

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA  
CURSO DE SAÚDE COLETIVA

EVIDÊNCIAS GLOBAIS EM BIOMONITORAMENTO HUMANO: REVISÃO  
SISTEMÁTICA DAS PRINCIPAIS EXPOSIÇÕES E DESFECHOS EM SAÚDE  
CORRELACIONADOS

Eduardo de Paula Nunes

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Saúde Coletiva da  
Universidade Federal de Uberlândia para a  
obtenção do grau de Bacharel em Saúde Coletiva

Uberlândia – MG

Abril/2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA  
CURSO DE SAÚDE COLETIVA

EVIDÊNCIAS GLOBAIS EM BIOMONITORAMENTO HUMANO: REVISÃO  
SISTEMÁTICA DAS PRINCIPAIS EXPOSIÇÕES E DESFECHOS EM SAÚDE  
CORRELACIONADOS

Eduardo de Paula Nunes  
Prof. Dr. Boscolli Barbosa Pereira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Saúde Coletiva da  
Universidade Federal de Uberlândia para a  
obtenção do grau de Bacharel em Saúde Coletiva

Uberlândia – MG

Abril/2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA  
CURSO DE SAÚDE COLETIVA

EVIDÊNCIAS GLOBAIS EM BIOMONITORAMENTO HUMANO: REVISÃO  
SISTEMÁTICA DAS PRINCIPAIS EXPOSIÇÕES E DESFECHOS EM SAÚDE  
CORRELACIONADOS

Eduardo de Paula Nunes

Aprovado pela Banca Examinadora em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.

Nota: \_\_\_\_\_

---

Prof. Dr. Boscolli Barbosa Pereira

Uberlândia, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA  
CURSO DE SAÚDE COLETIVA

EVIDÊNCIAS GLOBAIS EM BIOMONITORAMENTO HUMANO: REVISÃO  
SISTEMÁTICA DAS PRINCIPAIS EXPOSIÇÕES E DESFECHOS EM SAÚDE  
CORRELACIONADOS

Eduardo de Paula Nunes

Prof. Dr. Boscolli Barbosas Pereira (Orientador)  
Instituto de Geografia

Homologado pela Coordenação do Curso de Saúde Coletiva, em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Profa. Dra. Vivianne Peixoto da Silva  
Coordenadora do Curso de Saúde Coletiva

Uberlândia – MG  
Abril 2024

## AGRADECIMENTOS

À minha querida mãe, Stella de Paula Pereira, cujo amor e suporte incondicionais foram a luz que iluminou cada etapa da minha jornada. Sua força e determinação são a minha inspiração diária, e sem a sua presença constante, nada disso seria possível.

Para o meu irmão, Caio de Paula Nunes, a personificação do exemplo que almejo seguir. A robustez de seu caráter e sua abordagem resiliente diante dos desafios iluminam o caminho que percorro. Ele é, sem medida, um pilar fundamental em minha existência.

Minha avó, Carmen Silva de Oliveira, cuja sabedoria e apoio inabaláveis têm sido um porto seguro em minha vida. Seu respeito pelas minhas decisões sempre me incentivou a seguir meu coração e a perseguir meus sonhos com convicção.

À minha tia, Geralda de Oliveira, cujo apoio financeiro e emocional desde a infância foi fundamental para minhas conquistas. Sua generosidade e amor incondicional são tesouros que guardo com carinho.

Ao Prof. Dr. Boscolli Barbosa Pereira, por sua inestimável orientação, paciência e sabedoria. Sua dedicação não apenas enriqueceu minha experiência acadêmica, mas também me proporcionou valiosos conselhos que levarei comigo ao longo de minha carreira.

A Carlos Eduardo Alves Lopes, com quem divido a vida e todo o amor que resta em mim. Você é um dos pilares da minha paz e um dos maiores incentivadores da minha luta diária para alcançar meus sonhos. Sua presença é um constante lembrete do poder transformador do amor e da parceria.

A Badr Abou Pestana, seu conhecimento e dedicação foram cruciais para o sucesso de nosso trabalho científico. Sua colaboração não só enriqueceu a pesquisa, mas também fortaleceu nossa amizade.

Aos meus amigos, Karine Bassani, Gabriel Sousa, Vinicius Costa, Ana Beatriz, Larissa de Paula, Natalia Duarte e Joel Lisboa, cujo apoio, amizade e palavras de incentivo foram essenciais para superar os desafios e alcançar a linha de chegada. Vocês são uma parte fundamental desta conquista.

## RESUMO

**Introdução:** O biomonitoramento humano (BHM) representa uma ferramenta essencial para avaliar a exposição a substâncias químicas ambientais e seus impactos na saúde, frente aos desafios impostos pela diversidade e complexidade dos poluentes químicos modernos.

**Objetivo:** Sintetizar as atuais evidências científicas disponíveis acerca de estudos de biomonitoramento humano, considerando aspectos relacionados ao tipo de exposição, técnica, biomarcadores e desfechos associados em populações investigadas em diferentes continentes.

**Metodologia:** Este estudo adotou as diretrizes PRISMA para revisões sistemáticas e meta-análises, utilizando o método PICO para definir as perguntas de pesquisa e os critérios de inclusão dos estudos. Priorizou-se pesquisas com técnicas de biomonitoramento para avaliar exposições humanas e impactos na saúde, conduzindo buscas nas bases LILACS, PubMed e Web of Science sem restrições linguísticas ou geográficas. A seleção dos estudos, feita por dois revisores independentes, focou em trabalhos publicados entre 2019 e 2023, aplicando-se critérios de exclusão para garantir a relevância. O mapeamento geoespacial pelo software QGIS ofereceu uma análise global das pesquisas distribuídas por cinco continentes.

**Resultados:** Foram identificados, inicialmente, 3.038 artigos. A aplicação rigorosa de critérios de triagem e elegibilidade resultou na exclusão de 2.795 trabalhos, primariamente devido à temporalidade (2019-2023), irrelevância temática, classificação como literatura cinzenta, duplicidade, e não atendimento aos critérios da metodologia PICO. A análise subsequente focou em 96 artigos selecionados, demonstrando uma heterogeneidade geográfica significativa, com a maioria dos estudos localizados na Ásia (36,5%), seguida pela Europa (30,2%), América (17,7%), África (8,3%) e Oceania (7,3%). A composição demográfica dos participantes dos estudos revelou uma predominância do sexo feminino (59,6%) e uma concentração na faixa etária de 15 a 64 anos (75,6%). A investigação categorizou as exposições em cinco domínios principais: Ambiental (38,5%), Nutricional (20,8%), Habitacional (20,8%), Ocupacional (13,5%), e Farmacológico (6,3%). Entre as substâncias analisadas: Poluentes Atmosféricos (19,8%), Poluentes Orgânicos Persistentes (15,6%), e Metais (13,5%) foram as mais frequentes, fornecendo dados cruciais para o entendimento da distribuição e impacto dessas exposições no contexto global.

**Conclusão:** A análise sublinha a complexidade dos desafios na proteção da saúde pública frente à exposição ambiental. Identifica-se uma lacuna significativa no conhecimento acerca dos mecanismos de ação específicos desses contaminantes e a eficácia das estratégias de mitigação em vigor, bem como o desenvolvimento de métodos de biomonitoramento mais sensíveis e sua integração com políticas regulatórias.

**Palavras-chave:** Saúde Ambiental; Metais Pesados; Material Particulado; Biomarcadores; Poluentes Orgânicos Persistentes.

## ABSTRACT

**Introduction:** Human biomonitoring (HBM) represents an essential tool for assessing exposure to environmental chemicals and their health impacts, given the challenges posed by the diversity and complexity of modern chemical pollutants. **Objective:** To synthesize the current scientific evidence available on human biomonitoring studies, considering aspects related to the type of exposure, technique, biomarkers, and associated outcomes in populations investigated across different continents. **Methodology:** This study adopted the PRISMA guidelines for systematic reviews and meta-analyses, using the PICO method to define research questions and study inclusion criteria. We prioritized research employing biomonitoring techniques to assess human exposures and health impacts, conducting searches in the LILACS, PubMed, and Web of Science databases without language or geographical restrictions. Study selection, conducted by two independent reviewers, focused on works published between 2019 and 2023, applying exclusion criteria to ensure relevance. Geospatial mapping using QGIS software provided a global analysis of research distributed across five continents. **Results:** Initially, 3,038 articles were identified. Rigorous application of screening and eligibility criteria resulted in the exclusion of 2,795 works, primarily due to temporality (2019-2023), thematic irrelevance, classification as grey literature, duplication, and failure to meet PICO methodology criteria. Subsequent analysis focused on 96 selected articles, demonstrating significant geographic heterogeneity, with most studies located in Asia (36.5%), followed by Europe (30.2%), the Americas (17.7%), Africa (8.3%), and Oceania (7.3%). The demographic composition of study participants revealed a predominance of females (59.6%) and a concentration in the 15-64 age group (75.6%). The investigation categorized exposures into five main domains: Environmental (38.5%), Nutritional (20.8%), Residential (20.8%), Occupational (13.5%), and Pharmacological (6.3%). Among the substances analyzed, Atmospheric Pollutants (19.8%), Persistent Organic Pollutants (15.6%), and Metals (13.5%) were the most frequent, providing crucial data for understanding the distribution and impact of these exposures in the global context. **Conclusion:** The analysis underscores the complexity of challenges in protecting public health from environmental exposure. There is a significant gap in knowledge regarding the specific mechanisms of action of these contaminants and the effectiveness of current mitigation strategies, highlighting the need for more sensitive biomonitoring methods and their integration with regulatory policies.

**Keywords:** Environmental Health; Heavy Metals; Particulate Matter; Biomarkers; Persistent Organic Pollutants.

## INTRODUÇÃO

O biomonitoramento humano (BHM) emergiu como uma ferramenta importante na avaliação e compreensão da exposição humana a substâncias químicas ambientais, bem como em seus efeitos na saúde (Sexton; Needham; Pirkle, 2004). Em um contexto em que a sociedade contemporânea se depara com desafios decorrentes da crescente complexidade e diversidade de poluentes químicos, a demanda por técnicas precisas e sensíveis para monitorar a exposição humana torna-se urgente. No intuito de verificar a exposição da população a produtos químicos específicos e seus potenciais riscos à saúde, foram estabelecidos programas nacionais de BHM em várias nações (Choi *et al.*, 2015). Essas iniciativas representam um esforço colaborativo crucial para compreender as implicações de longo prazo da presença desses agentes químicos no corpo humano e para desenvolver estratégias de diagnóstico e mitigação baseadas em evidência.

O avanço tecnológico e a crescente industrialização têm impulsionado uma significativa expansão na produção e utilização de compostos químicos diversos, os quais frequentemente exibem características de persistência ambiental e bioacumulação. Esta disseminação de substâncias químicas antropogênicas tem gerado preocupações substanciais devido aos potenciais impactos sobre a saúde humana e ambiental (Czub; McLachlan, 2004).

A avaliação da exposição humana a contaminantes ambientais, ocupacionais, habitacionais, e farmacológicos revela uma preocupante negligência às complexidades e aos riscos potenciais que estas substâncias representam para a saúde pública. A inclusão de metais pesados, poluentes orgânicos persistentes, entre outros, na lista de agentes nocivos, destaca uma ameaça ambiental diversificada, cujos efeitos na saúde variam desde o desenvolvimento de doenças crônicas, como câncer e patologias cardiovasculares, até prejuízos significativos nos processos neurológicos e reprodutivos (Fu *et al.*, 2022; Lefebvre *et al.*, 2021; Mahler *et al.*, 2023).

No entanto, essa abordagem frequentemente é marcada pela generalização, falhando em desvelar a profundidade e a gravidade da situação. A detecção e a quantificação de contaminantes químicos, embora apoiada por métodos sofisticados, enfrentam desafios substanciais devido à presença dessas substâncias no ambiente de forma integrada, formando misturas complexas. Além disso, a análise das implicações para a saúde humana muitas vezes não alcança a profundidade necessária para uma compreensão integral dos riscos, carecendo de um enfoque mais crítico e detalhado que vá além da mera associação entre exposição e doença.

Este artigo, ao abordar os contaminantes mais monitorados e os impactos à saúde correlacionados, expõe uma crítica mais incisiva das metodologias de monitoramento, que muitas vezes não capturam a totalidade do espectro de exposições e seus efeitos cumulativos. Além disso, ao examinar as tendências geográficas e demográficas nas exposições, pouco se discute sobre as causas subjacentes das disparidades observadas, nem se explora suficientemente as consequências dessas desigualdades na distribuição da carga de contaminação entre diferentes populações.

A importância de adotar abordagens multidisciplinares no combate à contaminação ambiental é incontestável. Contudo, essa necessidade se torna insuficiente se não for acompanhada de uma avaliação crítica profunda das estratégias em vigor, bem como de uma análise cuidadosa das falhas sistêmicas nas políticas de regulamentação e nas práticas de mitigação de riscos. É fundamental que a discussão avance além da simples exposição de dados de biomonitoramento, questionando e revisando os modelos atuais no manejo de poluentes ambientais, visando o desenvolvimento de métodos mais eficientes e justos, que garantam a proteção da saúde pública contra essa ameaça constante.

Portanto, a presente revisão tem por objetivo sintetizar as atuais evidências científicas disponíveis acerca de estudos de biomonitoramento humano, considerando aspectos relacionados ao tipo de exposição, técnica, biomarcadores e desfechos associados em populações investigadas em diferentes continentes.

## **METODOLOGIA**

O presente estudo aderiu às diretrizes e procedimentos estabelecidos para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises - PRISMA (Galvão; Pansani; Harrad, 2015). Para avaliação dos artigos selecionados para a revisão de texto completo, foi utilizado o método PICO, que é uma estrutura utilizada na formulação de perguntas de pesquisa em contextos acadêmicos e de saúde (Santos; Pimenta; Nobre, 2007). Ele é composto por quatro elementos principais: Problema/Paciente/População (P), Intervenção (I), Comparação (C) e Resultados (O). Esses elementos fornecem uma estrutura sistemática para definir e delinear os componentes-chave de uma pergunta de pesquisa, facilitando assim a busca e avaliação de evidências relevantes (Santos; Pimenta; Nobre, 2007).

Na condução desta revisão sistemática, foram estabelecidos critérios de elegibilidade específicos para garantir a seleção apropriada dos estudos pertinentes ao biomonitoramento humano e seus impactos na saúde. Os critérios consideraram tanto as condições das populações-alvo quanto os desfechos relevantes para a análise. Para isso, foram incluídos estudos que

empregaram técnicas de biomonitoramento para avaliar exposições ambientais, habitacionais, farmacológicas, ocupacionais e nutricional em seres humanos, investigando os efeitos associados à saúde. Foram considerados elegíveis artigos originais, sem restrição de idioma, provenientes de qualquer país do mundo. Essa abordagem foi adotada para assegurar a inclusão abrangente de evidências pertinentes, independentemente da língua em que foram publicadas ou da origem geográfica dos estudos.

Na estratégia de busca, foram utilizados como fonte de pesquisa artigos científicos publicados em periódicos indexados nas bases de dados eletrônicas: Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), Publisher Medline (PubMed) e Web of Science. Foram utilizados os seguintes descritores em Ciências da Saúde (DeCS) da Biblioteca Virtual em Saúde combinado com operador booleano para a busca, a saber: “Human Biomonitoring” AND “Global”.

A condução da triagem dos dados nas publicações acessadas seguiu o seguinte protocolo: (i) dois revisores realizaram a triagem dos artigos, iniciando pela análise dos títulos e resumos - em casos de dúvida, os artigos eram examinados na íntegra para assegurar a conformidade com os critérios de inclusão; (ii) as discrepâncias identificadas foram objeto de discussão entre os revisores e resolvidas por consenso; e (iii) todas as publicações identificadas foram submetidas a uma revisão abrangente.

Na fase de seleção dos estudos, foram aplicados critérios de exclusão para garantir a relevância e qualidade dos artigos incluídos nesta revisão sistemática. Foram excluídos estudos que estavam fora do período delimitado, compreendendo os anos de 2019 a 2023, com o intuito de focar nas evidências mais recentes disponíveis. Além disso, foram identificadas e removidas duplicatas por meio de uma análise minuciosa dos registros bibliográficos. Literatura cinzenta, como relatórios técnicos, relatos de casos, resumos de conferências, artigos de revisão da literatura, revisões sistemáticas, meta-análises, dissertações, teses, trabalhos de conclusão de curso, livros ou capítulos de livros, também foram excluídos. Textos que não envolviam seres humanos em relação ao biomonitoramento e que não apresentavam ligação direta com o tema em questão foram descartados durante a triagem inicial.

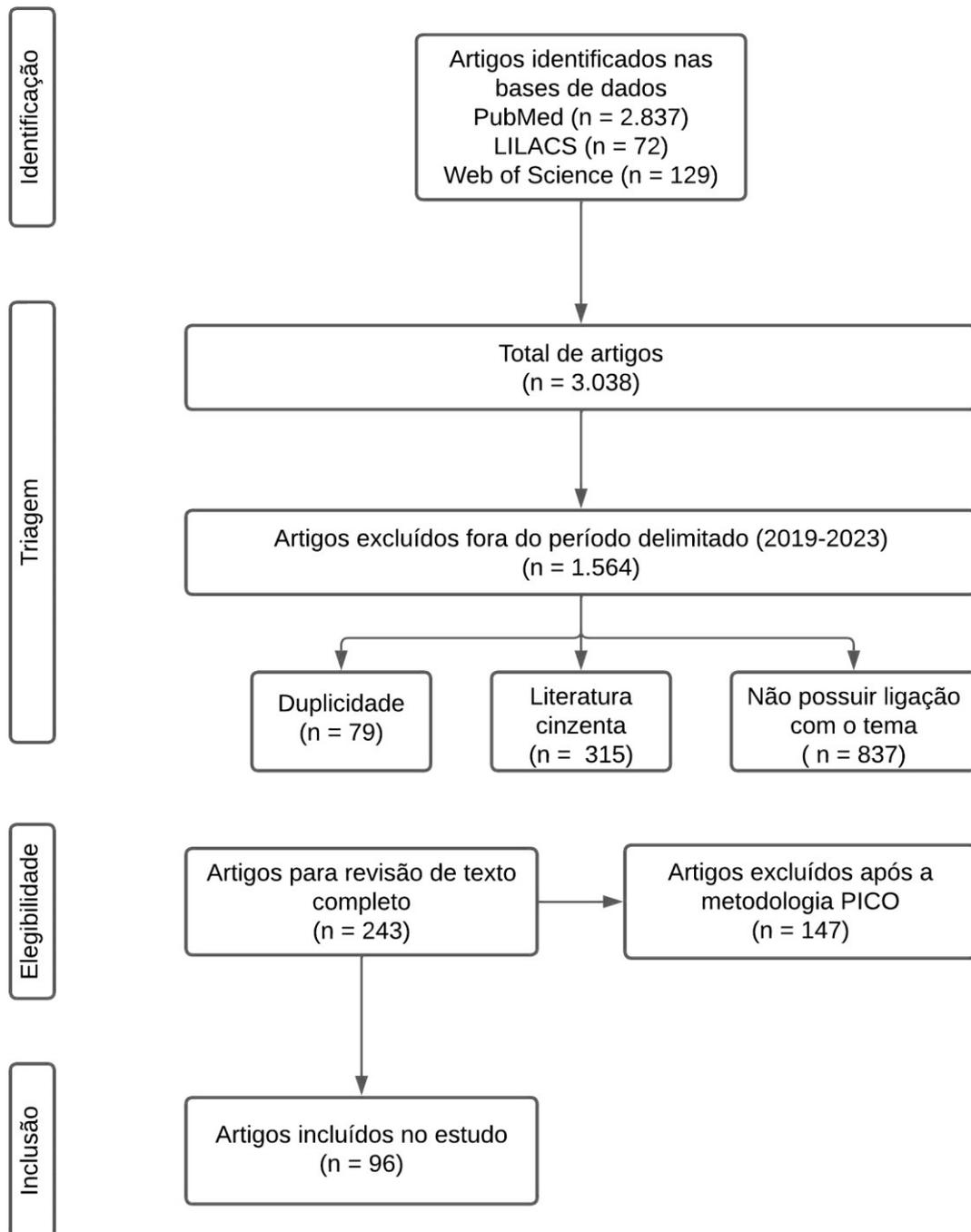
As categorias coletadas para extração de dados e síntese foram: autoria, título do artigo, ano da publicação, local de estudo e resumo da proposta de ‘Biomonitoramento Humano’.

Após o processo de revisão e seleção, a etapa seguinte consistiu em examinar detalhadamente as substâncias mencionadas nos trabalhos, com o objetivo de avaliar as que apresentavam maior frequência.

A determinação das substâncias de interesse baseou-se na frequência com que cada substância foi mencionada nos artigos selecionados. Foram avaliadas as substâncias que apresentaram frequência igual ou maior que cinco nos artigos selecionado. Esse processo de seleção e análise sublinha a importância de identificar as substâncias mais significativas e discutidas na literatura, garantindo que o foco da pesquisa esteja alinhado com as tendências e descobertas mais atuais acerca de seus efeitos, mecanismos de ação e modelos de biomonitoramento.

Para a cartografia geoespacial dos estudos incluídos foi utilizado o *Software Quantum GIS* – QGIS, versão 3.28.14. O uso desse programa permitiu o georreferenciamento dos dados das localizações dos estudos, possibilitando a representação visual em um mapa-múndi. Por meio dessa abordagem, os artigos foram categorizados e distribuídos nos continentes: África, América, Ásia, Europa, Oceania.

A variável faixa etária foi categorizada em três grupos distintos, seguindo as definições da OCDE para a população em idade ativa (15-64 anos). Esses grupos foram designados como: jovens (idades de 0 a 14 anos), trabalhadores (idades de 15 a 64 anos) e pós-trabalho (idades de 65 a 74 anos) (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, 2023).

**Figura 1.** Fluxograma da revisão sistemática

**Fonte:** Elaboração própria.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

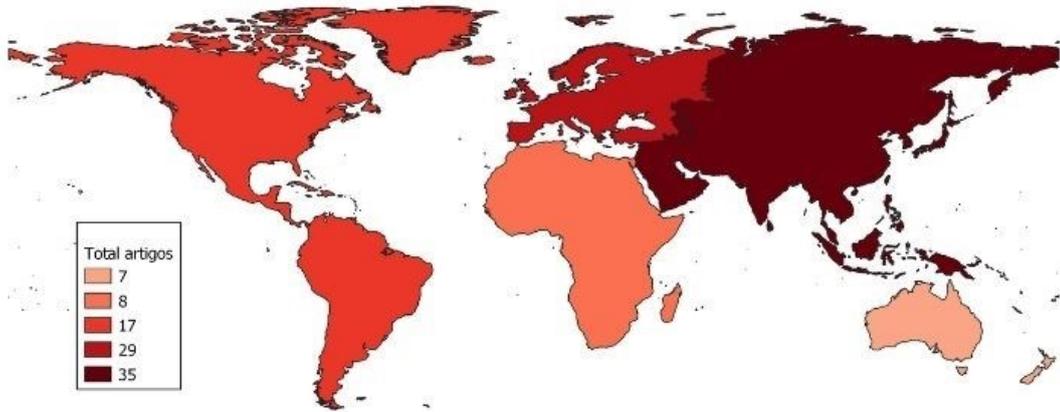
A pesquisa eletrônica realizada nas três bases de dados identificou um total de 3.038 artigos. Após a aplicação dos critérios de triagem e elegibilidade, 2.795 artigos foram excluídos. Destes, 1.564 estavam fora do intervalo temporal delimitado (2019-2023), 837 não estavam relacionados ao tema em análise, 315 foram classificados como literatura cinzenta, 79 estavam duplicados e 147 foram inelegíveis após a aplicação da metodologia PICO. Após a etapa de triagem e elegibilidade, um total de 96 artigos foram selecionados para análise (Figura 1).

De acordo com a Figura 2, a distribuição geográfica dos estudos incluídos revelou uma variação considerável entre os continentes. A maioria dos estudos estava localizada na Ásia (n = 35; 36.5%), seguida pela Europa (n = 29; 30.2%), América (n = 17; 17.7%), África (n = 8; 8.3%) e Oceania (n = 7; 7.3%).

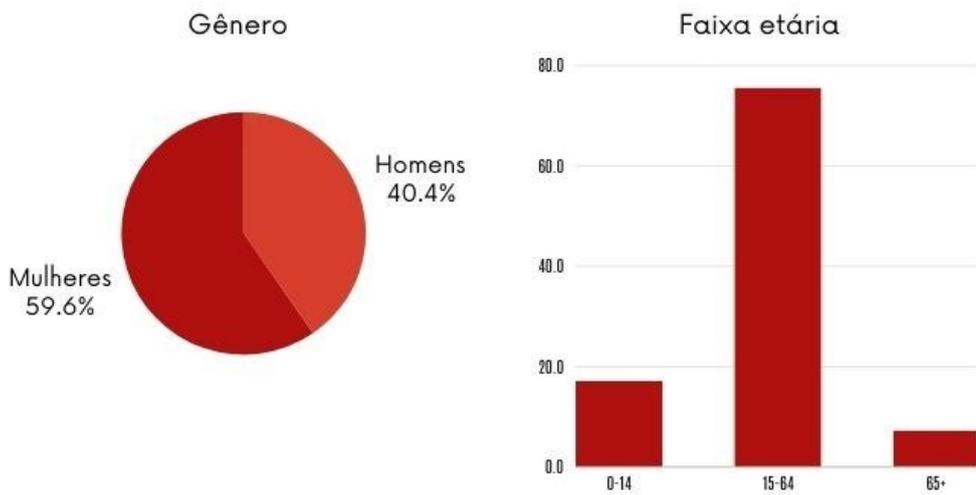
Em relação às características demográficas dos participantes analisados nos estudos selecionados, foi constatado que 59.6% eram do sexo feminino e 40.4% do sexo masculino. Quanto à distribuição por faixa etária, a maioria dos participantes, (75.6%), situava-se na faixa etária de 15 a 64 anos. Além disso, 17.1% estavam na faixa etária de 0 a 14 anos, enquanto 7.3% tinham 65 anos ou mais.

No que diz respeito às exposições, os dados foram categorizados em cinco domínios distintos para possibilitar a análise dos artigos: Ambiental (n = 37; 38.5%), Nutricional (n = 20; 20.8%), Habitacional (n = 20; 20.8%), Ocupacional (n = 13; 13.5%), e Farmacológico (n = 6; 6.3%). A frequência das substâncias investigadas foi: Poluentes Atmosféricos (n = 19; 19.8%), Poluentes Orgânicos Persistentes (n = 15; 15.6%), Metais (n = 13; 13.5%) e Micotoxinas (n = 6; 6.3%). Substâncias que não atingiram um patamar de frequência maior ou igual a cinco, conforme previamente definido, foram excluídas do escopo investigativo detalhado, sendo agrupadas sob a classificação "Outros" (n = 43; 44.8%). Esta escolha metodológica estratégica visa direcionar a atenção e esforços para aquelas substâncias com uma probabilidade significativamente maior de influenciar os resultados do estudo. Detalhes sobre essas substâncias, que não foram objeto de análise aprofundada, estão catalogados na Tabela 1. A seguir, são apresentados e discutidos os principais achados desta revisão, conforme os grupos de substâncias definidos.

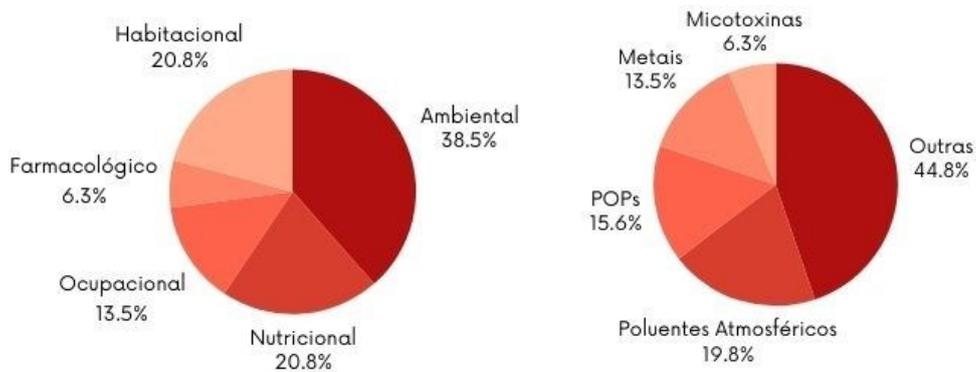
**Figura 2.** Infográfico com a distribuição mundial, características demográficas e contexto das exposições dos artigos selecionados no estudo.



**Características Demográficas**



**Contextos das Exposições**



Fonte: Elaboração própria.

## Poluentes Atmosféricos

A pesquisa realizada por Southerland *et al.* (2021) na Bay Area, Califórnia, expõe uma variação nos riscos à saúde decorrentes dos poluentes atmosféricos em diferentes bairros, sugerindo que a média de poluição da cidade como um todo é insuficiente para avaliar o risco real para indivíduos. Utilizando dados de alta resolução e modelos avançados de monitoramento, o estudo revelou discrepâncias significativas na mortalidade atribuída a poluentes como NO<sub>2</sub>, Carbono Negro e PM<sub>2.5</sub>. Essas descobertas sublinham a importância de estratégias de mitigação personalizadas, destacando a necessidade de políticas de saúde urbana e intervenções que priorizem áreas de alto risco, alinhando-se com princípios de equidade ambiental e considerando disparidades locais em saúde para uma abordagem mais eficaz na redução da exposição à poluição.

No estudo conduzido por Lodge *et al.* (2020), investigações revelaram uma associação entre a proximidade de residências a áreas abandonadas e a redução na produção de células T, cruciais para a função imunológica do organismo. O tráfego intenso nas proximidades não demonstrou impacto significativo sobre este biomarcador de saúde. A pesquisa aponta que viver perto de terrenos abandonados pode acelerar o envelhecimento do timo, órgão responsável pela maturação das células T, prejudicando assim a capacidade do corpo de combater infecções e doenças. Os resultados sugerem a necessidade de futuros estudos para replicar essas descobertas e investigar mais a fundo quais contaminantes específicos presentes nessas áreas podem estar contribuindo para este efeito adverso na saúde.

Dehghani *et al.* (2023) analisou a exposição doméstica aos poluentes atmosféricos e sua associação com doenças crônicas em idosos, com foco na correlação entre poluentes do ar interno, especialmente os Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP), e a prevalência de hipertensão, diabetes mellitus tipo 2 (DM2), e obesidade. Os resultados revelaram uma correlação positiva entre a exposição ao HAP e níveis elevados de colesterol LDL, além de uma associação significativa com alta pressão arterial sistólica, aumento do Índice de Massa Corporal (IMC) e DM2. O estudo também identificou uma correlação moderada entre o tabagismo e o desenvolvimento de DM2, hipertensão e obesidade. Foi observada uma tendência de aumento na prevalência de DM2 entre os idosos expostos ao HAP, apontando para um risco acentuado de hipertensão nessa população. Essas descobertas destacam a urgência de estratégias para reduzir a exposição a poluentes domésticos, visando prevenir doenças crônicas em idosos.

Cetkovic *et al.* (2023) focou na genotoxicidade dos poluentes atmosféricos em Sarajevo, Bósnia, avaliando os danos ao DNA em células bucais de 33 indivíduos durante as estações de

verão e inverno. Embora o ensaio do cometa não tenha indicado diferenças sazonais significativas nos danos ao DNA, o ensaio BMcyt revelou aumentos significativos nos efeitos genotóxicos durante o inverno. Esses achados destacam uma disparidade entre os métodos de avaliação genotóxica, com o ensaio BMcyt evidenciando uma maior sensibilidade para detectar variações sazonais nos danos genéticos associados à exposição aos poluentes atmosféricos. A ausência de diferenças significativas nos parâmetros do ensaio do cometa sugere a necessidade de uma análise mais aprofundada e a implementação de métodos complementares no biomonitoramento dos poluentes atmosféricos. Os resultados reforçam a importância de continuar o biomonitoramento em Sarajevo para entender melhor os impactos da poluição atmosférica na saúde humana, especialmente considerando as variações sazonais na qualidade do ar.

Segundo Vander Hoorn *et al.* (2021), a exposição prolongada a partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) está relacionada a um aumento nos níveis de triglicérides séricos e a uma redução do colesterol de alta densidade (HDL) em homens mais velhos, sugerindo um risco aumentado para doenças cardiovasculares. Não foram encontradas evidências de associação entre outros fatores de risco ou biomarcadores e a poluição do ar externo. Utilizou-se a concentração de carbono negro (BC) como indicador das variações temporais das concentrações de BC, devido à falta de dados disponíveis da rede fixa de monitoramento do ar para BC durante o período de estudo. Adicionalmente, o estudo sugere que são necessárias mais investigações para compreender as causas da associação entre a exposição prolongada ao PM<sub>2.5</sub> e os níveis elevados de triglicérides séricos, bem como a diminuição do colesterol HDL.

Na pesquisa conduzida por Van Veldhoven *et al.* (2019) os ensaios clínicos randomizados Oxford Street II (Londres) e TAPAS II (Barcelona) foram desenvolvidos com o objetivo de avaliar o impacto dos poluentes atmosféricos relacionada ao tráfego (TRAP) no metaboloma. Diferentes poluentes foram medidos em cada estudo, sendo cinco poluentes no estudo Oxford Street II e quatro no estudo TAPAS II. Após a análise, os autores identificaram associações significativas entre a TRAP e alterações em características metabólicas, com o estudo Oxford Street II evidenciando 29 características metabólicas associadas aos poluentes e o estudo TAPAS II apresentando 77 características associadas. No estudo Oxford Street II, a via da acil-carnitina, previamente vinculada a doenças cardiorrespiratórias, foi destacada como a principal via metabólica afetada pela TRAP. Notavelmente, houve uma mínima sobreposição nas características metabólicas identificadas entre os dois estudos, indicando que diferentes poluentes podem influenciar distintas vias metabólicas. Esta discrepância sugere a complexidade das interações entre poluentes específicos e o metaboloma humano, além de

reforçar a necessidade de abordagens individualizadas para compreender os mecanismos subjacentes pelo qual a TRAP afeta a saúde humana.

Munnia *et al.* (2023) revelaram uma conexão preocupante entre a poluição atmosférica e sérias alterações na saúde a nível molecular, particularmente entre policiais de trânsito expostos a níveis elevados de poluentes atmosféricos genotóxicos. Foi constatado que a exposição contínua a poluentes relacionados ao tráfego não só está ligada a mudanças na metilação do DNA, uma forma de alteração epigenética que pode afetar a expressão gênica, mas também ao aumento de adutos de DNA, que são complexos formados quando compostos genotóxicos se ligam ao DNA, podendo levar a mutações e, eventualmente, a doenças. Essas descobertas sublinham a necessidade crítica de implementar estratégias de saúde pública robustas para minimizar os impactos da do ar, protegendo assim a saúde dos expostos ocupacionalmente.

Estudo recente realizado por Ladd-Acosta *et al.* (2019) destacaram o impacto significativo da exposição pré-natal a poluentes atmosféricos, como o NO<sub>2</sub> e o O<sub>3</sub>, nas alterações epigenéticas dos fetos, incluindo mudanças globais, específicas de locais e diferenciadas por sexo na metilação do DNA. Tais alterações, identificadas tanto na placenta quanto no sangue do cordão umbilical, sugerem que o DNA metilado (DNAm) é um alvo biológico desses poluentes, com o sangue do cordão servindo potencialmente como tecido substituto para estudos de metilação. A descoberta de regiões diferencialmente metiladas (DMRs) específicas e a falta de replicação de locais específicos em pesquisas anteriores sublinham a complexidade dos efeitos dos poluentes atmosféricos na saúde pré-natal, e a necessidade urgente de estratégias preventivas para mitigar seus impactos no desenvolvimento fetal.

Com relação ao material particulado, um estudo realizado por Ruiz-Azcona *et al.* (2022) identificou que a exposição ao manganês (Mn) foi associada a uma função cognitiva mais deficiente. Para isso, foram utilizados monitores ambientais pessoais (PEMs) e biomarcadores para avaliar os níveis de exposição ao Mn, especialmente próximos a fontes de emissão industriais. Os resultados indicaram uma associação entre os níveis mais elevados de exposição ao Mn e resultados inferiores em testes cognitivos, evidenciando os potenciais impactos negativos do Mn na função cognitiva.

Por outro lado, em outro artigo publicado por Ruiz-Azcona *et al.* (2021), também conduzido na Espanha, comparou a função motora em relação à exposição ao manganês. Assim como em seu estudo anterior, foram utilizados monitores ambientais pessoais e biomarcadores para avaliar a exposição ao Mn. Os resultados deste estudo sugeriram uma relação entre níveis

mais elevados de exposição ao Mn e uma função motora comprometida, corroborando os achados e enfatizando os possíveis efeitos adversos do Mn Ruiz-Azcona *et al.* (2021, 2022).

Os autores Quindroit; Beaudouin; Brochot, (2019) utilizaram um modelo de farmacocinética baseado em fisiologia humana (PBPK) para estimar a exposição a piretróides na população francesa. Este estudo adotou uma abordagem diferente, focando na exposição a piretróides e seus metabólitos urinários. Os resultados revelaram valores baixos de margem de exposição (MOE) associados a altas concentrações de metabólitos urinários de piretróides, indicando possível preocupação com a exposição a esses compostos. No entanto, não foram identificados riscos esperados para a coorte ENNS (Estudo Nacional de Nutrição e Saúde) decorrentes da exposição a piretróides.

Qiu *et al.* (2022) investigou os efeitos da exposição ao cádmio (Cd) nos níveis de testosterona e na relação entre testosterona e estradiol (TE2) em homens. Os resultados revelaram associações positivas e significativas entre a exposição ao Cd e os níveis séricos de testosterona e TE2. Essas descobertas sugerem que a exposição ao Cd pode influenciar a saúde masculina e aumentar o risco de doenças relacionadas aos hormônios sexuais.

Puttaswamy *et al.* (2020) avaliou os benefícios à saúde da intervenção em fogões a gás liquefeito de petróleo (GLP) em países de baixa e média renda (LMICs), com foco na validação de métodos de medição de poluentes atmosféricos. Os resultados destacaram a viabilidade e confiabilidade do método HPLC-FLD para medições de metabólitos de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) em amostras de urina. No entanto, apesar da validação bem-sucedida, o estudo não forneceu dados sobre os impactos reais da intervenção em fogões a GLP na saúde das populações estudadas.

Pierrri *et al.* (2022) desenvolveu um modelo de biomonitoramento para avaliar o risco de exposição ambiental em populações suscetíveis na região da Campânia, Itália. O estudo adotou uma abordagem integrativa para identificar fontes de poluição, vias de migração e efeitos na saúde. Embora tenha fornecido dados valiosos sobre os riscos de exposição ambiental na região estudada, a aplicabilidade dos resultados pode ser limitada a contextos semelhantes, e mais pesquisas são necessárias para validar o modelo em outras regiões.

Neste estudo, conduzido por Peecher *et al.* (2022), os níveis de dioxinas, furanos e PCBs em recicladores de lixo eletrônico vietnamitas foram investigados. Os resultados revelaram níveis mais altos desses poluentes entre os recicladores em comparação com a população em geral, destacando os riscos de exposição ocupacional e ambiental associados a essa atividade. No entanto, a representatividade da amostra pode ser uma preocupação, pois o estudo não incluiu uma amostragem aleatória da população de recicladores.

Issah *et al.* (2021) examinaram a relação entre a exposição ao chumbo (Pb) e a metilação do DNA em trabalhadores de reciclagem de lixo eletrônico em Gana. Os resultados sugeriram uma ligação entre a exposição ao Pb e alterações epigenéticas, indicando potenciais riscos à saúde associados à exposição a metais pesados. No entanto, a interpretação dos resultados pode ser limitada pela falta de controle adequado de outros fatores de confusão que poderiam influenciar a metilação do DNA.

A pesquisa realizada no Vale do Rift da Etiópia emprega biomonitoramento para avaliar os níveis de metais e oligoelementos em uma região rural não industrializada. Foi quantificada a presença de 23 elementos tanto na água quanto na urina. Os resultados revelaram maiores concentrações médias de certos elementos em homens e indivíduos mais jovens, sugerindo possíveis variações na exposição relacionadas ao sexo e à idade Godebo *et al.* (2019). Embora tenha fornecido informações importantes sobre os níveis de exposição a metais na região estudada, a falta de dados de linha de base e a ausência de comparações com outras áreas geográficas podem limitar a interpretação dos resultados.

Calao-Ramos *et al.* (2021) investigaram a exposição ao mercúrio (Hg) entre os queimadores de amálgama, destacando concentrações significativamente maiores de Hg nos biomarcadores desses trabalhadores. Além disso, identificaram que o consumo de peixe e o tempo de mineração contribuíram para aumentar a carga corporal de Hg entre os trabalhadores. Observou-se também que diferentes práticas de mineração resultaram em diferentes níveis de exposição ao Hg, sugerindo uma relação entre as atividades laborais e os níveis de exposição ao metal. Ressaltou-se a necessidade de implementação de programas educacionais e o uso de equipamentos de segurança adequados na mineração de ouro para mitigar os riscos à saúde associados à exposição ao Hg. No entanto, destaca-se que a implementação eficaz desses programas é um desafio na Colômbia, indicando possíveis barreiras socioeconômicas ou institucionais que podem dificultar a adoção de medidas preventivas.

Yuan *et al.* (2022) Identificou a ingestão alimentar como um vetor primordial para a acumulação de parafinas cloradas (PCs) no organismo humano. Além disso, revelou-se um panorama de lacunas no conhecimento global relativo ao biomonitoramento e à exposição a esses compostos. Dados relevantes indicam uma contribuição significativa da dieta na carga corporal de PCs, acompanhada de correlações entre as fontes de exposição e os níveis plasmáticos dessas substâncias. A análise destaca as principais deficiências no entendimento global da dinâmica de exposição, enfatizando a urgente necessidade de progressos nesta área.

## **Micotoxinas**

Em relação às micotoxinas, Martins *et al.* (2020) analisaram especificamente a exposição ao Zearalenona (ZEN) e ao Ácido Hidroxibenzoico (AOH), constatando uma exposição próxima à ingestão diária tolerável para ZEN e concentrações elevadas de AOH em comparação com estudos anteriores. Esses achados sugerem uma preocupação com a saúde pública devido à exposição aos disruptores endócrinos.

Kyei *et al.* (2023) focaram na análise da relação entre a dieta materna contendo Ocratoxina A (OTA) e o risco de baixo peso ao nascer. Os resultados destacaram uma associação significativa entre a presença de OTA na dieta e maiores chances de baixo peso ao nascer, evidenciando um potencial efeito adverso dessa micotoxina na saúde fetal. Surpreendentemente, não foram encontradas evidências de associação entre a exposição a outras micotoxinas além da OTA e outros resultados adversos. Isso sugere que fatores adicionais podem influenciar esses desfechos e destaca a complexidade dos efeitos das micotoxinas na saúde humana. Diante da exposição generalizada às micotoxinas, o estudo ressaltou a importância de intervenções personalizadas de saúde pública para minimizar os riscos à saúde associados a esses compostos tóxicos.

Além disso, Kyei *et al.* (2022) investigaram a exposição múltipla a micotoxinas durante a gravidez na zona rural de Bangladesh. Os resultados revelaram uma exposição comum a essas substâncias nessa população, com padrões de exposição associados ao consumo de alimentos e estimulantes específicos. A identificação de uma relação entre o consumo de determinados alimentos e estimulantes e os níveis de micotoxinas detectados enfatiza a importância dos hábitos alimentares na exposição a esses compostos. Além disso, os resultados destacaram os riscos à saúde tanto para as mães quanto para os filhos associados à exposição às micotoxinas durante a gravidez, destacando a necessidade urgente de medidas preventivas e de controle para proteger essa população vulnerável.

Ezekiel *et al.* (2022) se concentraram em examinar a exposição a micotoxinas em bebês, tanto aqueles amamentados quanto aqueles não amamentados exclusivamente. Os resultados destacaram a presença generalizada desses compostos tóxicos (Aflatoxina M1, Dihidrocodeína, Esterigmatocistina detectada pela primeira vez, entre outras), evidenciando a necessidade de medidas preventivas para reduzir a contaminação por micotoxinas nas dietas domésticas. Além disso, o estudo utilizou dados de urina para tirar conclusões em coortes não amamentadas exclusivamente, oferecendo percepções sobre os padrões de exposição nesse grupo populacional específico.

Em contrapartida, Duarte *et al.* (2022), observaram uma ausência de exposição à Aflatoxina M1 (AFM1) em mulheres lactantes, enquanto as micotoxinas Zearalenona (ZEN) e

Ocratoxina A (OTA) estavam presentes no leite materno. Destaca-se que a contaminação por ZEN foi menor do que em estudos anteriores, enquanto a de OTA foi maior. Os níveis de ZEN foram associados ao consumo de biscoitos, enquanto os níveis de OTA foram associados ao consumo de nozes. Notavelmente, mães de bebês mais novos apresentaram níveis mais altos de OTA no leite materno. Embora a contaminação do leite materno não desencoraje a amamentação, os resultados ressaltam a importância da implementação de medidas preventivas para reduzir a exposição a micotoxinas.

Por fim, Braun *et al.* (2022) identificaram uma coocorrência frequente de micotoxinas em alimentos, leite materno e urina. No entanto, os benefícios da amamentação foram considerados superiores aos potenciais riscos de exposição a esses compostos na coorte estudada. Ressaltou-se a necessidade urgente de implementação de estratégias para minimizar a exposição a micotoxinas e xenobióticos, visando proteger a saúde das mães e dos lactentes.

## **Metais**

A pesquisa realizado por Bello *et al.* (2023), envolvendo mulheres em idade reprodutiva em Rondônia, Brasil, examinou a exposição ao mercúrio e sua relação com a amamentação e o ambiente de residência. Os resultados revelaram uma associação significativa entre a duração da amamentação e os níveis de mercúrio nas mães, sendo que mulheres que residiam em áreas ribeirinhas e rurais apresentaram os níveis mais elevados de mercúrio. Além disso, o estudo ressalta o uso do cabelo humano como um biomarcador confiável dos níveis de mercúrio provenientes da ingestão de peixes, indicando a necessidade urgente de implementação de um programa nacional de biomonitoramento para uma melhor compreensão desses níveis.

Adlard *et al.* (2021) exploraram em seu projeto MercuNorth, os níveis de mercúrio em mulheres grávidas nas regiões árticas. Os resultados revelaram variações nas concentrações de mercúrio no sangue entre as diferentes regiões, sendo mais elevadas em Nunavik e Groenlândia. No entanto, observaram-se diminuições significativas nessas concentrações ao longo do tempo, sugerindo uma possível eficácia das políticas de redução de emissões de mercúrio, conforme estabelecido pela Convenção de Minamata.

Packull-McCormick *et al.* (2022) identificaram concentrações ligeiramente elevadas de mercúrio no sangue de mulheres entre 19 e 43 anos. Alguns participantes excederam as concentrações recomendadas, destacando a necessidade de monitoramento e controle da exposição ao mercúrio. A proporção entre as concentrações de mercúrio no cabelo e no sangue foi maior do que o esperado, sugerindo variações nas fontes de exposição. Além disso, mulheres apresentaram níveis mais altos de mercúrio em comparação com as nascidas no Canadá,

indicando diferenças nas exposições ambientais entre populações. Esses achados reforçam a importância de políticas de controle e monitoramento do mercúrio para proteger a saúde pública.

Wiseman *et al.* (2019) analisaram as concentrações de mercúrio total, metil e inorgânico no sangue de mulheres imigrantes. Os resultados indicaram que as concentrações de mercúrio (Hg) no sangue estavam ligeiramente elevadas, com uma influência direta atribuída ao consumo de peixe. Esta elevação nas concentrações de Hg sublinha a importância de uma seleção cuidadosa das espécies de peixes consumidas, priorizando aquelas com baixos níveis de mercúrio para minimizar a exposição. Interessantemente, o estudo também destacou que alguns indivíduos excederam as concentrações de Hg recomendadas para mulheres em idade reprodutiva, enfatizando a necessidade de medidas de prevenção e monitoramento mais rigorosas nesta população.

A pesquisa de Freire *et al.* (2019) investigaram a relação entre a exposição *in utero* aos metais pesados Cádmio (Cd) e Cromo (Cr) e o desenvolvimento fetal, evidenciando que níveis elevados desses metais na placenta estão associados a um menor tamanho ao nascer, sem distinção significativa entre sexos. Além disso, níveis de Mercúrio (Hg) placentário foram vinculados a uma circunferência cefálica menor em meninas. Os autores recomendam a realização de estudos prospectivos mais amplos para confirmar esses achados e determinar períodos críticos de susceptibilidade ao impacto desses metais.

Nyanza *et al.* (2021) focaram em bebês nascidos de mães residentes em áreas de mineração artesanal de ouro no Norte da Tanzânia, encontrando exposições preocupantes a Pb, Hg, Cd e Arsênio (As) acima dos limites recomendados durante a gestação. A exposição ao Mercúrio mostrou-se particularmente correlacionada com riscos de deficiências neurodesenvolvimentais, tanto gerais quanto específicas da linguagem. Os resultados apontam para a urgente necessidade de intervenções que minimizem a exposição a esses neurotoxinas e promovam o desenvolvimento infantil saudável nessas comunidades.

O estudo liderado por Bramwell *et al.* (2022) examinaram o impacto do cultivo e consumo de alimentos produzidos em solos com alta concentração de Pb, concluindo que tal prática não elevou a carga corporal de Pb aos níveis de preocupação definidos pela pesquisa. Ainda assim, os autores aconselham a adoção de práticas preventivas contra a exposição ao Pb, recomendando ações como o uso de máscaras durante reformas, minimização do transporte de solo para ambientes internos, e a ingestão de dietas ricas em vegetais verdes, tanto por jardineiros urbanos quanto rurais.

Mahmood *et al.* (2023) analisaram a exposição a metais pesados e outros elementos em 141 crianças com idades entre 6 e 16 anos, predominantemente residentes em áreas industriais, evidenciando elevadas concentrações de As, Pb, Br, Cobre (Cu) e Selênio (Se) no organismo dos participantes. Interessantemente, foi observada uma associação entre altos níveis de Tálcio (Tl) no sangue e a prevalência de obesidade, enquanto níveis mais baixos de As foram vinculados a um menor peso corporal. Além disso, foram identificadas associações positivas entre o Cu, Se, Br e biomarcadores de disfunção hepática e renal, sugerindo um impacto adverso destes elementos na saúde hepática e renal das crianças estudadas. Além disso, revela variações significativas na exposição a Ni, Cu, As, Br e Mo entre crianças de diferentes áreas industriais, destacando a complexidade das associações entre a exposição a metais e a saúde. Sublinha a urgente necessidade de mais pesquisas e de medidas regulatórias e preventivas para mitigar a poluição ambiental e proteger a saúde infantil nessas áreas.

Remy *et al.* (2019) analisaram a diminuição na exposição ao chumbo e seus efeitos positivos na inteligência e economia social em Flandres, Bélgica, através de três estudos sequenciais (FLEHSI, FLEHSII e FLEHSIII). No FLEHSI, a perda de QI por 100.000 indivíduos foi estimada em 94.280 pontos, com um intervalo de confiança (IC) de 95% variando entre 58.427 e 130.138 pontos. O FLEHSII registrou uma perda significativamente menor de 14.993 pontos de QI, com IC de 95% entre 9.289 e 20.695 pontos. Já no FLEHSIII, a perda reduziu drasticamente para 976 pontos de QI, com IC de 95% de 604 a 1.347 pontos. Essa trajetória de declínio nas perdas de QI reflete o sucesso das estratégias de mitigação da exposição ao chumbo, resultando em notáveis benefícios econômicos e de saúde, com uma economia de custos sociais avaliada em €7176 milhões em 15 anos, evidenciando o impacto significativo de políticas públicas eficazes na proteção da saúde infantil e na economia social

Realizado em Shiraz, Irã, o estudo Rafiee *et al.* (2022a) contou com a participação de 200 adultos e focou na análise da exposição a metais pesados e sua correlação com o estresse oxidativo nessa população. Observou-se que a exposição crônica a níveis elevados de As, Ni, Hg, e Pb estava significativamente correlacionada com um aumento nos biomarcadores urinários de espécies reativas de oxigênio (ROS), indicando uma relação direta entre a presença destes metais e o estresse oxidativo. A pesquisa também destacou que a maioria dos metais pesados estava associada a um aumento na incidência de marcadores ROS urinários. Interessantemente, identificou-se uma associação positiva entre a exposição crônica ao Silício (Si) e os níveis elevados de malondialdeído (MDA) e 8-hidroxidesoxiguanosina (8-OHdG), enquanto a exposição ao Estanho (Sn) exibiu uma relação inversa com esses biomarcadores de estresse oxidativo. Esses resultados sublinham a importância de entender as complexas

interações entre diferentes metais pesados e o estresse oxidativo, além de seus potenciais impactos na saúde dos indivíduos expostos.

Estudo brasileiro conduzido por Barbosa *et al.* (2023) estabeleceu níveis de referência urinários para 30 metais/metaloídeos em adultos, marcando o primeiro projeto abrangente de biomonitoramento humano no país. Realizado no sudeste do Brasil, revelou variações nos níveis desses elementos com base em fatores como idade, educação e hábitos, sublinhando a influência de fatores socioeconômicos e de estilo de vida na exposição a metais. Ao fornecer dados essenciais e comparar com estudos anteriores, preenche uma lacuna crítica, contribuindo para futuras pesquisas sobre exposição ambiental e seus efeitos na saúde.

Armijos *et al.* (2021) investigaram os efeitos da exposição a metais tóxicos em mulheres e crianças em idade reprodutiva, identificando diferenças nas fontes de exposição possivelmente atribuídas a variações fisiológicas e padrões de atividade por idade. Com uma amostra de 96 participantes, foram analisados os níveis de Pb, Cd, Mn, As e Hg em amostras de sangue. Além disso, amostras de poeira, água e tinta de 41 residências ajudaram a identificar fontes de exposição ao Pb, incluindo cerâmicas vitrificadas com Pb e instalações de fundição. O estudo, no entanto, enfrentou limitações como o pequeno tamanho da amostra e seu design transversal, que restringe a análise causal entre exposição e efeitos na saúde.

Xu *et al.* (2022) realizaram um estudo na Argentina que investigaram os efeitos dos níveis sanguíneos de elementos tóxicos e essenciais em mulheres grávidas e seus impactos nos resultados do nascimento, revelando variações regionais significativas. Em Salta, foram encontradas associações entre os níveis desses elementos e os resultados do parto, enquanto em Ushuaia, tais associações não foram observadas. Os resultados indicam que a influência dos elementos tóxicos no sangue materno sobre o parto depende da região, sem uma clara relação dose-resposta para os resultados do nascimento. Níveis elevados de Pb estavam ligados ao aumento da idade gestacional e à redução do peso ao nascer. Concentrações de Cu foram associadas a uma diminuição do peso ao nascer, comprimento e perímetro cefálico. Em Ushuaia, níveis mais altos de Se no sangue estavam relacionados ao aumento da idade gestacional, enquanto níveis elevados de Zn mostraram uma associação inversa com o peso ao nascer, comprimento e perímetro cefálico. As e Cd não apresentaram associações significativas com os resultados do nascimento, sublinhando a complexidade das interações entre elementos tóxicos e essenciais e a saúde materno-infantil.

### **Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs)**

Backer *et al.* (2019) identificaram a presença de dioxinas em amostras humanas, sugerindo uma possível origem a partir de peixes locais e ressaltando a contaminação ambiental. Além disso, a observação de padrões semelhantes de contaminantes entre golfinhos e humanos em três áreas distintas indica uma extensão preocupante da poluição e sua influência nos ecossistemas marinhos e na saúde humana.

Schettgen *et al.* (2022) conduziram um estudo que detectou PCBs (Policloreto de Bisnefilas) 47 e 68 no plasma de trabalhadores da indústria de silicone, levantando preocupações sobre a exposição ocupacional a esses compostos. A sugestão de substituir o 2,4-DCBP na produção de borracha de silicone destaca a necessidade de medidas para reduzir a exposição e proteger a saúde dos trabalhadores. Além disso, o potencial impacto global na indústria de silicone devido à exposição ao PCB destaca a importância de práticas mais seguras na manipulação desses produtos químicos.

Costet *et al.* (2022) analisaram os efeitos da exposição à clordecona na adiposidade infantil em Guadalupe. Embora as evidências de alterações na homeostase do peso corporal sejam limitadas, a associação entre a exposição pré-natal à clordecona e o aumento da adiposidade em meninos é preocupante. A falta de efeitos indiretos significativos por meio de resultados intermediários de nascimento destaca a complexidade dos mecanismos envolvidos e a necessidade de estudos mais abrangentes para compreender completamente os impactos da exposição aos POPs na saúde infantil.

Na pesquisa conduzida por Tkalec *et al.* (2022), foram identificados 74 Biomarcadores de Exposição (BoE) na urina de uma coorte de 200 crianças eslovenas, com idades entre 6 e 9 anos, evidenciando uma exposição diversificada a contaminantes, incluindo produtos farmacêuticos, de cuidado pessoal, plastificantes e pesticidas. Destaca-se a presença de três pesticidas (atrazina, amitraz e diazinon) com uso restrito na UE, ressaltando a necessidade de vigilância em relação a estes compostos. O desenho do estudo incluiu amostras de urina coletadas em duas estações do ano, revelando variações sazonais e regionais na exposição a contaminantes. Além disso, identificou-se a presença de compostos emergentes com fontes desconhecidas, sublinhando a importância de adaptar estratégias de biomonitoramento humano para incluir novos riscos potenciais. Este estudo destaca a complexidade do exposoma infantil e a necessidade crucial de monitoramento contínuo para proteger a saúde das crianças de uma variedade de contaminantes orgânicos.

Jaacks *et al.* (2019) analisaram, a exposição pré-natal a pesticidas e seus efeitos adversos na gravidez. Os resultados mostraram a presença de metabólitos de diversos pesticidas em mulheres grávidas, com altos níveis de 4-nitrofenol associados a complicações como parto prematuro e baixo peso ao nascer. No entanto, não houve associação observada entre biomarcadores de pesticidas e nanismo infantil. Esses resultados sugerem que a exposição pré-natal a certos pesticidas pode aumentar o risco de complicações durante a gravidez e o parto, mas o impacto específico em termos de crescimento infantil ainda não está claro.

No estudo realizado com adultos libaneses, Harmouche-Karaki *et al.* (2022) investigam a relação entre a qualidade da dieta e os níveis séricos de poluentes orgânicos persistentes (POPs), como os PCBs e OCPs. Os resultados mostraram associações entre a adesão a índices dietéticos específicos e os níveis séricos de POPs. Isso sugere que a qualidade da dieta pode desempenhar um papel importante na exposição humana a esses poluentes ambientais. No entanto, é necessário considerar que outros fatores, como estilo de vida e fontes de exposição ocupacional, também podem influenciar os níveis de POPs.

Makris *et al.* (2022) investigaram os efeitos da exposição a pesticidas na saúde, especificamente examinando os danos oxidativos no DNA em crianças no Chipre. Foi encontrada uma associação entre a presença de metabólitos de AMPA (um metabólito do glifosato) e danos oxidativos no DNA. No entanto, não foi encontrada uma associação significativa entre metabólitos de GLY e dano oxidativo lipídico. Embora esses resultados forneçam dados importantes sobre os potenciais efeitos adversos da exposição a pesticidas na saúde infantil, é necessário realizar mais pesquisas para replicar essas descobertas em outras populações infantis e para entender melhor os mecanismos subjacentes.

Em um estudo realizado com crianças na Nova Zelândia, observaram a exposição a pesticidas em relação a diversos fatores, incluindo idade, estação do ano, dieta e local de residência. Os resultados mostraram uma alta exposição ao clorpirifos/triclopir e piretróides, com variações significativas dependendo dos fatores mencionados. Isso destaca a importância de considerar múltiplos fatores ao avaliar a exposição humana a pesticidas, e sugere que intervenções direcionadas podem ser necessárias para reduzir os níveis de exposição em grupos específicos Li *et al.* (2022).

Shentema *et al.* (2020) Analisaram a exposição a pesticidas entre trabalhadores de fazendas de flores na Etiópia, revelando uma alta prevalência de níveis anormais de colinesterase sérica, com 16,5% dos trabalhadores apresentando níveis acima de 140 unidades

Michel, o que indica intoxicação por pesticidas. Notavelmente, 27% dos pesticidas utilizados foram classificados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como moderadamente perigosos. As descobertas sublinham a urgência de implementar medidas de proteção eficazes para minimizar a exposição dos trabalhadores a pesticidas e reduzir os riscos à saúde associados. Além disso, o estudo recomenda o monitoramento de rotina da colinesterase sérica em todos os trabalhadores expostos e enfatiza a necessidade de mais pesquisas para avaliar os impactos específicos da exposição a pesticidas sobre a saúde, visando o desenvolvimento de estratégias preventivas e de mitigação mais eficientes.

Menouni *et al.* (2021) conduziram o estudo PaPoE (Pesticidas Parentais e Epigenoma da Descendência), em Marrocos, o qual representa um avanço significativo na compreensão dos efeitos epigenéticos dos pesticidas, estabelecendo uma relação crucial entre exposição, doenças e risco de câncer. Por meio de biomonitoramento, o estudo investiga a exposição ocupacional e materna aos pesticidas e suas consequências epigenéticas na prole. A principal expectativa do estudo é identificar mudanças significativas na metilação do DNA, um indicador potencial de mecanismos moleculares que conectam essa exposição ao desenvolvimento de doenças. Este trabalho não apenas preenche uma lacuna crítica em nosso entendimento dos impactos ambientais na saúde humana, mas também fornece uma base para futuras intervenções e políticas de saúde pública direcionadas. Ao estabelecer uma coorte de nascimentos e coletar dados longitudinais, o PaPoE enfatiza a importância de uma abordagem proativa e preventiva na avaliação de riscos ambientais à saúde.

Zheng; Eick; Salamova, (2023) verificaram a presença de PFAS de cadeia ultracurta (C2-C3) e curta (C4-C7) em residências e indivíduos nos Estados Unidos. Destacou-se a prevalência desses compostos em ambientes internos e a detecção generalizada na amostra. Além disso, foi identificado que a ingestão de poeira e água potável são vias relevantes de exposição, enfatizando a urgência de pesquisas adicionais para compreender suas fontes e potenciais impactos na saúde.

Wu *et al.* (2023) analisaram a associação entre a exposição PFAS, e os níveis de lipídios e dislipidemia na população chinesa. Foi identificado diversos PFAS, como o Ácido Perfluoroheptano Sulfonato (PFHpS), o Ácido Perfluoroundecanoico (PFUnDA), o Ácido Perfluorononanoico (PFNA) e o Ácido Perfluorooctano Sulfônico (PFOS), considerando que apresentam as correlações mais fortes com os perfis lipídicos alterados, enquanto os Clorados Polifluoroetano Sulfonato (Cl-PFESA) demonstrou uma influência menor. Além disso, o estudo associa a exposição ao PFAS com dislipidemia, particularmente em relação aos elevados

níveis de Colesterol Total (CT). As concentrações de PFOS, Ácido Perfluorooctanoico (PFOA) e Cl-PFESA foram quantificadas, revelando uma relação não linear entre PFAS e os níveis de CT, Colesterol de Lipoproteína de Baixa Densidade (LDL-C) e Colesterol de Lipoproteína de Alta Densidade (HDL-C). As associações entre a exposição ao PFAS e dislipidemia indicam um possível impacto negativo dos PFAS na saúde metabólica, sugerindo a necessidade de intervenções para reduzir a exposição e prevenir problemas de saúde relacionados.

Kim *et al.* (2022) examinaram a presença de poluentes em amostras de urina, identificando 9 produtos químicos farmacêuticos (PMs), como acetaminofeno e sulisobenzona, e 2 compostos de produtos químicos perfluoroalquilados (PFAS). Observou-se diferenças significativas baseadas no sexo na taxa de detecção dos PMs identificados, indicando uma possível disparidade na exposição entre os gêneros. Contudo, a urina pode não ser a melhor opção para avaliar a exposição humana a PFAS usando métodos de triagem de suspeitos. Isso ressalta a importância de explorar métodos de detecção alternativos para PFAS em amostras biológicas. Além disso, o estudo aponta para a necessidade de investigações adicionais sobre a toxicidade desses PMs e PFAS para orientar estratégias de biomonitoramento mais eficazes e abrangentes.

Garcia-Barrios *et al.* (2021) relataram níveis comparativamente baixos ou similares de compostos perfluoroalquilados (PFAS) nas comunidades específicas de Old Crow e Dehcho, em relação à população canadense em geral. No entanto, observou-se uma notável presença de ácido perfluorononanoico (PFNA) nestas mesmas comunidades, indicando uma exposição diferencial a esta substância. Estas descobertas são cruciais para o monitoramento ambiental e a formulação de políticas de saúde pública nessas regiões. Por outro lado, (Forthun *et al.*, 2023) identificaram exposição ao PFAS em crianças norueguesas, com níveis mais elevados observados em meninos do que em meninas, e uma diminuição com a idade. Este estudo suscita preocupações sobre os potenciais riscos à saúde associados à exposição crônica ao PFAS, com 19% das crianças norueguesas apresentando níveis acima do limite de segurança.

O biomonitoramento humano tem surgido como uma ferramenta essencial para a avaliação da exposição ambiental e seus potenciais impactos na saúde. A partir da análise sistemática de estudos recentes, este artigo visa consolidar o conhecimento atual sobre a exposição a diversos contaminantes ambientais, incluindo material particulado, piretróides, cádmio, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH), metais pesados, micotoxinas, substâncias perfluoroalquil e polifluoroalquil (PFAS), pesticidas, e mercúrio, bem como poluentes orgânicos persistentes (POPs). Diversas metodologias foram empregadas nesses estudos, incluindo o uso de monitores ambientais pessoais (Ruiz-Azcona *et al.*, 2021, 2022),

biomarcadores em amostras biológicas (Calao-Ramos *et al.*, 2021; Jaacks *et al.*, 2019; Mahmood *et al.*, 2023; Rafiee *et al.*, 2022a; Ruiz-Azcona *et al.*, 2021, 2022; Tkalec *et al.*, 2022; Vander Hoorn *et al.*, 2021), e modelos de farmacocinética baseados em fisiologia humana (Quindroit; Beaudouin; Brochot, 2019), refletindo a complexidade e a interdisciplinaridade inerentes ao campo do biomonitoramento.

Uma questão de grande importância relaciona-se à equidade no monitoramento de substâncias potencialmente nocivas em organismos. Observa-se que a exposição a produtos químicos e poluentes difere significativamente entre grupos socioeconômicos e regiões geográficas, levando a disparidades nos dados de biomonitoramento e na aplicação de intervenções corretivas (Makri; Stilianakis, 2008; Solíz, 2014; Suk *et al.*, 2016).

As disparidades globais em práticas de BHM advêm primariamente da distribuição desigual de recursos. Países desenvolvidos, com acesso a suporte financeiro e infraestrutura de pesquisa avançada, conseguem conduzir investigações abrangentes nesse campo. Em contraste, nações em desenvolvimento enfrentam restrições financeiras e de infraestrutura, limitando a amplitude de suas pesquisas. Essas discrepâncias refletem uma complexidade de fatores, incluindo a disponibilidade de recursos, critérios de avaliação em saúde pública, regulamentações, metodologias e o grau de informação e engajamento comunitário sobre questões de saúde (Barreto, 2017). Entender essas variações é crucial para fomentar a cooperação internacional e a distribuição de metodologias eficientes de coleta e análise de dados em biomonitoramento.

Desse modo, é imperativo promover políticas públicas que garantam a equidade na alocação de recursos para pesquisa e monitoramento ambiental. Tal medida envolveria a distribuição estratégica de financiamento para áreas de maior vulnerabilidade. A cooperação internacional e o comprometimento com práticas inclusivas e justas são essenciais para enfrentar os desafios ambientais e de saúde pública globais. Adotando uma abordagem colaborativa e centrada na equidade, é possível fazer progressos significativos na conservação ambiental e na saúde pública em escala mundial (Anselmi; Lagarde; Hanson, 2015; McCarthy *et al.*, 2010).

Os resultados apresentados neste estudo alinham-se e expandem as tendências observadas na literatura científica atual sobre os impactos de poluentes ambientais na saúde humana. Uma tendência emergente é a crescente compreensão dos efeitos adversos de metais pesados, como o manganês (Mn) e o cádmio (Cd), na função cognitiva e hormonal. Estudos recentes, incluindo os de Ruiz-Azcona *et al.* (2021, 2022) e Qiu *et al.* (2022) sublinham a importância de abordagens de monitoramento e mitigação para gerenciar os riscos de exposição

em áreas susceptíveis a emissões industriais. Esta tendência sugere uma evolução na avaliação de riscos ambientais, priorizando o desenvolvimento de estratégias preventivas baseadas em biomonitoramento detalhado e intervenções comunitárias.

Os achados mencionados são corroborados pela literatura existente que aponta para os efeitos neurotóxicos do Mn, incluindo seu papel na perturbação dos sistemas de neurotransmissores, disfunção mitocondrial, respostas inflamatórias no cérebro, e impactos na transmissão sináptica e função neuronal (Aschner *et al.*, 2009). Adicionalmente, o estudo conduzido no Brasil por Menezes-Filho *et al.* (2011) aprofunda o entendimento dos impactos neurotóxicos do Mn, evidenciando que altas concentrações de manganês no cabelo estavam relacionadas ao menor quociente de inteligência (QI) em crianças residindo próximas a uma fábrica de liga de ferro-manganês. Foi encontrada uma associação negativa entre os níveis de manganês no cabelo das mães e o desempenho no teste de Matrizes Progressivas de Raven, ajustado para educação, renda familiar e idade. Tais resultados enfatizam a relevância das exposições ambientais ao Mn em contextos específicos e seu potencial impacto negativo sobre o desenvolvimento cognitivo infantil, reforçando a necessidade de monitoramento ambiental e de saúde pública como medidas preventivas essenciais.

Além dos impactos neurotóxicos do manganês, é crucial reconhecer a influência de outros metais pesados, como o cádmio (Cd), na saúde hormonal, particularmente em mulheres em idade reprodutiva. Um estudo recente realizado por (Kim *et al.*, 2021) explorou a relação entre o cádmio no sangue e características endócrinas relacionadas a fenótipos da síndrome dos ovários policísticos (SOP) em mulheres saudáveis. Os resultados indicaram que níveis mais altos de cádmio estão associados a maiores concentrações de testosterona, globulina ligadora de hormônio sexual (SHBG) e hormônio anti-Mülleriano (AMH). Esses achados sugerem um papel potencial do cádmio no ambiente hormonal associado à SOP, mesmo em baixos níveis de exposição, sem apresentar associações significativas com marcadores metabólicos como insulina e glicose. Este estudo destaca a importância de abordar a exposição ao cádmio, destacando mudanças de estilo de vida modificáveis como uma estratégia crucial para a saúde reprodutiva das mulheres. A necessidade de mitigar a exposição ao cádmio reforça a urgência de estratégias de prevenção e intervenção focadas em reduzir a exposição a metais pesados para proteger a saúde hormonal e reprodutiva.

Paralelamente, a exposição a micotoxinas, particularmente através da ingestão alimentar, emerge como uma área de preocupação crescente, com implicações significativas para a saúde pública.

Os trabalhos de Martins *et al.* (2020) e Kyei *et al.* (2023) ilustram a urgência de estratégias de controle e prevenção alimentar para minimizar a exposição a disruptores endócrinos potenciais e mitigar os riscos à saúde fetal. Adicionalmente, um estudo recente destaca os efeitos específicos da exposição a micotoxinas em mulheres grávidas. A pesquisa evidencia que a exposição interna materna às aflatoxinas está correlacionada com a restrição do crescimento fetal, enquanto a exposição às fumonisinas eleva significativamente o risco de defeitos do tubo neural (Alvito; Silva, 2022).

Reforçando essas descobertas, a pesquisa realizada por Gromadzka *et al.* (2021) avaliou a exposição à micotoxina por meio de líquido amniótico em mulheres grávidas com alto risco de anomalias cromossômicas ou defeitos genéticos fetais. A presença de diversas micotoxinas, incluindo aflatoxinas, ocratoxinas, tricotecenos e nivalenol, foi detectada em mais de 75% das amostras testadas, com as aflatoxinas e o nivalenol sendo as mais frequentemente identificadas. A detecção dessas micotoxinas no líquido amniótico sugere uma exposição potencial de mães e fetos a esses metabólitos tóxicos nos alimentos e no meio ambiente, sublinhando a necessidade de uma caracterização aprofundada do risco e investigações adicionais sobre a ligação entre a exposição às micotoxinas no útero e as anormalidades fetais. Essa tendência ressalta a complexidade dos desafios associados à segurança alimentar e sublinha a necessidade de abordagens integradas que considerem tanto a qualidade dos alimentos quanto os hábitos alimentares das populações vulneráveis, reforçando a importância de estratégias direcionadas para proteger gestantes e promover a saúde fetal.

No que diz respeito às Substâncias Perfluoroalquil e Polifluoroalquil (PFAS), a literatura evidencia uma preocupação emergente com sua prevalência em ambientes internos e associação com desordens metabólicas, como destacado por Zheng; Eick; Salamova, (2023) e Wu *et al.* (2023). Além disso, um estudo recente indica que a exposição ao PFAS está relacionada a distúrbios metabólicos significativos, incluindo obesidade, diabetes e doença hepática gordurosa não alcoólica, com base em dois estudos de coorte de base populacional. No entanto, a evidência desse estudo epidemiológico ainda é inconclusiva, sublinhando a necessidade de investigações mais aprofundadas (Dunder *et al.*, 2023).

Ademais, Sun *et al.* (2023) revelam os potenciais efeitos tóxicos da exposição ao PFAS na reprodução masculina, especialmente relacionados à qualidade do esperma. Foi observado que a exposição ao PFAS pode causar danos testiculares e epidídimos, prejudicando a espermatogênese e afetando negativamente a qualidade do esperma. Estes achados realçam a importância de compreender melhor os mecanismos através dos quais os PFAS afetam a saúde

humana, não apenas em termos de desordens metabólicas, mas também considerando os seus impactos na saúde reprodutiva.

Esta tendência aponta para uma lacuna crítica no entendimento das fontes de exposição e dos mecanismos de ação dos PFAS na saúde humana, exigindo pesquisas futuras focadas em estratégias de mitigação e na implementação de políticas regulatórias para limitar a exposição.

A preocupação com os efeitos da exposição pré-natal a pesticidas na saúde reprodutiva e infantil é corroborada por pesquisas recentes. Jaacks *et al.* (2019), ressaltam a importância de implementar medidas preventivas e políticas de saúde pública voltadas à minimização da exposição a pesticidas, especialmente entre mulheres grávidas e crianças, dada a vulnerabilidade desses grupos. Estudos adicionais fortalecem essa perspectiva ao evidenciar a associação entre a exposição a pesticidas e o aumento do risco de malformações congênitas e câncer. Uma revisão sistemática conduzida por Melanda *et al.* (2022) investigou a exposição humana a pesticidas e sua relação com o risco de desenvolvimento de malformações congênitas e câncer na mesma coorte, encontrando evidências significativas de uma conexão entre a exposição a pesticidas e esses graves desfechos de saúde.

Além disso, estudo realizado por Pereira *et al.* (2023) examinou os efeitos nocivos dos pesticidas sobre a saúde humana, incluindo tanto sintomas agudos, como irritação da pele e náuseas, quanto efeitos crônicos, como o desenvolvimento de tumores e malformações genéticas. Este estudo destacou a situação preocupante no Brasil, um dos países com o maior aumento no consumo de agrotóxicos, revisando dados quantitativos sobre o uso dessas substâncias e sua relação com problemas ambientais e de saúde. A análise enfatizou a necessidade urgente de abordagens eficazes para a degradação desses poluentes persistentes, sublinhando as graves implicações para a saúde pública decorrentes da exposição prolongada a pesticidas.

A exposição ao mercúrio, particularmente em mulheres em idade reprodutiva e crianças, destaca a necessidade urgente de programas nacionais de biomonitoramento. Estudos como os de Bello *et al.* (2023) e Adlard *et al.* (2021) fornecem evidências importantes para a formulação de estratégias de gestão de riscos focadas na segurança alimentar e na educação ambiental.

Os impactos adversos do mercúrio na saúde humana, abrangendo sistemas como o nervoso, digestivo e imunológico, foram detalhados por Kumar; Sharma; Sedha, (2022), que discute sobre os efeitos negativos na reprodução, afetando a qualidade do sêmen e os níveis de hormônios reprodutivos. Este estudo sugere que a toxicidade do mercúrio compromete o potencial reprodutivo, especialmente em homens, dependendo da dose e da duração da exposição. Assim, a exposição ao mercúrio implica consequências negativas para a saúde

reprodutiva, influenciando a fertilidade e os resultados da gravidez, e destaca a necessidade de dados adicionais para reforçar essas descobertas.

Em complemento a essas observações, um estudo focado nos riscos à saúde associados à exposição ao Hg na China revela consequências significativas para a saúde pública. O artigo destaca que, em 2010, a ingestão de metilmercúrio na China foi responsável por uma diminuição média de 0,14 pontos de QI por feto, além de estar relacionada a 7.360 mortes devido a ataques cardíacos fatais (Chen *et al.*, 2019).

Por outro lado, é importante considerar o contexto global no qual essa exposição ocorre. O comércio internacional, por exemplo, influencia nas emissões globais de mercúrio, contribuindo para a realocação de emissões e, conseqüentemente, impactando a saúde de populações que talvez não estejam diretamente envolvidas na produção (Xing *et al.*, 2023).

A detecção de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) em amostras humanas e sua correlação com problemas de saúde levantam preocupações importantes sobre a extensão da contaminação ambiental e seus efeitos a longo prazo. Schettgen *et al.* (2022) enfatizam a detecção de Policlorobifenilos (PCBs) 47 e 68 entre trabalhadores do setor de silicone, ressaltando as implicações de risco associadas à exposição ocupacional. Eles defendem a necessidade urgente de revisões nas práticas de manufatura para atenuar essas exposições. Em contrapartida, Costet *et al.* (2022) investigaram o impacto da clordecona na adiposidade infantil em Guadalupe, evidenciando preocupações específicas relativas aos efeitos da exposição pré-natal a Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) e sua possível conexão com o incremento da adiposidade em meninos. Esses estudos realçam a intrincada interação entre a exposição a POPs e a saúde, sugerindo a necessidade de pesquisas mais aprofundadas para elucidação compreensiva dos riscos e mecanismos subjacentes.

Ademais, a pesquisa de Hoyeck *et al.* (2022) em questão, destaca a toxicidade potencial dos POPs para células  $\beta$  pancreáticas, sublinhando a complexidade das interações entre contaminantes ambientais e os mecanismos fisiológicos que contribuem para o desenvolvimento do diabetes. A acumulação de POPs nos tecidos humanos, correlacionada a um risco elevado de diabetes, enfatiza a urgência de considerar as exposições ambientais como fatores de risco significativos para distúrbios metabólicos.

Além disso, uma análise longitudinal que compara as concentrações de bifenilos policlorados (PCBs) e pesticidas organoclorados (OCPs) entre indivíduos diagnosticados com diabetes mellitus tipo 2 (DM2) e controles, reforça a associação, revelando evidências de uma relação positiva entre a exposição a POPs e a incidência de DM2. As associações prospectivas e transversais observadas pré e pós-diagnóstico de DM2 sugerem que a exposição a POPs pode

afetar tanto a susceptibilidade quanto a progressão da doença. Estes achados corroboram a ideia de que as exposições ambientais desempenham um papel fundamental na etiologia de doenças crônicas, enfatizando a importância de integrar aspectos ambientais nas estratégias de prevenção e tratamento do diabetes Charles *et al.* (2022)

Em conjunto, estas tendências destacam a interconexão entre saúde humana e exposição ambiental, reiterando a necessidade de uma abordagem multidisciplinar para pesquisa, políticas públicas e práticas de mitigação. À medida que avançamos, é imperativo que as futuras pesquisas se concentrem em elucidar os mecanismos subjacentes pelos quais os poluentes influenciam a saúde, aprimorando assim as estratégias de prevenção e intervenção.

## CONCLUSÃO

A revisão sistemática da literatura sobre biomonitoramento humano realizada neste estudo destacou a presença e o impacto de uma ampla gama de poluentes ambientais, incluindo material particulado, piretróides, cádmio, PAHs, metais pesados, micotoxinas, substâncias PFAS, pesticidas, mercúrio, e POPs na saúde humana. A identificação desses contaminantes sublinha a complexidade e a magnitude dos desafios enfrentados na proteção da saúde pública contra os efeitos adversos da exposição ambiental.

Nossa análise evidenciou lacunas significativas no conhecimento, particularmente em relação aos mecanismos específicos de ação desses poluentes e à eficácia das estratégias de mitigação atualmente empregadas. Destaca-se, assim, a necessidade premente de novos estudos que empreguem metodologias avançadas e inovadoras para o biomonitoramento. Tais estudos devem visar não apenas a detecção e quantificação mais precisa desses poluentes no ambiente e em organismos humanos, mas também a compreensão aprofundada de seus impactos na saúde a longo prazo, incluindo efeitos sinérgicos entre diferentes contaminantes.

Além disso, a revisão reforça a importância crítica de desenvolver e implementar metodologias de biomonitoramento mais eficientes e sensíveis. Isso permitirá não apenas uma melhor avaliação dos níveis de exposição individual e coletiva, mas também facilitará a identificação de populações em risco e a implementação de políticas de saúde pública mais efetivas e direcionadas.

Aprimorar o biomonitoramento humano e entender completamente os riscos associados à exposição a contaminantes ambientais é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de prevenção e intervenção que protejam eficazmente a saúde pública. A integração desses esforços com políticas regulatórias mais rigorosas e a promoção de práticas sustentáveis são passos essenciais para mitigar a exposição humana a poluentes perigosos e garantir um futuro mais saudável para as próximas gerações.

## REFERÊNCIAS

- ADLARD, B. *et al.* MercuNorth – monitoring mercury in pregnant women from the Arctic as a baseline to assess the effectiveness of the Minamata Convention. **International Journal of Circumpolar Health**, [s. l.], v. 80, n. 1, p. 1881345, 2021.
- ALVITO, P.; SILVA, L. Mycotoxin Exposure during the First 1000 Days of Life and Its Impact on Children’s Health: A Clinical Overview. **Toxins**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 189, 2022.
- ARMIJOS, R. X. *et al.* Elevated blood lead and metal/metalloid levels and environmental exposure sources in urban Ecuadorian school-age children and mothers. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, [s. l.], v. 235, p. 113770, 2021.
- ASCHNER, M. *et al.* Manganese and its Role in Parkinson’s Disease: From Transport to Neuropathology. **NeuroMolecular Medicine**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 252–266, 2009.
- BACKER, L. C. *et al.* Environmental contaminants in coastal populations: Comparisons with the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) and resident dolphins. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 696, p. 134041, 2019.
- BARBOSA, F. *et al.* Urinary levels of 30 metal/metalloids in the Brazilian southeast population: Findings from the Brazilian Longitudinal Study of Adult Health (ELSA-Brasil). **Environmental Research**, [s. l.], v. 225, p. 115624, 2023.
- BELLO, T. C. S. *et al.* Mercury Exposure in Women of Reproductive Age in Rondônia State, Amazon Region, Brazil. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 20, n. 6, p. 5225, 2023.
- BRAMWELL, L. *et al.* Determinants of blood and saliva lead concentrations in adult gardeners on urban agricultural sites. **Environmental Geochemistry and Health**, [s. l.], v. 44, n. 10, p. 3493–3513, 2022.
- BRAUN, D. *et al.* Mycotoxin-mixture assessment in mother-infant pairs in Nigeria: From mothers’ meal to infants’ urine. **Chemosphere**, [s. l.], v. 287, p. 132226, 2022.
- BUFFINI, M. *et al.* Selenium intakes in the Irish adult population. **Journal of Nutritional Science**, [s. l.], v. 12, p. e35, 2023.
- CALAO-RAMOS, C. *et al.* Occupational human exposure to mercury in artisanal small-scale gold mining communities of Colombia. **Environment International**, [s. l.], v. 146, p. 106216, 2021.
- CAMPBELL, G. *et al.* Characterization of glyphosate and AMPA concentrations in the urine of Australian and New Zealand populations. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 847, p. 157585, 2022.
- CETKOVIC, T. *et al.* A pilot biomonitoring study of air pollution in the urban area of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina: genotoxicity assessment in buccal cells. **Mutagenesis**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 33–42, 2023.
- CHARLES, D. *et al.* Longitudinal changes in concentrations of persistent organic pollutants (1986–2016) and their associations with type 2 diabetes mellitus. **Environmental Research**, [s. l.], v. 204, p. 112129, 2022.

- CHEN, L. *et al.* Trans-provincial health impacts of atmospheric mercury emissions in China. **Nature Communications**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 1484, 2019.
- CHOI, J. *et al.* Major national human biomonitoring programs in chemical exposure assessment. **AIMS Environmental Science**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 782–802, 2015.
- CHORTAREA, S. *et al.* Transcriptomic profiling reveals differential cellular response to copper oxide nanoparticles and polystyrene nanoplastics in perfused human placenta. **Environment International**, [s. l.], v. 177, p. 108015, 2023.
- CHU, L. *et al.* Association between Antibiotic Exposure and Type 2 Diabetes Mellitus in Middle-Aged and Older Adults. **Nutrients**, [s. l.], v. 15, n. 5, p. 1290, 2023.
- COŞKUN, A. *et al.* Within- and between-subject biological variation data for serum zinc, copper and selenium obtained from 68 apparently healthy Turkish subjects. **Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)**, [s. l.], v. 60, n. 4, p. 533–542, 2022.
- COSTET, N. *et al.* Prenatal and childhood exposure to chlordecone and adiposity of seven-year-old children in the Timoun mother–child cohort study in Guadeloupe (French West Indies). **Environmental Health**, [s. l.], v. 21, p. 42, 2022.
- CZUB, G.; MCLACHLAN, M. S. Bioaccumulation Potential of Persistent Organic Chemicals in Humans. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 38, n. 8, p. 2406–2412, 2004.
- DEGHANI, S. *et al.* Ecological study on household air pollution exposure and prevalent chronic disease in the elderly. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 11763, 2023.
- DUALDE, P. *et al.* Biomonitoring of parabens in human milk and estimated daily intake for breastfed infants. **Chemosphere**, [s. l.], v. 240, p. 124829, 2020.
- DUARTE, S. *et al.* Mycotoxins Exposure in Cabinda, Angola—A Pilot Biomonitoring Survey of Breastmilk. **Toxins**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 204, 2022.
- DUNDER, L. *et al.* Associations between per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and diabetes in two population-based cohort studies from Sweden. **Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology**, [s. l.], v. 33, n. 5, p. 748–756, 2023.
- EZEKIEL, C. N. *et al.* Mycotoxin exposure biomonitoring in breastfed and non-exclusively breastfed Nigerian children. **Environment International**, [s. l.], v. 158, p. 106996, 2022.
- FAGAN, J. *et al.* Organic diet intervention significantly reduces urinary glyphosate levels in U.S. children and adults. **Environmental Research**, [s. l.], v. 189, p. 109898, 2020.
- FERGUSON, K. K. *et al.* Environmental phthalate exposure and preterm birth in the PROTECT birth cohort. **Environment International**, [s. l.], v. 132, p. 105099, 2019.
- FIEDLER, H.; SADIA, M. Regional occurrence of perfluoroalkane substances in human milk for the global monitoring plan under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants during 2016–2019. **Chemosphere**, [s. l.], v. 277, p. 130287, 2021.
- FORTHUN, I. H. *et al.* Levels of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in Norwegian children stratified by age and sex - Data from the Bergen Growth Study 2. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, [s. l.], v. 252, p. 114199, 2023.

- FREIRE, C. *et al.* Placental metal concentrations and birth outcomes: The Environment and Childhood (INMA) project. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, [s. l.], v. 222, n. 3, p. 468–478, 2019.
- FU, C. *et al.* Different components of air pollutants and neurological disorders. **Frontiers in Public Health**, [s. l.], v. 10, p. 959921, 2022.
- GALVÃO, T.; PANSANI, T.; HARRAD, D. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 335–342, 2015.
- GARCIA-BARRIOS, J. *et al.* Biomarkers of poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) in Sub-Arctic and Arctic communities in Canada. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, [s. l.], v. 235, p. 113754, 2021.
- GAYLORD, A. *et al.* Trends in neurodevelopmental disability burden due to early life chemical exposure in the USA from 2001 to 2016: A population-based disease burden and cost analysis. **Molecular and Cellular Endocrinology**, [s. l.], v. 502, p. 110666, 2020.
- GODEBO, T. R. *et al.* Biomonitoring of metals and trace elements in urine of central Ethiopian populations. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, [s. l.], v. 222, n. 3, p. 410–418, 2019.
- GOVARTS, E. *et al.* Harmonized human biomonitoring in European children, teenagers and adults: EU-wide exposure data of 11 chemical substance groups from the HBM4EU Aligned Studies (2014–2021). **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, [s. l.], v. 249, p. 114119, 2023.
- GROMADZKA, K. *et al.* The Presence of Mycotoxins in Human Amniotic Fluid. **Toxins**, [s. l.], v. 13, n. 6, p. 409, 2021.
- GUAN, Q. *et al.* The landscape of micron-scale particles including microplastics in human enclosed body fluids. **Journal of Hazardous Materials**, [s. l.], v. 442, p. 130138, 2023.
- HABIBAGAH, A. *et al.* Challenges associated with quantification of selected urinary biomarkers of exposure to tobacco products. **Journal of Chromatography B**, [s. l.], v. 1162, p. 122490, 2021.
- HARMOUCHE-KARAKI, M. *et al.* Association between dietary quality indices and serum polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides levels among Lebanese adults. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 29, n. 19, p. 28402–28413, 2022.
- HOET, P. *et al.* Reference values of trace elements in blood and/or plasma in adults living in Belgium. **Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)**, [s. l.], v. 59, n. 4, p. 729–742, 2021.
- HOYECK, M. *et al.* Persistent organic pollutants and b-cell toxicity: a comprehensive review. **American Physiological Society**, [s. l.], v. 322, p. 383–466, 2022.
- ISSAH, I. *et al.* Global DNA (LINE-1) methylation is associated with lead exposure and certain job tasks performed by electronic waste workers. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, [s. l.], v. 94, n. 8, p. 1931–1944, 2021.

- JAACKS, L. M. *et al.* Association of prenatal pesticide exposures with adverse pregnancy outcomes and stunting in rural Bangladesh. **Environment International**, [s. l.], v. 133, p. 105243, 2019.
- JURIC, A. *et al.* Exposure to triclosan among the Canadian population: Results of the Canadian Health Measures Survey (2009–2013). **Environment International**, [s. l.], v. 123, p. 29–38, 2019.
- KIM, K. *et al.* Associations between blood cadmium and endocrine features related to PCOS-phenotypes in healthy women of reproductive age: a prospective cohort study. **Environmental Health**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 64, 2021.
- KIM, D.-H. *et al.* Comprehensive investigation of persistent and mobile chemicals and per- and polyfluoroalkyl substances in urine of Flemish adolescents using a suspect screening approach. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 312, p. 119972, 2022.
- KUMAR, S.; SHARMA, A.; SEDHA, S. Occupational and environmental mercury exposure and human reproductive health - a review. **Journal of the Turkish-German Gynecological Association**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 199–210, 2022.
- KYEI, N. N. A. *et al.* Assessment of multiple mycotoxin exposure and its association with food consumption: a human biomonitoring study in a pregnant cohort in rural Bangladesh. **Archives of Toxicology**, [s. l.], v. 96, n. 7, p. 2123–2138, 2022.
- KYEI, N. N. A. *et al.* Maternal exposure to multiple mycotoxins and adverse pregnancy outcomes: a prospective cohort study in rural Bangladesh. **Archives of Toxicology**, [s. l.], v. 97, n. 6, p. 1795–1812, 2023.
- LADD-ACOSTA, C. *et al.* Epigenetic marks of prenatal air pollution exposure found in multiple tissues relevant for child health. **Environment International**, [s. l.], v. 126, p. 363–376, 2019.
- LEE, G. *et al.* Association of L- $\alpha$  Glycerylphosphorylcholine With Subsequent Stroke Risk After 10 Years. **JAMA Network Open**, [s. l.], v. 4, n. 11, p. e2136008, 2021.
- LEFEBVRE, T. *et al.* Associations between human internal chemical exposure to Persistent Organic Pollutants (POPs) and In Vitro Fertilization (IVF) outcomes: Systematic review and evidence map of human epidemiological evidence. **Reproductive Toxicology**, [s. l.], v. 105, p. 184–197, 2021.
- LEMKE, N. *et al.* Glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in urine of children and adolescents in Germany – Human biomonitoring results of the German Environmental Survey 2014–2017 (GerES V). **Environment International**, [s. l.], v. 156, p. 106769, 2021.
- LI, Y. *et al.* Pesticide exposure in New Zealand school-aged children: Urinary concentrations of biomarkers and assessment of determinants. **Environment International**, [s. l.], v. 163, p. 107206, 2022.
- LODGE, E. K. *et al.* The association between residential proximity to brownfield sites and high-traffic areas and measures of immunity. **Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology**, [s. l.], v. 30, n. 5, p. 824–834, 2020.

- LOUIS, L. M. *et al.* Biomonitoring of volatile organic compounds (VOCs) among hairdressers in salons primarily serving women of color: A pilot study. **Environment International**, [s. l.], v. 154, p. 106655, 2021.
- LYU, Z. *et al.* Temporal trends in bisphenol exposures and associated health risk among Japanese women living in the Kyoto area from 1993 to 2016. **Chemosphere**, [s. l.], v. 316, p. 137867, 2023.
- MAHLER, B. *et al.* Air Pollutants and Their Impact on Chronic Diseases—A Retrospective Study in Bucharest, Romania. **Atmosphere**, [s. l.], v. 14, n. 5, p. 867, 2023.
- MAHMOOD, S. *et al.* Relationships between growth indicators, liver and kidney function markers, and blood concentrations of essential and potentially toxic elements in environmentally exposed young children. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, [s. l.], v. 253, p. 114237, 2023.
- MAKRIS, K. C. *et al.* Oxidative stress of glyphosate, AMPA and metabolites of pyrethroids and chlorpyrifos pesticides among primary school children in Cyprus. **Environmental Research**, [s. l.], v. 212, p. 113316, 2022.
- MARTINS, C. *et al.* Burden of disease associated with dietary exposure to carcinogenic aflatoxins in Portugal using human biomonitoring approach. **Food Research International**, [s. l.], v. 134, p. 109210, 2020.
- MELANDA, V. S. *et al.* Impact of Pesticides on Cancer and Congenital Malformation: A Systematic Review. **Toxics**, [s. l.], v. 10, n. 11, p. 676, 2022.
- MENOUNI, A. *et al.* The Parental Pesticide and Offspring's Epigenome Study: Towards an Integrated Use of Human Biomonitoring of Exposure and Effect Biomarkers. **Toxics**, [s. l.], v. 9, n. 12, p. 332, 2021.
- MOL, H. G. J. *et al.* Proficiency and Interlaboratory Variability in the Determination of Phthalate and DINCH Biomarkers in Human Urine: Results from the HBM4EU Project. **Toxics**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 57, 2022.
- MUNNIA, A. *et al.* Traffic-Related Air Pollution and Ground-Level Ozone Associated Global DNA Hypomethylation and Bulky DNA Adduct Formation. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 2041, 2023.
- NAUDIN, G. *et al.* Human pollution exposure correlates with accelerated ultrastructural degradation of hair fibers. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 116, n. 37, p. 18410–18415, 2019.
- NYANZA, E. C. *et al.* Effects of prenatal exposure and co-exposure to metallic or metalloid elements on early infant neurodevelopmental outcomes in areas with small-scale gold mining activities in Northern Tanzania. **Environment International**, [s. l.], v. 149, p. 106104, 2021.
- OUGIER, E. *et al.* Human biomonitoring initiative (HBM4EU): Human biomonitoring guidance values (HBM-GVs) derived for bisphenol A. **Environment International**, [s. l.], v. 154, p. 106563, 2021.

- PACKULL-MCCORMICK, S. *et al.* Hair to blood mercury concentration ratios and a retrospective hair segmental mercury analysis in the Northwest Territories, Canada. **Environmental Research**, [s. l.], v. 203, p. 111800, 2022.
- PEECHER, J. S. *et al.* Biomonitoring of Polybrominated Dioxins & Furans, Polychlorinated Dioxins & Furans, and Dioxin Like Polychlorinated Biphenyls in Vietnamese Female Electronic Waste Recyclers. **Journal of Occupational & Environmental Medicine**, [s. l.], v. 64, n. 9, p. 742–747, 2022.
- PEREIRA, A. K. S. *et al.* The Socio-Environmental and Human Health Problems Related to the Use of Pesticides and the Use of Advanced Oxidative Processes for Their Degradation: Brazil. **Water**, [s. l.], v. 15, n. 8, p. 1608, 2023.
- PIERRI, B. *et al.* Exposure study on susceptible people - SPES: An integrative biomonitoring approach. **Environment International**, [s. l.], v. 158, p. 106931, 2022.
- PUTTASWAMY, N. *et al.* Cross-validation of biomonitoring methods for polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites in human urine: Results from the formative phase of the Household Air Pollution Intervention Network (HAPIN) trial in India. **Journal of Chromatography B**, [s. l.], v. 1154, p. 122284, 2020.
- QIU, Y. *et al.* Cadmium exposure is associated with testosterone levels in men: A cross-sectional study from the China National Human Biomonitoring. **Chemosphere**, [s. l.], v. 307, p. 135786, 2022.
- QUINDROIT, P.; BEAUDOUIN, R.; BROCHOT, C. Estimating the cumulative human exposures to pyrethroids by combined multi-route PBPK models: Application to the French population. **Toxicology Letters**, [s. l.], v. 312, p. 125–138, 2019.
- RAFIEE, A. *et al.* Assessing oxidative stress resulting from environmental exposure to metals (Oids) in a middle Eastern population. **Environmental Geochemistry and Health**, [s. l.], v. 44, n. 8, p. 2649–2668, 2022a.
- RAFIEE, A. *et al.* Exploring urinary biomarkers to assess oxidative DNA damage resulting from BTEX exposure in street children. **Environmental Research**, [s. l.], v. 203, p. 111725, 2022b.
- RATELLE, M. *et al.* Human biomonitoring of metals in sub-Arctic Dene communities of the Northwest Territories, Canada. **Environmental Research**, [s. l.], v. 190, p. 110008, 2020.
- REMY, S. *et al.* Intelligence gain and social cost savings attributable to environmental lead exposure reduction strategies since the year 2000 in Flanders, Belgium. **Environmental Health**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 113, 2019.
- RÖGNER, N. *et al.* A Sensitive LC–MS/MS Method for the Quantification of 3-Hydroxybenzo[a]pyrene in Urine-Exposure Assessment in Smokers and Users of Potentially Reduced-Risk Products. **Separations**, [s. l.], v. 8, n. 10, p. 171, 2021.
- ROSSNEROVA, A. *et al.* DNA Methylation Profiles in a Group of Workers Occupationally Exposed to Nanoparticles. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 21, n. 7, p. 2420, 2020.

- RUIZ-AZCONA, L. *et al.* Biomonitoring and bioaccessibility of environmental airborne manganese in relation to motor function in a healthy adult population. **NeuroToxicology**, [s. l.], v. 87, p. 195–207, 2021.
- RUIZ-AZCONA, L. *et al.* Poorer cognitive function and environmental airborne Mn exposure determined by biomonitoring and personal environmental monitors in a healthy adult population. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 815, p. 152940, 2022.
- SANTOS, C. M. D. C.; PIMENTA, C. A. D. M.; NOBRE, M. R. C. The PICO strategy for the research question construction and evidence search. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 508–511, 2007.
- SANTOVITO, A.; GENDUSA, C. Micronuclei frequency in peripheral blood lymphocytes of healthy subjects living in Turin (North-Italy): contribution of body mass index, age and sex. **Annals of Human Biology**, [s. l.], v. 47, n. 1, p. 48–54, 2020.
- SCHETTGEN, T. *et al.* Plasma levels of unintentionally produced non-Aroclor polychlorinated biphenyl (PCB) congeners in workers from the silicone rubber industry. **Chemosphere**, [s. l.], v. 291, p. 132722, 2022.
- SEXTON, K.; NEEDHAM, L.; PIRKLE, J. Human Biomonitoring of Environmental Chemicals. **American Scientist**, [s. l.], v. 92, 2004.
- SHAO, S. *et al.* Association between antibiotic exposure and the risk of infertility in women of childbearing age: A case-control study. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s. l.], v. 249, p. 114414, 2023.
- SHENTEMA, M. G. *et al.* Pesticide Use and Serum Acetylcholinesterase Levels among Flower Farm Workers in Ethiopia—A Cross-Sectional Study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 964, 2020.
- SOUTHERLAND, V. A. *et al.* Assessing the Distribution of Air Pollution Health Risks within Cities: A Neighborhood-Scale Analysis Leveraging High-Resolution Data Sets in the Bay Area, California. **Environmental Health Perspectives**, [s. l.], v. 129, n. 3, p. 037006, 2021.
- STOPPA, G. *et al.* Exposure to low levels of hydrogen sulphide and its impact on chronic obstructive pulmonary disease and lung function in the geothermal area of Mt. Amiata in Italy: The cross-sectional InVETTA study. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 18, n. 11, p. e0293619, 2023.
- SUN, Z. *et al.* Toxic effects of per- and polyfluoroalkyl substances on sperm: Epidemiological and experimental evidence. **Frontiers in Endocrinology**, [s. l.], v. 14, p. 1114463, 2023.
- TABATABAEI, Z. *et al.* Biomonitoring of BTEX in primary school children exposed to hookah smoke. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 29, n. 45, p. 69008–69021, 2022.
- TERADA, H. *et al.* Total Diet Study to Assess Radioactive Cs and 40K Levels in the Japanese Population before and after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 17, n. 21, p. 8131, 2020.

- TKALEC, Ž. *et al.* Suspect and non-targeted screening-based human biomonitoring identified 74 biomarkers of exposure in urine of Slovenian children. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 313, p. 120091, 2022.
- VAN VELDHOVEN, K. *et al.* Impact of short-term traffic-related air pollution on the metabolome – Results from two metabolome-wide experimental studies. **Environment International**, [s. l.], v. 123, p. 124–131, 2019.
- VANDER HOORN, S. *et al.* Long-term exposure to outdoor air pollution and risk factors for cardiovascular disease within a cohort of older men in Perth. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. e0248931, 2021.
- VINDENES, H. K. *et al.* Exposure to environmental phenols and parabens, and relation to body mass index, eczema and respiratory outcomes in the Norwegian RHINESSA study. **Environmental Health**, [s. l.], v. 20, p. 81, 2021.
- WISEMAN, C. L. S. *et al.* Total, methyl and inorganic mercury concentrations in blood and environmental exposure sources in newcomer women in Toronto, Canada. **Environmental Research**, [s. l.], v. 169, p. 261–271, 2019.
- WU, B. *et al.* Serum per- and polyfluoroalkyl substances and abnormal lipid metabolism: A nationally representative cross-sectional study. **Environment International**, [s. l.], v. 172, p. 107779, 2023.
- WU, H. *et al.* Trends and Patterns of Phthalates and Phthalate Alternatives Exposure in Pregnant Women from Mexico City during 2007–2010. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 54, n. 3, p. 1740–1749, 2020.
- XING, Z. *et al.* International trade shapes global mercury-related health impacts. **PNAS Nexus**, [s. l.], v. 2, n. 5, p. 1–11, 2023.
- XU, S. *et al.* Maternal Blood Levels of Toxic and Essential Elements and Birth Outcomes in Argentina: The EMASAR Study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 3643, 2022.
- YA, M. *et al.* Biomonitoring of organophosphate triesters and diesters in human blood in Jiangsu Province, eastern China: Occurrences, associations, and suspect screening of novel metabolites. **Environment International**, [s. l.], v. 131, p. 105056, 2019.
- YUAN, B. *et al.* Dietary Intake Contributed the Most to Chlorinated Paraffin Body Burden in a Norwegian Cohort. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 56, n. 23, p. 17080–17089, 2022.
- ZENG, X. *et al.* Maternal antibiotic concentrations in pregnant women in Shanghai and their determinants: A biomonitoring-based prospective study. **Environment International**, [s. l.], v. 138, p. 105638, 2020.
- ZHANG, T. *et al.* A nationwide survey of urinary concentrations of neonicotinoid insecticides in China. **Environment International**, [s. l.], v. 132, p. 105114, 2019.
- ZHANG, X. *et al.* Investigation of phthalate metabolites in urine and daily phthalate intakes among three age groups in Beijing, China. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 260, p. 114005, 2020.

ZHENG, H. *et al.* Early life environmental antibiotic exposure and preschool allergic diseases: A biomonitoring-based prospective study in eastern China. **Frontiers in Public Health**, [s. l.], v. 10, p. 1043942, 2022.

ZHENG, G.; EICK, S. M.; SALAMOVA, A. Elevated Levels of Ultrashort- and Short-Chain Perfluoroalkyl Acids in US Homes and People. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 57, n. 42, p. 15782–15793, 2023.

ZHONG, Q. *et al.* Assessment of passive human exposure to tobacco smoke by environmental and biological monitoring in different public places in Wuhan, central China. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, [s. l.], v. 244, p. 114008, 2022.

ZHU, Y. *et al.* Antibiotic body burden of elderly Chinese population and health risk assessment: A human biomonitoring-based study. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 256, p. 113311, 2020.

## APÊNDICE

**Tabela 1.** Lista de Substâncias Excluídas da Análise Detalhada por Frequência Insuficiente.

<b>Substâncias</b>	<b>Autor</b>
Triésteres e Diésteres de Ácido Ortofosfórico	(Ya <i>et al.</i> , 2019)
$\alpha$ -GPC (L-alfa- glicerilfosforilcolina)	(Lee <i>et al.</i> , 2021)
Micropartículas	(Guan <i>et al.</i> , 2023)
Antibióticos	(Zheng <i>et al.</i> , 2022)
Exposição passiva à fumaça	(Zhong <i>et al.</i> , 2022)
Antibióticos	(Zeng <i>et al.</i> , 2020)
Herbicida	(Campbell <i>et al.</i> , 2022)
Glifosato	(Fagan <i>et al.</i> , 2020)
Ftalatos	(Ferguson <i>et al.</i> , 2019)
Tabaco	(Habibagahi <i>et al.</i> , 2021)
Oligoelemento	(Hoet <i>et al.</i> , 2021)
Nanopartículas	(Rossnerova <i>et al.</i> , 2020)
Poluentes Diversos	Ruiz-Castell <i>et al.</i> – 2023
Fenóis e parabenos	(Vindenes <i>et al.</i> , 2021)
Inseticida	(Zhang <i>et al.</i> , 2019)
PBDEs (Éteres Difenílicos Polibromados)	(Gaylord <i>et al.</i> , 2020)
Triclosan	(Juric <i>et al.</i> , 2019)
Compostos Orgânicos Voláteis	(Louis <i>et al.</i> , 2021)
Frequência de Micronúcleos	(Santovito; Gendusa, 2020)
Parabenos	(Dualde <i>et al.</i> , 2020)
Antibiótico	(Shao <i>et al.</i> , 2023)
Antibiótico	(Chu <i>et al.</i> , 2023)
BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos)	(Rafiee <i>et al.</i> , 2022b)
BPA (Bisfenol A)	(Lyu <i>et al.</i> , 2023)
BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos)	(Tabatabaei <i>et al.</i> , 2022)
Exposição passiva a fumaça do tabaco	(Southerland <i>et al.</i> , 2021)
Sulfeto de Hidrogênio (H2S)	(Stoppa <i>et al.</i> , 2023)

Oligoelementos	(Coşkun <i>et al.</i> , 2022)
Selênio (Se)	(Buffini <i>et al.</i> , 2023)
Antibiótico	(Zhu <i>et al.</i> , 2020)
Césio radioativo, Potássio-40	(Terada <i>et al.</i> , 2020)
Ftalato	(Wu <i>et al.</i> , 2020)
Glifosato e AMPA	(Lemke <i>et al.</i> , 2021)
Nanoplásticos de poliestireno	(Chortarea <i>et al.</i> , 2023)
Nanopartículas artificiais (NPs) de Óxido de Cobre	
PFOS, PFOA e PFHxS	(Fiedler; Sadia, 2021)
Substâncias químicas diversas	(Govarts <i>et al.</i> , 2023)
Ftalato e DINCH	(Mol <i>et al.</i> , 2022)
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos	(Naudin <i>et al.</i> , 2019)
BPA na urina	(Ougier <i>et al.</i> , 2021)
Biomarcadores metálicos	(Ratelle <i>et al.</i> , 2020)
3-OH-BAP urinário	(Rögner <i>et al.</i> , 2021)
Ftalato	(Zhang <i>et al.</i> , 2020)