate hepatic lipid metabolism disorders in male mice fed a high fat diet. *Sci. Total Environ.* 867, 161521, 2023.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME AND THE WORLD HEALTH ORGANIZATION (UNEP & WHO). *State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals - 2012*. Geneva, Switzerland, 2013. 260p.

ZHANG, H *et al.* Occurrence and exposure assessment of bisphenol analogues in sources water and drinking water in China. *Science of The Total Environment*, v. 655, p. 607-613, 2019.