



MONITORAMENTO E ANÁLISE DE CONTAMINAÇÃO DE RESÍDUOS DE BISFENOL EM ÁGUA MINERAL SEM GÁS E COM GÁS NA REGIÃO DE MARINGÁ-PR

Emylaine Pereira dos Santos¹, Melissa Wan Ling Wu Bezerra², Giulia Boito Reyes³, José Eduardo Gonçalves^{4,5}

¹Acadêmica do Curso de Biomedicina, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. Bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC/-ICETI). emylainepereira4@gmail.com

² Acadêmica do Curso de Biomedicina, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. Melissa.wanlingwu@gmail.com

³ Mestranda do Curso de Pós Graduação em Tecnologias Limpas, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. Bolsista Fundação Araucária. Giuliaboito18@gmail.com

⁴Orientador, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas – PPGTL, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar – UNICESUMAR.

⁵ Pesquisador do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI, Maringá/PR. Jose.goncalves@unicesumar.edu.br

RESUMO

A qualidade da água é um fator essencial para múltiplas finalidades, e a análise da água mineral como unidade de estudo pode refletir diretamente nas condições ambientais ao redor. Com o avanço da tecnologia e o crescimento da produção industrial, observa-se também um aumento expressivo na quantidade de resíduos plásticos presentes no meio ambiente, especialmente em recursos hídricos. Atualmente, esses resíduos — em escala nano e micro — já foram identificados em alimentos, no solo, no ar e na própria água. Entre os compostos associados, os Bisfenóis se destacam por sua toxicidade, podendo ocasionar diversos impactos à saúde humana. Diante disso, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia voltada à quantificação de Bisfenóis e seus derivados em diferentes marcas de água mineral, tanto com gás quanto sem gás, acondicionadas em embalagens de policarbonato (PC), no município de Maringá-PR. A etapa metodológica será conduzida em condições controladas no Laboratório Interdisciplinar de Análises Biológicas e Químicas (LIABQ), visando determinar limites de detecção e quantificação específicos para cada tipo de Bisfenol. Os resultados esperados permitirão validar uma metodologia analítica para avaliação desses compostos em águas minerais, contribuindo com dados relevantes sobre a contaminação por Bisfenol na região de Maringá-PR. Assim, este estudo poderá colaborar tanto para a proteção da saúde pública quanto para subsidiar políticas de segurança alimentar.

PALAVRAS-CHAVE: Análise química; Poluição da água; Resíduo plástico.

1 INTRODUÇÃO

O estudo de novos elementos químicos e de suas propriedades singulares tem favorecido a criação de diferentes compostos, transformando os processos produtivos e fomentando inovações tecnológicas. Até o início do século XX, o termo “plástico” não existia. Contudo, com os progressos alcançados na química orgânica e sintética ao longo desse período, surgiram os plásticos, também conhecidos como polímeros sintéticos, que passaram a compor de forma essencial a vida moderna. A versatilidade desses materiais permitiu o surgimento de inúmeros produtos e técnicas inovadoras, impactando significativamente os modos de produção e a forma de interação humana com o ambiente (ARAÚJO et al., 2017).

O crescimento da industrialização, ao longo das décadas, proporcionou a ampliação expressiva da produção global de materiais plásticos. Entretanto, a maior parte desses plásticos não apresenta caráter biodegradável, o que resulta em acúmulo contínuo e persistente de resíduos no meio ambiente (JEHANNO et al., 2022).

Essa problemática se intensifica à medida que os resíduos plásticos sofrem degradação em razão das condições ambientais, originando partículas microscópicas denominadas microplásticos (0,1 µm a 5 mm) e nanoplásticos (menores que 0,1 µm). Essas



partículas, devido ao seu tamanho reduzido, possuem ampla capacidade de dispersão, tanto em ambientes aquáticos quanto atmosféricos (SONG et al., 2017).

Entre os compostos relacionados à produção plástica, destaca-se o Bisfenol A, utilizado de forma extensiva em diversas aplicações. Esse composto está presente em mamadeiras, brinquedos, utensílios domésticos, garrafas de água reutilizáveis, recipientes de bebidas como cervejas e refrigerantes, embalagens de alimentos infantis, além de ter aplicações na área médica e odontológica, em resinas destinadas a implantes e restaurações (BESERRA et al., 2012).

Na atualidade, os polímeros plásticos também funcionam como vetores de contaminantes químicos e de microrganismos patogênicos, processo que ocorre por meio da sorção na chamada “plastisfera”, interface formada entre os plásticos e os biofilmes ambientais. Esse fenômeno representa um risco crescente, pois o acúmulo de poluição plástica e a degradação desses materiais podem ameaçar tanto a saúde humana quanto a sustentabilidade ecológica (RAI et al., 2022).

Estudos apontam que mesmo concentrações reduzidas de Bisfenol no organismo humano são capazes de provocar sérios danos à saúde, incluindo infertilidade, alterações endócrinas e efeitos negativos relacionados a diabetes, câncer, obesidade e doenças cardiovasculares (BESERRA et al., 2012).

A mensuração da contaminação por compostos fenólicos, como o Bisfenol e seus derivados, provenientes da degradação de plásticos, ainda representa um desafio, sobretudo na etapa de extração desses compostos em amostras de água. O propósito da extração é remover os analitos da matriz ambiental, por meio de solventes, gases ou fluidos supercríticos, de maneira que sejam obtidos os compostos de interesse com mínima interferência de substâncias não desejadas (USEPA, 2018).

Para a análise de poluentes orgânicos, a técnica de extração considerada ideal deve ser seletiva, apresentar altos índices de recuperação, ser aplicável a diferentes classes de compostos e matrizes, além de reduzir ao máximo o uso de solventes. No entanto, não existe ainda um único método que atenda a todos esses requisitos. Algumas estratégias, utilizando fases sólidas, gases ou fluidos supercríticos, têm sido aplicadas em análises de água, sedimentos e organismos aquáticos, mas sua eficiência varia conforme o tipo de técnica, o solvente e a matriz avaliada (USEPA, 2018).

Pesquisas recentes demonstram que a cromatografia é uma alternativa eficaz para a análise de múltiplos resíduos de bisfenóis [bisfenol A (BPA), bisfenol B (BPB), bisfenol C (BFC), bisfenol E (BPE), bisfenol F (BPF), bisfenol P (BPP), bisfenol S (BPS), bisfenol Z (BPZ), bisfenol AF (BPAF), bisfenol AP (BPAP), éteres diglicídicos de bisfenol [bisfenol F diglicidil éter (BFDGE), bisfenol A diglicidil éter (BADGE)] e seus derivados [BADGE·2H₂O, BADGE·H₂O, BADGE·HCl·H₂O, BADGE·HCl, BADGE·2HCl e BFDGE·2HCl]], sendo, portanto, uma técnica promissora para a identificação da poluição por plásticos (ALABI et al., 2014; WANG et al., 2020).

O levantamento de publicações em bases indexadas, como o ISI Science Direct, utilizando as palavras-chave “microplásticos” e “nanoplásticos”, mostra crescimento expressivo de estudos: 12.307 trabalhos sobre microplásticos e 2.348 sobre nanoplásticos. Tal aumento evidencia a urgência de medidas para enfrentar essa problemática. Pesquisas recentes também apontam que micro e nanoplásticos possuem alta capacidade de penetração em órgãos como pulmões e intestinos, bem como em células específicas, como pulmonócitos e enterócitos. Esses fragmentos são reconhecidos como corpos estranhos, capazes de desencadear reações imunológicas e estresse oxidativo, sugerindo que os resíduos plásticos podem impactar organismos de diferentes níveis biológicos (BANERJEE et al., 2021; DeLOID et al., 2021; YANG et al., 2021; LI et al., 2022a; WEBER et al., 2022; ZHANG et al., 2022; YANG e WANG, 2022).



Em humanos, já foram identificados resíduos plásticos em sangue, fezes e até mesmo na placenta, reforçando as possíveis vias de exposição: inalação do ar contaminado, contato com a pele e ingestão de alimentos e água. Apesar da ausência de estudos in vivo conclusivos em humanos, experimentos in vitro com células humanas demonstraram que a presença desses resíduos pode induzir inflamações severas e estresse oxidativo, chegando até mesmo à morte celular. Tais achados reforçam as preocupações da comunidade científica sobre os riscos crescentes da poluição plástica para a saúde pública global (ZHANG et al., 2020; ZHANG et al., 2021; YANG et al., 2022; YUAN et al., 2022).

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo propor o desenvolvimento de uma metodologia analítica multirresíduo baseada no método de extração em fase sólida (SPE) e na quantificação de Bisfenol e seus derivados por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS). O estudo também pretende avaliar a presença desses compostos em amostras de água mineral, com e sem gás, envasadas em policarbonato (PC), de diferentes marcas disponíveis no mercado de Maringá-PR.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução do projeto, serão selecionadas diferentes marcas de água mineral engarrafadas em recipientes de policarbonato (PC), priorizando aquelas mais comumente encontradas no comércio local de Maringá-PR. As amostras serão coletadas em garrafas de 1 litro, totalizando 2 litros de cada marca para atender às condições experimentais estabelecidas. As análises serão conduzidas em temperatura ambiente e após 24 horas de exposição a condições controladas de 40 °C e 60 °C, a fim de verificar possíveis variações na liberação dos compostos estudados.

Os reagentes, solventes e padrões empregados serão todos de grau HPLC, assegurando maior confiabilidade nos resultados. Entre os padrões a serem utilizados estão os bisfenóis A, diglycidyl ethers, AP, AF, B, C, E, F, Fbis, S e Z. Como solventes e reagentes, serão utilizados metanol HPLC e acetato de etila UV/HPLC. As águas minerais analisadas serão provenientes exclusivamente do comércio local, garantindo a representatividade da região estudada.

A extração dos resíduos de bisfenol e seus derivados será realizada por meio da técnica de extração em fase sólida (SPE, do inglês Solid Phase Extraction), utilizando cartuchos SPE Bond Elut Nexus 60 mg/3 mL, com fluxo controlado de 10 mL/min. As amostras serão analisadas em temperatura ambiente e também após exposição às temperaturas controladas já mencionadas. Após a adsorção dos bisfenóis, os cartuchos passarão por secagem sob vácuo durante 20 minutos, visando a completa remoção da umidade residual. Em seguida, os compostos serão eluídos com 3 mL de acetato de etila, seguido por 3 mL de metanol. As frações obtidas serão combinadas, evaporadas até a secura e ressuspensas em 2 mL de acetato de etila, sendo então destinadas à análise cromatográfica por GC-MS.

As análises serão realizadas em um cromatógrafo a gás Agilent 7890B, equipado com injetor automático (CTC PAL Control) e acoplado a um espectrômetro de massas Agilent 5977A MSD. O sistema será configurado com uma coluna HP-5MS UI Agilent, contendo fase estacionária de 5% de fenil metil siloxano, com dimensões de 30,0 m x 250 µm de diâmetro interno e 0,25 µm de espessura do filme. O método analítico seguirá a seguinte programação de temperatura do forno: início a 92 °C, mantido por 2,5 minutos; rampa de 15 °C/min até 175 °C, com manutenção por 13 minutos; seguida de rampa de 20 °C/min até 280 °C, mantido por 15 minutos.



As demais condições cromatográficas incluirão volume de injeção de 1,0 µL, fluxo do gás de arraste (hélio, pureza 99,99999%) ajustado para 1,0 mL/min, ionização por impacto eletrônico de 70 eV, temperatura da fonte de ionização de 230 °C, do quadrupolo de 150 °C, da linha de transferência de 280 °C e do injetor de 250 °C. A aquisição dos dados será realizada por meio do software MassHunter, enquanto a análise qualitativa dos espectros de massas será conduzida utilizando a biblioteca NIST 11.

3 RESULTADOS ESPERADOS E DISCUSSÕES

Espera-se que os dados deste projeto possam contribuir para resultados fidedignos da presença ou ausência de bisfenóis nas garrafas de água mineral, visando fornecer informações importantes sobre a contaminação, contribuindo para a proteção da saúde pública e o desenvolvimento de políticas de segurança alimentar.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste estudo é relevante por abordar a presença de bisfenóis em águas minerais comercializadas no município de Maringá-PR, tema diretamente ligado à saúde pública e à segurança alimentar. A aplicação da metodologia proposta permitirá ampliar o conhecimento científico acerca da contaminação por compostos derivados do plástico, fornecendo subsídios para futuras pesquisas na área. Além disso, os resultados obtidos poderão contribuir para estratégias de monitoramento e regulamentação, reforçando a importância de práticas que visem à redução da exposição humana a contaminantes químicos presentes em produtos de consumo diário.

REFERÊNCIAS

ALABI, A.; CABALLERO-CASERO, N.; RUBIO, S. **Quick and simple sample treatment for multiresidue analysis of bisphenols, bisphenol diglycidyl ethers and their derivatives in canned food prior to liquid chromatography and fluorescence detection.** Journal of Chromatography A, 1336, 23–33, 4 de abr. de 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2014.02.008> Acesso em: 10/05/2025

ARAÚJO, J., V., S.; JUNIOR, A., M., C.; OLIVEIRA, G., C., P.; PALOMBIT, K. **Bisfenol A: Possíveis efeitos e danos ao organismo** - Revisão de literatura. JIBI, 2017. Disponível em: <https://comunicata.ufpi.br/index.php/jibi/article/view/5699/3799> Acesso em: 10/05/2025

BANERJEE, A.; BILLEY, L. O.; SHELVER, W. L. **Uptake and toxicity of polystyrene micro/nanoplastics in gastric cells: Effects of particle size and surface functionalization.** PLOS ONE, China, 16(12), e0260803, 31 de dez. de 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260803> Acesso em: 10/05/2025.

BESERRA, M., R.; PEREIRA, C., S., S.; SCHIAVINI, J., A.; RODRIGUES, W., C. **O Bisfenol A: Sua Utilização e a Atual Polêmica em Relação aos Possíveis Danos à Saúde Humana.** Revista eletrônica TECCEN, 2012. Disponível em: <https://editora.univassouras.edu.br/index.php/TECCEN/article/view/478> Acesso em: 11/05/2025.

DELOID, G. M.; CAO, X., BITOUNIS, D.; SINGH, D.; LLOPIS, P. M.; BUCKLEY, B.;



DEMOKRITOU, P. **Toxicity, uptake, and nuclear translocation of ingested micro 10 nanoplastics in an in vitro model of the small intestinal epithelium.** Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association, 158, 112609, dez. de 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112609> Acesso em: 12/05/2025.

JEHANNON, C.; ALTY, J. W.; ROOSEN, M.; DE MEESTER, S.; DOVE, A. P.; CHEN, E. Y.; LEIBFARTH, F. A., SARDON, H. (2022). **Critical advances and future opportunities in upcycling commodity polymers.** Nature, 603(7903), 803–814, mar. de 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04350-0> Acesso em: 12/05/2025.

LI, L.; XU, Y.; LI, S.; ZHANG, X.; FENG, H.; DAI, Y.; ZHAO, J.; YUE, T. **Molecular modeling of nanoplastic transformations in alveolar fluid and impacts on the lung surfactant film.** Journal of hazardous materials, 427, 127872, abr. de 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127872> Acesso em: 12/05/2025.

LI, Y.; XU, M.; ZHANG, Z.; HAMILU, G.; LI, Y.; LI, Y.; GU, W.; ZHANG, B.; WANG, X. (2022)b. **In vitro study on the toxicity of nanoplastics with diferente charges to murine splenic lymphocytes.** Journal of hazardous materials, 424(Pt B), 127508, fev. de 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127508> Acesso em: 12/05/2025.

RAI, P. K.; SONNE, C.; BRONW, R.; YOUNIS, S. A.; KIM, K. H. **Adsorption of environmental contaminants on micro- and nano-scale plastic polymers and the influence of weathering processes on their adsorptive attributes.** Journal of hazardous materials, 427, 127903, abr. De 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127903> Acesso em: 12/05/2025.

SONG, Y. K.; HONG, S. H.; JANG, M.; HAN, G. M.; JUNG, S. W.; SHIM, W. J. **Combined Effects of UV Exposure Duration and Mechanical Abrasion on Microplastic Fragmentation by Polymer Type.** Environmental science & technology, 51(8), 4368 4376, mar. de 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06155> Acesso em: 12/05/2025.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **METHOD 8270E – Semivolatile Organic Compounds By Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS), SW-846** Update VI, Revision 6, jun. de 2018. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/method_8270e_update_vi_06-2018_0.pdf Acesso em: 13/05/2025.

WANG, H.; LIU, Z.; TANG, Z.; ZHANG, J.; YIN, H.; DANG, Z.; WU, P.; LIU, Y. **Bisphenol analogues in Chinese bottled water: Quantification and potential risk analysis.** Science of The Total Environment, 713, 136583, abr. de 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136583>

WEBER, A.; SCHWIEBS, A.; SOLHAUG, H.; STENVIK, J.; NILSEN, A. M.; WAGNER, M.; RELJA, B.; RADEKE, H. H. **Nanoplastics affect the inflammatory cytokine release by primary human monocytes and dendritic cells.** Environment international, 163, 107173, mai. de 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107173> 11 Acesso em: 13/05/2025.



YANG, S.; CHENG, Y.; CHEN, Z.; LIU, T.; YIN, L.; PU, Y.; LIANG, G. In vitro evaluation of nanoplastics using human lung epithelial cells, microarray analysis and co-culture model.

Ecotoxicology and environmental safety, 226, 112837, dez. de 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112837> Acesso em: 13/05/2025.