



**Exposição a mercúrio e caracterização do risco para a saúde
na população portuguesa e brasileira**

25º de Mestrado em Saúde Pública

Flávia Bernadete Casini

Julho, 2024



**Exposição a mercúrio e caracterização do risco para a saúde
na população portuguesa e brasileira**

25º de Mestrado em Saúde Pública

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Saúde Pública, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Carla Martins.

Julho, 2024

AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Carla Martins, minha orientadora pelo apoio e aconselhamento e pelo estímulo que muito contribuíram para aumentar o desafio e melhorar a clareza e profundidade do trabalho, sempre me desafiando a buscar o melhor de mim e explorar novas ideias e abordagens. À Doutora Isabel Andrade pelo conhecimento transmitido e pela paciência no atendimento. Aos colegas da biblioteca que apoiaram com tanta dedicação Cristina Vigário e Bianca Fonte. A minha família que mesmo longe apoiaram desde sempre, ao José Manuel pela compreensão ao longo dos anos e apoio para este novo desafio. Aos meus filhos Joaquim e Pedro Miguel por estarem ao meu lado durante este período, sem vocês não teria conseguido. Muito obrigada pela vossa enorme amizade Ruth Nzita, Bianca Fonte e Lorena Lima.

RESUMO

Introdução: O mercúrio é um metal tóxico e pode ser encontrado em diversas formas na natureza, incluindo na cadeia alimentar, com efeitos nocivos no desenvolvimento cognitivo. O consumo alimentar de peixe, principal via de exposição humana, na gravidez deve ser moderado, com particular atenção às espécies predadoras. Objetivos: Avaliar o risco para a saúde da exposição a mercúrio na população portuguesa e brasileira no período 2013-2023.

Metodologia: Efetuou-se uma revisão da literatura considerando os estudos publicados entre os anos 2013-2023, com avaliação de exposição a mercúrio através de estudos de biomonitorização humana, nas populações de Portugal e do Brasil. Os dados de exposição foram extraídos e efetuou-se a caracterização do risco através do cálculo do quociente de perigo.

Resultados: Foram obtidos 757 estudos após as pesquisas realizadas nas duas bases de dados, Pubmed e Scielo. Após aplicação dos critérios de inclusão, 19 estudos de biomonitorização humana foram considerados para a avaliação da exposição de risco. Foram determinados quocientes de perigo que variaram entre 0,45 e 2,62, e entre 0,80 e 9,1, para Portugal e Brasil, respectivamente.

Conclusões: os resultados demonstram que, numa perspectiva de saúde pública, a exposição a mercúrio representa um alto risco para a saúde humana. É fundamental manter a legislação e ações de fiscalização em vigor, bem como, desenvolver programas de educação e sensibilização dirigidos a populações vulneráveis como as grávidas.

Palavra-chaves: mercúrio, exposição humana, Portugal, Brasil

ABSTRACT

Introduction: Mercury is a toxic metal and can be found in various forms in nature, including in the food chain, with harmful effects on cognitive development. Dietary consumption of fish, the main route of human exposure, during pregnancy should be moderate, with particular attention to predatory species.

Objectives: To evaluate the health risk of exposure to mercury in the Portuguese and Brazilian population in the period 2013-2023. **Methodology:** A literature review was carried out considering studies published between 2013 and 2023, with evaluation of mercury exposure through human biomonitoring studies, in the populations of Portugal and Brazil. Exposure data were extracted, and risk characterisation was performed by calculating the hazard quotient.

Results: A total of 757 studies were obtained after searches in the two databases, Pubmed and Scielo. After applying the conclusion criteria, 19 human biomonitoring studies were considered for exposure assessment and risk characterization. Hazard quotients ranged from 0.45 to 2.62 and from 0.80 to 9.1 for Portugal and Brazil, respectively.

Conclusion: The results demonstrate that, from a public health perspective, exposure to mercury poses a high risk to human health. It is essential to maintain the legislation and enforcement actions in force, as well as to develop education and awareness programs aimed at vulnerable populations such as pregnant women.

Keywords: mercury, human exposure, Portugal, Brasil

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1 FORMAS DE MERCÚRIO	03
2.2 FONTES NATURAIS E ANTROPOGÉNICA	03
2.3 TOXICIDADE	05
2.4 EXPOSIÇÃO AO MERCÚRIO	06
2.5 REGULAMENTAÇÃO DO MERCÚRIO EM PORTUGAL	08
2.6 REGULAMENTO DO MERCÚRIO NO BRASIL	09
2.7 AVALIAÇÃO DE RISCO	10
2.8 BIOMARCADORES PARA EXPOSIÇÃO AO MERCÚRIO	13
2.9 RECOMENDAÇÕES PARA O CONSUMO DE PESCADOS PARA OS GRUPOS DE RISCO	13
3. OBJETIVOS	15
3.1 OBJETIVO GERAL	15
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	15
4. METODOLOGIA	16
4.1 TIPO DE ESTUDO E PERÍODO	16
4.2 PESQUISA NA BASE DE DADOS	16
4.3 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE	16
4.4 ANÁLISE DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS DADOS	16
4.5 ASPECTOS ÉTICOS E LEGAIS	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
6. CONCLUSÕES	29
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Regulamentação aplicável em Portugal.	09
Tabela 2. Regulamentação Técnico Mercosul sobre os limites máximos dos contaminantes Inorgânicos dos alimentos a Resolução RDC- nº42, de 29 de agosto de 2013. Limites admitidos para o mercúrio, aplicação dos limites máximos	10
Tabela 3. Valores de exposição considerados para a avaliação de risco	12
Tabela 4. Referências de exposição consideradas para a avaliação de risco	17
Tabela 5. Caracterização dos estudos obtidos na pesquisa e selecionados após aplicação dos critérios de inclusão	19
Tabela 6. Caracterização de risco dos estudos selecionados, com concentrações de mercúrio reportadas em amostras de sangue total, cabelo ($\mu\text{g/g}$) e cordão umbilical ($\mu\text{g/l}$), através do cálculo do quociente de risco (HQ).	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Valores do relatório global de avaliações de emissões, considerando-se fontes antropogênicas e geogênicas, publicados pelo programa PNUMA	04
Figura 2. Distribuição da contribuição de pescados para a exposição ao mercúrio	07
Figura 3. Abordagem integrada em um estudo de avaliação da exposição	13
Figura 4. Fluxograma de buscas e extrações de dados dos trabalhos incluídos na revisão	18

LISTA DE SIGLAS E ACRONIMOS

CNDSS - Comissão Nacional sobre os Determinantes Sociais da Saúde

CONTAM - Contaminantes na cadeia alimentar

DDA - Dose diária admissível

DDT - Dose diária tolerável

DSI - Doses semanais ingeridas

EU - União Europeia

EFSA - Autoridade Europeia para a Segurança dos alimentos

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

Hg - Mercúrio

HBM-GV- Valor guia de biomonitorização humana

IAN-AF - Inquérito Alimentar Nacional e de Atividade Física

IST - Ingestão Semanal Tolerável

ODS - Objetivo do desenvolvimento sustentável

ONU - Organizações da Nações Unidas

OMS - Organização Mundial da Saúde

MeHg - Metilmercúrio

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

Portaria MMA - Portaria Ministério Meio Ambiente

QI - Quociente de inteligência

QP - Quociente de Perigo

SNC - Sistema Nervoso Central

TDS - Estudos de dieta total

WHO - World Health Organization

1. INTRODUÇÃO

O mercúrio (Hg) é um metal natural bastante tóxico, que em contato com o ambiente apresenta efeitos nocivos nos organismos vivos¹. Um desafio ambiental relevante atualmente é a poluição dos ecossistemas aquáticos pela presença dos metais pesados, por apresentarem toxicidade e manterem-se persistentes no ambiente¹. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) a atividade humana é um dos fatores que conseqüentemente apresenta a liberação de grandes quantidades de mercúrio para o ambiente podendo continuar a circular durante milhares de anos causando sérios problemas².

Os seres humanos podem ser expostos ao Hg em qualquer uma de suas formas e em circunstâncias diferentes³. O Hg ocorre em diferentes formas químicas e com toxicidade diferentes, com implicações diversas para a saúde e para as medidas de exposição³. Através de algumas atividades humana como a incineração e a queima de combustíveis fósseis, o Hg pode ser liberado no ar⁴. O Hg existe em três formas: o elementar ou metálico, o Hg inorgânico e o Hg orgânico sendo o metilmercúrio (MeHg) o mais importante⁵.

Este metal pesado pode ser encontrado em diversas formas na natureza, incluindo na cadeia alimentar⁶. A bioacumulação ocorre quando um organismo contém concentrações mais elevadas das substâncias do que o meio ambiente⁷. Devido à bioacumulação de metilmercúrio, a metilação prevalece sobre a desmetilação em ambientes aquáticos⁸.

Devido à sua biomagnificação o MeHg entra na cadeia alimentar através da difusão que ocorre de maneira rápida e através da ligação com as proteínas da biota aquática atingindo desta maneira a concentração em tecidos de peixes do topo da cadeia alimentar⁸. Por ser altamente bioacumulativo, e através do consumo de peixe pelo ser humano, representa uma ameaça à saúde humana provocando diversos efeitos nocivos à saúde⁸.

Ápos o reconhecimento da toxicidade do mercúrio e efeitos nocivos para a saúde humana, a Organização da Nações Unidas (ONU) com o objetivo de proteger a saúde humana e o ambiente das emissões de Hg promoveu a Convenção de Minamata⁸. A convenção de Minamata sobre o mercúrio ocorreu em 10 de outubro de 2013 e foi assinada por 128 países, sendo um acordo internacional juridicamente vinculado para abordar a poluição global do Hg⁶. A convenção entrou em vigor 90 dias depois, ratificada por 50 países⁹.

A ciência acompanha a evolução da diversidade e da variação da exposição e risco ao Hg em populações ao redor de todo o mundo⁹.

Considerando que o mercúrio tem efeito nocivos sobre o desenvolvimento do sistema nervoso central, resultando em desenvolvimento cognitivo diminuído, o conhecimento da exposição é de suma importância especialmente para as mulheres grávidas. Por isso, a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) recomenda o aconselhamento dietético adequado para os grupos vulneráveis, contribuindo assim para o controlo da exposição pré-natal ao mercúrio e garantindo o benefício nutricional¹⁰.

É importante que as diretrizes políticas assegurem que as informações sobre segurança alimentar cheguem à população e particularmente à população de risco e mais vulneráveis para que desta maneira reduza a exposição a mercúrio¹¹. Com vista a proteger a população geral com efeitos nocivos do mercúrio estão disponíveis vários referenciais de exposição, que podem ter aplicação nos processos de avaliação de risco baseados em dados de biomonitorização humana¹².

Sabendo que o consumo de peixe é a principal via de exposição humana a mercúrio, a relevância que o consumo de peixe tem na dieta praticada em Portugal e no Brasil, e os efeitos do mercúrio para a saúde, considerou-se relevante rever os estudos de avaliação da exposição a mercúrio através de biomonitorização humana e caracterizar o risco decorrente desta exposição nas populações de Portugal e do Brasil. Assim, esta dissertação tem como objetivo principal, avaliar o risco para a saúde da exposição a mercúrio na população portuguesa e brasileira no período de 2013-2023, estando alinhado e contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 3 (Saúde de qualidade) e 14 (Proteger a vida marinha)¹³.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FORMAS DE MERCÚRIO

O uso antropogénico do Hg resulta na libertação de grandes quantidades na atmosfera e pode percorrer longas distâncias, apresentando um risco significativo para o meio ambiente e a saúde humana. O mercúrio elementar pode eventualmente reagir na atmosfera para formar mercúrio inorgânico, que se deposita em corpos de água e na terra¹⁴. Existem várias formas de mercúrio:

Mercúrio Metálico - O mercúrio metálico ou elementar é relativamente estável e pode ser utilizado em diversos processos, como em confecções de termómetros, em amalgamas dentárias, no processo de purificação e extração de ouro e numa variedade de produtos industriais e domésticos¹⁴. É volátil e liberta um gás monoatômico perigoso, o vapor de mercúrio metálico. É o único metal que apresenta-se líquido à temperatura ambiente e por isso também é conhecido como mercúrio elementar¹⁵.

Compostos Inorgânicos – O mercúrio inorgânico combina com outros elementos, como por exemplo o enxofre, o cloro e o oxigénio, formando sais e outros compostos e podem estar presentes naturalmente no ambiente¹⁶. São utilizados na catálise na indústria de polímeros sintéticos¹⁶.

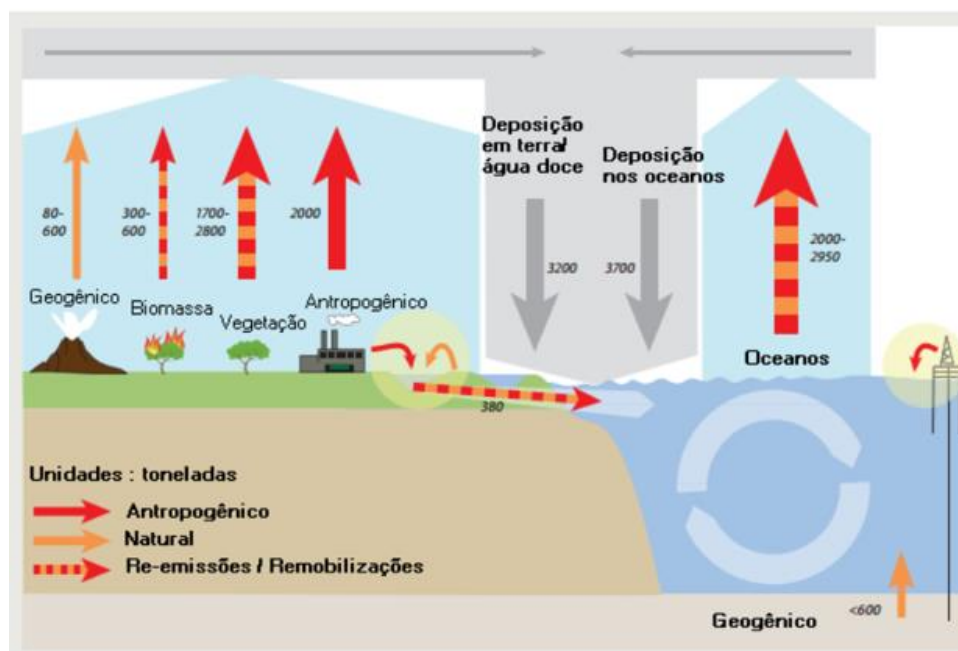
Compostos Orgânicos – Esses compostos são formados com a combinação de carbono, sendo considerado o mais importante sob o ponto de vista toxicológico pois apresenta radicais de cadeia curta metil, etil e propil¹⁶. A forma lipossolúvel de Hg pode atravessar facilmente a barreira hematoencefálica, placentária e biomembranas podendo acumular por vários anos em diversos tecidos e órgãos¹⁷.

2.2 FONTES NATURAIS E ANTROPOGÉNICA

O mercúrio é considerado o décimo elemento mais prejudicial à saúde humana². Ações antropogénicas como as gestões inadequadas de resíduos industriais e ilegais na mineração artesanal de ouro resultam na contaminação por mercúrio dos ecossistemas tornando-se assim um problema de saúde pública⁴.

São complexas as reações químicas do mercúrio no meio ambiente, através da ação antropogénica e considerando a sua volatilidade, o seu ciclo biogeoquímico, que

permite a circulação entre solo, água e ar, o mercúrio pode ser identificado nos locais mais afastados do globo terrestre^{14, 3}.



Fonte: Publicados pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em 2013¹⁵.

Figura 1 – Emissões de mercúrio considerando-se fontes antropogênicas e geogênicas. publicados pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em 2013

O mercúrio acumula-se durante muitos anos no solo sendo lentamente transportado para os lagos e águas costeiras, onde se transforma em MeHg nos peixes.

Mesmo existindo de forma natural na crosta terrestre, as emissões antrópicas de mercúrio são maiores e, desde o período do início industrial vem aumentando¹⁵.

Todos os seres humanos já tiveram algum tipo de exposição ao mercúrio. Grande parte da população é exposta a baixos níveis de mercúrio, muitas vezes através da exposição crônica (contato intermitente ou longo), porém pode ocorrer uma exposição aguda¹⁸. O metilmercúrio (MeHg) é um dos compostos mais tóxicos, formado a partir da metilação de formas inorgânicas de Hg por microrganismos, sendo também o composto orgânico de Hg encontrado no encontrado no meio ambiente⁴. A concentração de mercúrio em espécies de peixes é influenciada pela posição das espécies na cadeia alimentar, pode acumular além de espécies aquáticas também atingir níveis elevados em insetos e aves¹⁹. Os peixes e os produtos à base de peixe são os maiores contribuidores para a exposição a metilmercúrio²⁰.

Os peixes predadores e mariscos são os maiores bioacumuladores enquanto que nos peixes de espécies de dimensão reduzida como a sardinha, a concentração é mais baixa²¹. Na Europa, as concentrações mais elevadas encontram-se no Mar

Mediterrâneo apresentando condições favoráveis ambientais para a produção de metilmercúrio²¹

2.3 TOXICIDADE

Em 1953, na Baía de Minamata no sudoeste do Japão ocorreu o primeiro relato do desastre ambiental de repercussão mundial expondo o risco do mercúrio¹². Uma empresa química da Chisso Corporation utilizava sulfato de mercúrio como catalisador para produção de ácido acético e derivados e cloreto de mercúrio como catalisador como cloreto de vinila, sendo que o metilmercúrio era um subproduto na síntese de acetaldeído⁸. O componente tóxico à base de metilmercúrio após ser despejado na Baía de Minamata contaminou a biota marinha chegando até a população através do consumo de pescado⁸. A doença foi oficialmente descrita como “Doença de Minamata” em 1956, quando ocorreu a internamento de uma criança apresentando os sintomas de mãos e pés paralisados, atingindo a população de forma epidêmica⁸. A mortalidade foi estimada em 20% e os sobreviventes ficaram com incapacidade⁸.

Atualmente a promulgação da Convenção de Minamata incentiva o cumprimento dos objetivos em reduzir o uso e a poluição por mercúrio. As principais aplicações do mercúrio nas indústrias eletrônicas como as lâmpadas fluorescentes e de vapor de mercúrio, pilhas, baterias e componentes elétrico¹⁴.

O mercúrio não tem função biológica benéfica e sua presença em organismos está associado a defeitos congênitos, alterações hormonais e alguns tipos de cancro¹⁴. Os seres humanos enfrentam riscos de exposição de várias formas de mercúrio provenientes de inúmeras fontes e vias de exposição².

O meio aquático sofre o maior impacto do mercúrio devido à deposição atmosférica, que por metilação bacteriana é convertido em MeHg, e desta forma possui a capacidade de acumular na cadeia alimentar aquática. Uma população afetada por este metal são as mulheres grávidas, uma por atravessar a barreira placentária e hematoencefálica, as mulheres grávidas e os fetos constituem uma população vulnerável²².

Segundo dados disponíveis é provável que sejam envolvidos múltiplos mecanismos na forma como o mercúrio afeta de maneira negativa a neurogênese²³. A evidência que a exposição a concentrações mais elevadas de mercúrio resulta na morte de células precursoras neuronais, bem como de neurônios maduros, modificando as funções do sistema nervoso central²⁴. A exposição aguda demonstrada através dos estudos ao MeHg pode provocar debilidade, fadiga, perda de peso, instabilidade

emocional, distúrbios psiquiátricos, confusão mental, dificuldade de concentração, amnésia, taquicardia, delírios, tonturas, descoordenação motora, parestesia, ataxia, surdez, tremores musculares, constrição do campo visual, coma e até a morte²⁵. A intoxicação crónica é caracterizada por distúrbios de sensibilidade nas extremidades, distúrbios de coordenação e equilíbrio, levando a danos irreversíveis²⁵.

2.4 EXPOSIÇÃO AO MERCÚRIO

O mercúrio acumula-se durante muitos anos no solo sendo lentamente transportado para os lagos e águas costeiras, onde se transforma em MeHg nos peixes²⁶.

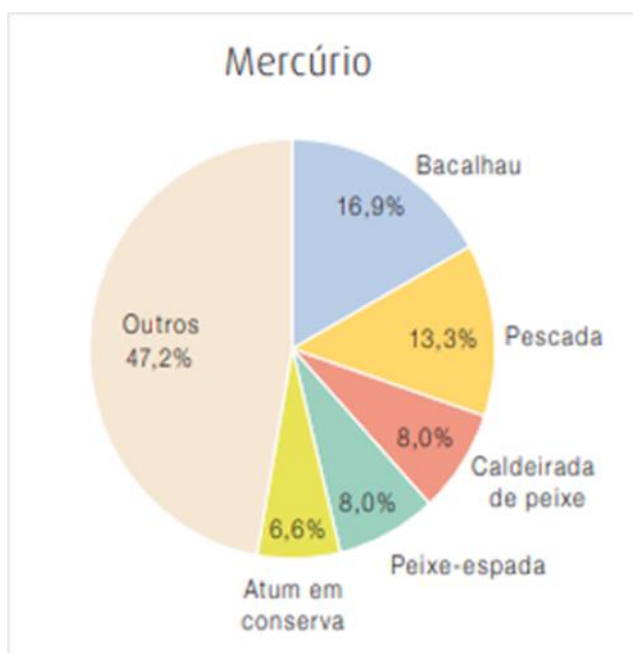
Uma via significativa de exposição para a população, é a via oral³. Uma das formas mais significativas de exposição ao mercúrio na Europa é através da dieta²⁷. As populações que consomem muito peixe, como em regiões costeiras, como as mediterrâneas e as regiões árticas se tornam mais vulneráveis. A exposição humana ocorre principalmente através de consumo de peixe e marisco contaminados, sendo o metilmercúrio o risco mais significativo²⁷.

As exposições pré-natais do feto relacionam-se com as fontes de exposição da mãe, sendo a dieta uma fonte muito importante²⁷. A exposição ao MeHg durante a gravidez está associada a efeitos adversos no desenvolvimento neurológico em crianças, uma vez que o MeHg atravessa as barreiras placentária e hematoencefálica, causando danos oxidativos ao sistema nervoso central fetal em desenvolvimento²¹. De acordo com estudos epidemiológicos a exposição ao MeHg durante a gravidez pode ter o efeito prejudicial no desenvolvimento cognitivo das crianças²⁷.

Uma tarefa importante de proteção para a contaminação do Hg da cadeia alimentar se torna uma proteção da saúde da população humana e um objetivo da segurança alimentar²¹.

Os estudos de dieta total são considerados um bom complemento aos programas de monitorização ou vigilância alimentar existentes para estimar a exposição da população através dos alimentos tal como são consumidos, as substâncias químicas prejudiciais e benéficas²⁸. A população portuguesa consome em média, 56,5 kg/pessoa/ano de peixe, sendo o país o de maior consumidor de pescado na União Europeia (EU). Ao nível mundial, está na 3^o posição, perdendo somente para a Islândia com 91 kg/pessoa/ano²⁹. O peixe e os produtos à base de peixe são os maiores contribuintes para a exposição de mercúrio³⁰. Em Portugal, o Instituto Ricardo Jorge

avaliou, através de um estudo de dieta total, o contributo das diferentes espécies de peixe para a exposição a mercúrio (Figura 2)³⁰.



Fonte: Departamento de Alimentação e Nutrição, Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, Lisboa, Portugal³⁰

Figura 2 - Distribuição da contribuição de pescados para a exposição ao mercúrio

Recentemente foram publicados as recomendações para o consumo de pescados para a população portuguesa, que foram definidas tendo por base a frequência de consumo da população portuguesa, obtida através do inquérito nacional IAN-AF³⁰. Os dados relativos ao teor de mercúrio foram, por sua vez, determinados através de amostras obtidos no âmbito do plano de controlo oficial e de diferentes estudos científicos³⁰. Esses resultados podem ser utilizados como uma ferramenta de definição de prioridades para os gestores de risco concentrem os seus recursos habitualmente limitados, nas substâncias e alimentos que se revelem de maior risco para a saúde pública³⁰.

O consumo de peixe pela população brasileira em média é, de 9 kg/pessoa/ano. Entretanto, na região hidrográfica amazônica, o consumo per capita de pescados pelas comunidades ribeirinhas está próximo de 150 kg por ano³¹. Segundo a Revista Food Safety Brazil as espécies de peixes de grande porte, ocupam um lugar do topo da cadeia alimentar marinha (tubarão, o espadarte, o marlim e o atum), apresentando maior teor de mercúrio em sua carne, e portanto, não é o recomendado para o consumo frequente³². Outros peixes como o bacalhau, a truta, o salmão, a pescada e a corvina apresentam baixo teor de mercúrio em sua carne³².

2.5 REGULAMENTAÇÃO DO MERCÚRIO EM PORTUGAL

A Convenção de Minamata sobre o Mercúrio, adotada em Kumamoto, Japão, em 10 de outubro de 2013, constitui o principal quadro jurídico internacional de cooperação com o propósito de limitar e controlar a utilização e as emissões antropogénicas de mercúrio e compostos de mercúrio para a atmosfera, a água e o solo³³.

É reconhecido que o mercúrio e os seus compostos são altamente tóxicos, persistentes, bioacumuláveis, e transportados através do ar, do solo, da água e dos organismos vivos; por isso, a consequente necessidade de se adotarem medidas a nível global sobre esta matéria³⁴.

Os esforços para a proteção da saúde humana e do ambiente da exposição ao mercúrio e aos seus compostos foram a base das preocupações das partes envolvidas na adoção de um instrumento jurídico internacional sobre esta matéria. Em Portugal a convenção foi transposta para legislação de âmbito nacional através do Decreto-Lei nº 40/2017 de 23 de novembro³³.

Considerando que a exposição via oral através do consumo alimentar é a principal fonte de exposição e com o intuito de proteger a saúde dos consumidores, a Comissão Europeia publicou legislação para limitar os teores máximos em produtos de peixe³⁴. O Regulamento da União Europeia 915/2023, relativos aos teores máximos de certos contaminantes presentes nos géneros alimentícios, tem aplicação em Portugal, e estão regulamentados teores máximos para o Hg presentes em espécies de pescados^{28,35}.

Tabela 1 - Regulamentação aplicável em Portugal através do Regulamento (EU)915/2023³⁵.

País / Regulamento	Alimentos	Teor máximo de mercúrio (mg/kg)	Observações
Portugal (União Europeia) Regulamento (EU) 915/2023	Crustáceos, moluscos e parte muscular comestível do peixe, exceto das espécies referidas nos pontos	0,50	Crustáceos – teor máximo – parte comestível (abdômen e apêndices), excluído o cefalotórax dos crustáceos. Caranguejos e crustáceos similares, teor máximo aplica-se - parte muscular comestível dos apêndices. teor máximo aplica-se apenas ao músculo adutor e à gónada.
Portugal (União Europeia) Regulamento (EU) 915/2023	Parte muscular comestível dos seguintes peixes: Besugo Peixe-espada-preto, Goraz, Sarrajão, Bica, Escolar-preto Alabotes (espécies de Maruca-do-cabo (espécies, Areeiros (espécies de Escolar Peixe-relógio, Maruca-da-argentina, Lúcius Palmeta, Fanecas e fanecão (espécies Salmonete-da-vasa Granadeiro Veleiros (espécies de Peixe-espada-branco, Esturjões Salmonete-legítimo Atum (espécies de espécies deTubarões (todas as espécies)	1,0	

2.6 REGULAMENTO DO MERCÚRIO NO BRASIL

No Brasil, o uso do metal é frequente em áreas rurais e nos centros urbanos industriais, onde têm sido detetadas situações com elevada concentração de mercúrio em locais de trabalho, como os garimpos da região Amazónica³⁶.

Foi também promulgada a Convenção de Minamata sobre o mercúrio, o Art. 1º firmada pela República Federativa do Brasil, em Kumamoto, em 10 de outubro de 2013, anexo a este decreto. Brasília, 14 de agosto de 2018; 197º da independência³⁷. A autoridade competente por receber solicitações para a autorização de importação e exportação da substância e verificar se a sua utilização está prevista na Convenção de

Minamata sobre o mercúrio, seguiu a partir da Portaria MMA 125/2021 pelo Instituto Ibama³⁸.

Em 2013 foi emanada pelo Mercosul a Resolução nº42 de 29 de agosto relativa à concentração máxima admissível de mercúrio no peixe e produtos da pesca a serem consumidos eviscerados, sem cabeça e sem tórax por peixe inteiro³⁹.

Tabela 2 - Regulamento Técnico Mercosul sobre os limites máximos dos contaminantes inorgânicos dos alimentos Resolução RDC- nº42, de 29 de agosto de 2013. Limites admissíveis para o mercúrio, aplicação dos limites máximos³⁹

País/Regulamento	Alimentos	Teor máximo de mercúrio (mg/kg)	Observações
Brasil Mercosul Resolução RDC nº42, de 29 de agosto de 2013	Peixes	0-50	Exceto predadores
	Peixes predadores	1-0	
	Crustáceos	0-50	
	Moluscos cefalópodes	0-50	
	Moluscos bivalve	0-50	

2.7 AVALIAÇÃO DE RISCO

Uma avaliação de exposição a agentes químicos constitui um processo importante para a garantia da saúde pública⁴⁰.

A avaliação de risco é um método que visa estimar os riscos potenciais para a saúde das pessoas e os impactos sobre o ambiente/ecossistemas devido a presença de elementos químicos ou substâncias nocivas a estes ambientes⁴⁰. Aplica-se a avaliação de risco em situações em que as contaminações químicas por produtos pelos agentes químicos estão associadas à saúde humana e ao ecossistema⁴⁰. Envolve algumas etapas, sendo elas: identificação do perigo; caracterização do perigo; avaliação de exposição e caracterização do risco⁴⁰. Como parte da metodologia as etapas devem estar presentes de forma integrada no processo analítico de um estudo de avaliação de risco⁴¹. A seguir serão descritas as etapas de avaliação da exposição e caracterização do risco:

Identificação do perigo – Está relacionado diretamente ao contaminante primário aos tipos de toxicidade e auxílio da descrição como monitorização ambiental. Nessa etapa deve ser respondida à questão: quais são os perigos potenciais na área impactada?⁴⁰.

Caracterização do perigo: esta etapa caracteriza a relação entre a dose recebida de uma ou mais substâncias e a incidência de um dado efeito deletério significativo no

ambiente e/ou numa população exposta a essas substâncias⁴⁰. A via pela qual o agente entra no organismo é importante, podendo ser por via respiratória, dérmica ou consumo alimentar.

Avaliação de exposição: esta etapa de estudo avalia o do contato do organismo com o agente físico e químico⁴⁰.

Caracterização de risco: é considerada a etapa final do processo de uma avaliação de risco, apresenta a avaliação da toxicidade da substância numa determinada população através de resultados qualitativos, semiquantitativos ou quantitativos⁴⁰. A forma quantitativa do risco constitui em um cálculo do potencial de ocorrências dos efeitos. Pretende estimar o potencial impacto decorrente da exposição na saúde do homem⁴⁰.

Relativamente à caracterização dos riscos uma abordagem utilizada é denominada de Quociente de perigo (QP), em inglês, Hazard Quotient (HQ), em que as doses de exposição e as concentrações de referência constantes das diretrizes de saúde são comparadas (quociente) estimando assim o potencial risco para a saúde, para cada contaminante e via de exposição⁴⁴. O conceito é importante para a avaliação do risco químico, sendo utilizado pelas autoridades reguladoras para a descrição de uma categoria de risco de uma substância química⁴¹.

O QP é calculado pela razão entre a exposição e os limites de referência ou valores-guia disponíveis para cada contaminante⁴¹.

$$\bullet \quad QP = \frac{[Exposição]}{Referencial \ de \ exposição}$$

Um QP inferior ou igual a 1 indica que não é provável que ocorram efeitos adversos não causando um impacto para a saúde pública. Um resultado do QP maior que 1 significa que a exposição a esta dose indica um potencial dano à saúde. As agências reguladoras estabelecem doses toleráveis para a ingestão do metilmercúrio³⁵.

Considerando a toxicidade do mercúrio e os efeitos na saúde associados, várias entidades internacionais estabeleceram doses toleráveis para a ingestão de metilmercúrio, ou valores-guia de concentração em amostras biológicas (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores de exposição considerados para a avaliação de risco

Entidade	Referência	Limite	Aplicação
European Food Safety Agency (EFSA)	EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of Mercury and methylmercury in food. Eur Food Saf Auth J.2012;10(12):2985. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2985	1,3 µg/kg peso corporal	Ingestão semanal
Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)	Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives International programme on Chemical Safety (67th meeting,2006). Safety evaluation of certain food additives and contaminants. Geneva: World Health Organization 2007. (Who food additives series; 58). https://apps.who.int/iris/handle/10665/43645	1,6 µg/kg de peso corporal	Ingestão semanal
WHO	World Health Organization, United nations Environment Programme. Guidance for Identifying Populations at risk from Mercury exposure. Geneva: WHO/UNEP,2008	5 µg/L 10 µg/L	Sangue total indivíduos sem consumo de peixes contaminados
Comissão Alemã de Biomonitorização	https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/health/commissions-working-groups/human-biomonitoring-commission/reference-hbm-values	7 e 25 µg/L 5 e 15 µg/L	Urina sangue
MERCOSUL	Regulamento técnico Mercosul sobre limites máximos de contaminantes em alimentos https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3898888/RDC_243_2018_.pdf/0e39ed31-1da2-4456-8f4a-afb7a6340c15	1,3 µg/kg peso corporal	Ingestão semanal

A avaliação da exposição da população é realizada comparando o nível de ingestão semanal ou diário, ou dose interna, com o nível de exposição recomendado⁴². Nos países que possuem alto consumo de pescados, é importante ter conhecimento sobre os benefícios e os riscos para a saúde humana²⁰. Quando se realiza uma avaliação de exposição, a biomonitorização humana (BMH) torna-se uma importante ferramenta para a avaliação dos níveis de exposição de uma população, ocorre pela identificação de grupos de risco e vigilância dos níveis de contaminação ambiental⁴¹.



Fonte: Elaboração própria, 2024

Figura 3 - Abordagem integrada em um estudo de avaliação da exposição ⁴².

2.8 BIOMARCADORES PARA EXPOSIÇÃO AO MERCÚRIO

Os indicadores biológicos de exposição indicam as concentrações presentes no organismo, sendo o resultado da interação do químico com as moléculas biológicas das células dos tecidos ou fluidos corporais⁴³.

Os biomarcadores apresentam um papel essencial na avaliação dos riscos. Apresentam uma divisão em biomarcadores de exposição, efeito ou suscetibilidade⁵¹. Os biomarcadores de exposição podem ser marcadores de medida direta da substância ou conjugados em uma amostra biológica. Os biomarcadores de efeito estão diretamente ligados à toxicidade (exige a validação dos biomarcadores)⁴³.

Para a avaliação da exposição, o biomarcador habitualmente determinado em amostras de: cabelo, urina ou sangue, sendo o cabelo o mais utilizado de forma não invasiva. Dependendo do tipo de exposição, aguda ou crônica, assim dependerá o tipo de biomarcador utilizado para avaliar e a amostra biológica⁴⁴.

2.9 RECOMENDAÇÕES PARA O CONSUMO DE PESCADOS PARA OS GRUPOS DE RISCO

O consumo de produtos do mar escados, (peixes, moluscos e crustáceos), têm benefícios para a saúde, diminuindo o risco de doenças coronária e contribuindo para um adequado neuro desenvolvimento do feto²⁹. Apesar disso, algumas espécies predadoras muito consumidas, como atum fresco, garoupa, peixe-espada e tintureira, cação, espadarte e pata roxa contém elevado teor de mercúrio, o que pode representar

riscos para a saúde ao nível do desenvolvimento cognitivo, devendo por isso ser evitadas pelos grupos vulneráveis, como as grávidas, mulheres a amamentar e crianças pequenas^{29,30}.

A sensibilização para a escolha dos peixes como alimento para a população portuguesa deve ser avaliada, pois grande parte da população não possuem o conhecimento a respeito deste assunto, a população considera que não deve comer determinadas espécies de peixe porque se encontra em ambientes poluídos e não compreendem os conceitos de bioacumulação²⁷. É importante sensibilizar as mulheres em idade reprodutiva e as mulheres grávidas para a escolha de um peixe para a dieta e capacitá-las para uma tomada de decisão adequada na sua nutrição⁴⁵.

Os determinantes de saúde são multidimensionais. As condições de vida e trabalho dos indivíduos e de grupos da população que se relaciona com a situação de saúde é expressa pelos Determinantes Sociais de Saúde⁴⁶. A saúde está relacionada diretamente ao comportamento e estilos de vida, com a alimentação sendo um dos fatores⁴⁶. Estudos demonstraram que a exposição ao mercúrio é mais elevada em indivíduos com um nível de escolaridade mais elevado, provavelmente devido a um consumo maior de marisco¹⁰.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o risco para a saúde da exposição a mercúrio na população portuguesa e brasileira no período 2013 - 2023.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Efetuar a revisão de estudos que reportam a exposição ao mercúrio publicados no período 2013 – 2023.
- Caracterizar o risco associado à exposição ao mercúrio em Portugal e no Brasil no período 2013– 2023.

4. METODOLOGIA

4.1 TIPO DE ESTUDO E PERÍODO

Este estudo consiste numa revisão da literatura realizada conforme proposto por Grant e Booth (2009), já que este trabalho visa identificar os acontecimentos mais importantes da área num modelo narrativo e conceitual sobre as concentrações, e exposição do mercúrio dos países Portugal e Brasil para o período 2013-2023.

4.2 PESQUISA NA BASE DE DADOS

A consulta na base de dados considerou dois grupos principais de conceitos: o poluente e a população.

A pesquisa foi realizada em 23 de abril de 2023, com as seguintes combinações de palavras-chaves: “(((mercury) AND (human exposure)) AND (Portugal)); ((Mercury) AND (human exposure) AND (Brasil))” OR (mercúrio). Duas bases de dados de literatura com revisão por pares foram pesquisadas: (i) Pubmed (todos os campos e termos MeSH relevantes); (ii) Scielo (apenas título-resumo-palavras-chave: exclui artigos de conferências, notas, editoriais e cartas).

4.3 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE

Os critérios de inclusão foram: i) artigos disponíveis na íntegra e gratuitos; ii) ortografia em inglês e português; iii) horizonte temporal 2013-2023. iv) estudos biomonitorização humana desenvolvidos em Portugal e no Brasil. Como critério de exclusão consideram-se: artigos de revisão ou estudos desenvolvidos em contexto ocupacional. As fontes da literatura cinzenta não foram consideradas. Foram ainda adicionados artigos que eram do conhecimento da equipa de investigação e que não foram encontrados através da pesquisa nas bases de dados.

4.4 ANÁLISE DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS DADOS

As referências foram coletadas, gerenciadas, desduplicadas e triadas utilizando os softwares Microsoft Excel 365 e Mendeley Manager. Os resultados serão apresentados em tabelas, sendo a caracterização geral dos artigos com as informações

relevantes de publicação, desenho do estudo, métodos, exposição a mercúrio, tipo de amostra biológica, população em estudo, resultados principais.

Considerando os valores de exposição reportados nos artigos selecionados, foi efetuada a comparação com os referenciais de exposição disponíveis, determinando assim o Quociente de Perigo (QP) para cada população.

$$QP = \frac{[Exposição]}{Referencial\ de\ exposição}$$

A interpretação do QP é que valores próximos ou superiores a 1(um) indicam que os níveis de exposição estão próximos ou excedem o valor de orientação de exposição selecionados, representando uma potencial preocupação em Saúde Pública.

Tabela 4 – Referências de exposição considerados para a avaliação de risco.

Entidade	Referência	Referencial de exposição	Aplicação
Comissão Alemã de Biomonitorização	UBA (2023) ¹²	HBM I – 5 µg/l HBM II – 15 µg/l	Sangue
Comissão Alemã de Biomonitorização	UBA (2023) ¹²	HBM I - 7 µg/l HBM II - 25 µg/l	Urina
Organização Mundial da Saúde	WHO (2008) ⁵²	2 µg/g	Cabelo
Organização Mundial da Saúde	WHO (2008) ⁵²	5 – 10 µg/l	Sangue

4.5 ASPECTOS ÉTICOS E LEGAIS

Por se tratar de uma revisão, sendo utilizado dados já publicados, de acesso livre e gratuito para acadêmicos, não foram considerados constrangimentos éticos associados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizada uma pesquisa abrangente para encontrar o máximo possível de estudos publicados na última década, relacionados com a exposição materno-infantil ao mercúrio e repercussões para saúde, associada ao consumo de peixes. No total 757 estudos foram obtidos após as pesquisas realizadas nas duas bases de dados, Pubmed

e Scielo. O fluxograma desde a pesquisa até a extração dos dados dos estudos encontrados para a composição dos resultados desta dissertação é apresentado na Figura 4.

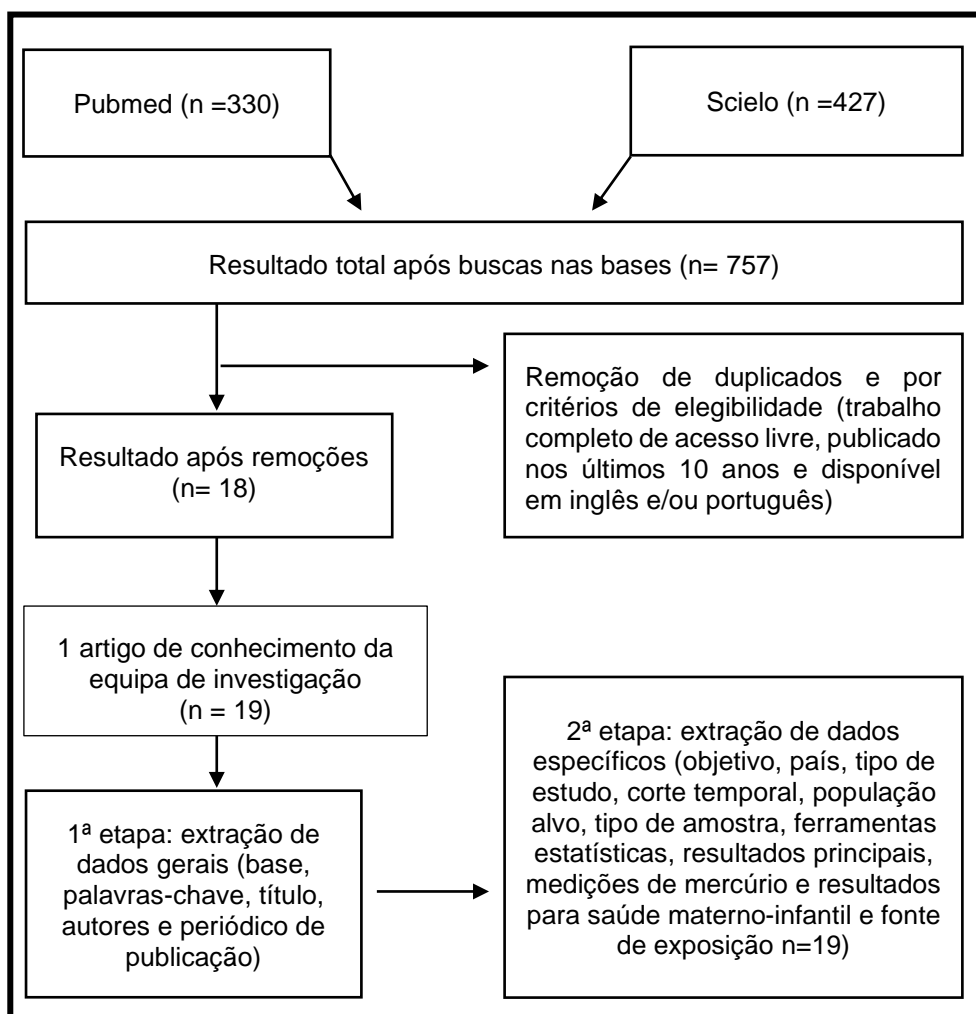


Figura 4 - Fluxograma de buscas e extração de dados dos trabalhos incluídos na revisão

A distribuição dos estudos selecionados por anos com maiores números de publicações foi o ano de 2014 (n=4), seguidos pelos anos de 2018 e 2021 (n=3); 2013, 2016, 2017 (n=2); 2019, 2020 e 2022 (n=1).

A tabela 5 apresenta a identificação dos estudos selecionados, bem como a caracterização de dados gerais, como título, objetivo, características da população e tipo de estudo, tipo de amostra biológica, fonte de exposição, concentração de mercúrio, resultados e conclusões principais.

Tabela 5 – Caracterização dos estudos obtidos na pesquisa e selecionados após aplicação dos critérios de inclusão.

Autores (ano)	Título	População em estudo	Tipo de estudo	Tipo de amostra	Fonte de exposição	Concentração de mercúrio [Hg]	Resultados e conclusões principais
Marques et al. (2013)	Mercury Transfer During Pregnancy and Breastfeeding: Hair Mercury Concentrations as Biomarker	N= 649 pares mãe-filho	estudo transversal	cabelo	Consumo de peixe	crianças zona rural 2,92 $\mu\text{g/g}$ crianças zona urbanas 1,68 $\mu\text{g/g}$ mulheres 8,2 $\mu\text{g/g}$	A taxa média de consumo de peixe e o MeHg no sangue são mais elevados na população mais remota. (zonas rurais). A concentração de Hg no cabelo da mãe é um bom indicador da concentração de Hg no cabelo das crianças
Khoury et al. (2013)	Manifestações neurológicas em ribeirinhos de áreas expostas ao mercúrio na Amazônia brasileira	N= 157 (homens e mulheres 13 a 53 anos) três regiões: Barreiras e São Luiz do Tapajós (áreas contaminadas) e Furo do Maracujá (área sem indício de contaminação)	estudo transversal	cabelo	Consumo de peixe	Barreiras 8,66 \pm 9,24 $\mu\text{g/g}$ São Luiz do Tapajós 9,19 \pm 6,4 $\mu\text{g/g}$ Furo do Maracujá 0,73 \pm 0,59 $\mu\text{g/g}$	Nas áreas expostas ao mercúrio encontram-se casos de alterações neurológicas. Sugerem-se ações de políticas públicas de educação alimentar e monitorização dos níveis de Hg
Vega et al. (2013)	Human Mercury Exposure in Yanomami Indigenous Villages from the Brazilian Amazon	N= 79 crianças (até 5 anos) N = 50 crianças (6 a 11anos) e N=103 adultos Aldeias A, B e C.	estudo transversal	cabelo	Consumo de peixe	aldeia A - 3,2 $\mu\text{g/g}$ aldeia B- 4,5 $\mu\text{g/g}$ aldeia C- 15,5 $\mu\text{g/g}$	A prevalência do Hg no cabelo da população indígena está acima dos valores de referência. O risco da exposição ao Hg através da extração de ouro compromete o modo de vida e o desenvolvimento sustentável desta população
Cardoso et al. (2014)	Zumbido em uma população ribeirinha exposta ao metilmercúrio	N = 41 (18 a 68 anos)	estudo transversal	cabelo	Consumo de peixe	Com zumbido - 13,5 \pm 8,5 $\mu\text{g/g}$ Sem zumbido 12,1 \pm 6,3 $\mu\text{g/g}$	Um quarto dos ribeirinhos apresentou queixa de zumbido e exposição significativa ao mercúrio, mas não foi determinada uma associação entre o zumbido e os níveis elevados de mercúrio.
Nunes et al. (2014)	Exposure Assessment of Pregnant Portuguese Women to	N = 343 gestantes (15 e 43 anos)	estudo transversal	cabelo	Consumo de peixe	1,26 $\mu\text{g/g}$	28% dos participantes excederam o valor de ingestão semanal. Realça-se a importância da monitorização dos níveis de Hg nas grávidas e o

	Methylmercury Through the Ingestion of Fish: Cross-Sectional Survey and Biomarker Validation						aconselhamento dietético para públicos-alvo.
Hond et al. (2014)	First Steps toward Harmonized Human Biomonitoring in Europe: Demonstration Project to Perform Human Biomonitoring on a European Scale	N = 1844 pares de mães-crianças	estudo transversal	cabelo	Consumo de peixe	Portugal Mães -1,200 µg/g Crianças- 1,033 µg/g	Concentrações de Hg nos pares de mães-crianças está correlacionados. As crianças portuguesas apresentam concentrações de mercúrio sete vezes mais elevadas que a média europeia. Demonstração de viabilidade de biomonitorização a escala europeia. Efeitos decisores em ações política pública.
Milhomem et al. (2016)	A ingestão de pescado e as concentrações de mercúrio em famílias de pescadores de Imperatriz (MA)	N = 54 famílias Menor e maior concentração.	estudo transversal	cabelo	Consumo de peixe	Homens: 1,01± 1,97 µg/g Mulheres 0,69± 0,82 µg/g	Nível de exposição depende da área geográfica. A concentração é avaliada de acordo com o número de refeições semanais. Estudo peixes água doce dentro limite estabelecidos Anvisa.
Dutra et al. (2016)	Effects of prenatal exposure to methylmercury in children auditory processing	N = 90 crianças (8 a 10 anos) grupo estudo (GE) grupo controle (GC)	estudo transversal	Sangue do cordão umbilical	X	GE- 19,36 µg/L GC- 4,78 µg/L	Processamento auditivo central, o GE apresentou desempenho inferior ao GC. As crianças apresentaram alteração em testes que avaliam o processamento auditivo central, indicando um possível efeito da exposição pré-natal ao mercúrio no sistema auditivo central.
Alves et al. (2017)	Mercury levels in parturient and newborns from Aveiro region, Portugal	N = 50 pares mães-filhos recém-nascidos	estudo transversal	cordão placenta cabelo	Consumo de peixe	Cordão: 0,03 ng/g Cabelo: 0,9 µg/g	Elevado nível de Hg no cabelo materno, que o recomendado pela OMS. Viabilidade do uso da placenta para avaliação de risco
Arrifano et. al (2017)	Large-scale projects in the amazon and human exposure to	N = 37 (18 e 70 anos) ambos os sexos	estudo transversal	cabelo	Consumo de peixe	12,0 µg/g	Níveis muito elevados de mercúrio total e MeHg, acima do recomendado pela OMS na

	mercury: The case-study of the Tucuruí Dam						população próxima a barragem de Tucuruí.
Freitas et. al (2018)	Mercury exposure of children living in Amazonian villages: influence of geographical location where they lived during prenatal and postnatal development	219 crianças 7 a 14 anos	estudo transversal	cabelo	Consumo de peixe	Limoeiro do Ajuru: 0,4-0,5 $\mu\text{g/g}$ Caratateua: 1,28-1,30 $\mu\text{g/g}$ Barreiras: 2,02-2,54 $\mu\text{g/g}$ São Luiz do Tapajós 2,51-5,79 $\mu\text{g/g}$	Influência da localização geográfica do nascimento no nível de mercúrio no cabelo de crianças ribeirinhas da Amazônia.
Vasconcelos et al. (2018)	Burden of Mild Mental Retardation attributed to prenatal methylmercury exposure in Amazon: local and regional estimates	Mulheres em idade fértil (15 aos 49 anos) das comunidades na Bacia do Rio Madeira	estudo transversal	cabelo	Consumo de peixe	6,49 $\mu\text{g/g}$	Estimar a carga de retardo mental leve. Peso da doença atribuível a diferentes fontes de poluição. Aumento sensibilização para o risco associados à poluição ambiental base de ações políticas.
Junior Costa et al. (2018)	Teores de mercúrio em cabelo e consumo de pescado de comunidades ribeirinhas na Amazônia brasileira, região do Tapajós	N =123 18 e 60 anos	estudo transversal	cabelo	Consumo de peixe	5,70 \pm 7,83 $\mu\text{g/g}$	O cabelo é um biomarcador para avaliar a exposição humana. Orientação hábitos alimentares, ingestão de alto consumo de peixes foi superior de acordo com os índices de tolerância de acordo OMS.

Branco et al. (2019)	Risk assessment of methylmercury in pregnant women and newborns in the island of Madeira (Portugal) using exposure biomarkers and food frequency questionnaire	N= 533 mulheres grávidas 14-44anos (sangue) N =194 recém-nascidos (cordão umbilical)	estudo transversal	sangue cordão umbilical	Consumo de peixe	Sangue: $9 \pm 6,6 \mu\text{g/L}$ Sangue do cordão umbilical: $13.1 \pm 8.9 \mu\text{g/L}$	População da ilha da Madeira está exposta a mercúrio. O consumo de peixe deve ser orientado para espécies de menor dimensão em períodos vulneráveis, como a gravidez.
Santiago et al. (2020)	Avaliação da exposição das mulheres portuguesas em idade fértil a mercúrio: a perspectiva da biomonitorização humana	N = 300 mulheres idade fértil (25-44 anos)	estudo transversal	sangue total	consumo de peixe	$5,9 \pm 4,2 \mu\text{g/L}$	Mulheres grávidas - menor concentração de Hg do que as não grávidas, mas 27% apresentaram Hg superior a $5,0 \mu\text{g/L}$. Concentrações elevadas na região da Madeira
Basta et al. (2021)	Mercury Exposure in Mundurucu Indigenous Communities from Brazilian Amazon: Methodological Background and an Overview of the Principal Results	N = 197 mulheres em idade fértil	estudo transversal	cabelo	consumo de peixe	$6,0 \mu\text{g/g}$	Principais resultados de uma análise integrada e multidisciplinar dos parâmetros de saúde. avaliação dos níveis de exposição ao mercúrio (Hg) em populações indígenas na Amazônia brasileira
Oliveira et al. (2021)	Fish consumption habits of pregnant women in Itaituba, Tapajós River basin, Brazil: risks of mercury contamination as assessed by measuring total mercury in highly	N = 110 mulheres grávidas (18-40)	estudo transversal	cabelo	consumo de peixe	$1.6 \pm 1.5 \mu\text{g/g}$	Algumas espécies de peixes apresentam nível alto de Hg colocam em risco a saúde de mães e crianças

	consumed piscivore fish species and in hair of pregnant women						
Mendes et al. (2021)	Mercury in blood, hair, and feces from subsistence fish-eating riverines of the Madeira River Basin (Western Amazon)	N =137 mulheres em idade fértil e crianças (0-15 anos). Duas cidades: Lago Puruzinho (LP) e São Sebastião do Tupurú (SST)	estudo transversal	cabelo sangue fezes	consumo de peixe	Crianças LP Cabelo: 6,58 ± 3,50 µg/g Fezes: 0,49 ± 0,52 µg/g Crianças SST Cabelo: 6,47 ± 4,16 µg/g Mulheres LP Sangue: 45,54± 24,76 µg/L Cabelo: 11,34 ± 5,03 µg/g Fezes: 0,52 ±0,14 µg/g Mulheres SST Sangue: 25,32 ± 16,75 µg/L Cabelo: 7,97 ± 3,51 µg/g	A média de consumo de peixe e o MeHg no sangue são mais elevados nos habitantes das aldeias mais remotas. A concentração de Hg no cabelo da mãe é um preditor de Hg no cabelo das crianças.
Vianna et al. (2022)	Exposição ao mercúrio e anemia em crianças e adolescentes de seis comunidades da Amazônia Brasileira	N=1.318 (0 a 19 anos) A 670 B 648	estudo transversal	cabelo	Consumo de peixe	A = 12,8 µg/g B = 4,3 µg/g	Influência da exposição ao Hg nos casos de anemia diagnosticados pelo hemograma em crianças e adolescentes. Metade do público vulnerável apresenta nível alto do biomarcador.

Foram desenvolvidos através da avaliação de pares mãe-filho nos quais as fontes de exposição foram o consumo de peixe. Os estudos Dutra et al (2016), Freitas et al (2018) e Vianna et al (2022) foram desenvolvidos em crianças e adolescentes. Os estudos Marques et al. (2013), Khoury et al. (2013), Vega et al. (2013), Cardoso et al. (2014), Nunes et al. (2014), Hond et al. (2014), Milhomem et al. (2016), Alves et al. (2017), Vasconcelos et al. (2018), Branco et al. (2019) e Mendes et al. (2021) foram desenvolvidos na população entre adultos, crianças e adolescentes. Vega et al. (2013), Khoury et al. (2013), Milhomem et al. (2016), Freitas et al (2018), Vasconcelos et al. (2018) e Basta et al. (2021) realizaram estudos relacionados ao risco de exposição ao mercúrio por contaminação através da extração do ouro. A incidência de retardo mental leve em crianças foi avaliado por Vasconcelos et al. (2018). Os estudos que não relacionaram os desfechos específicos para saúde materno-infantil pois, a população não foi representativa, tinham indivíduos de ambos os sexos, grávidas, crianças e adolescentes [Khoury et al (2018); Cardoso et al (2014); Arrifano et al (2017); Freitas et al (2018) e Junior Costa et al (2018)]. Vianna et al (2022) relacionou a exposição ao mercúrio com a ocorrência de anemia na população estudada (crianças e adolescentes de 0 a 19 anos de idade) Os hábitos alimentares dos participantes, verificando-se elevados teores de mercúrio em populações que apresentam elevado consumo de peixes, sendo Portugal um exemplo destes países. [Branco et al (2019); Santiago et al (2020) e Arrifano et al (2017)]. No Brasil, a principal fonte de exposição ao Hg relatada foi o consumo de peixes de água salgada assim como os de água doce da região do Amazonas^{47,48}.

De forma geral, os níveis de mercúrio foram quantificados em diferentes unidades de medida ($\mu\text{g/L}$ e $\mu\text{g/g}$) sendo interpretados que os níveis mais baixos de mercúrio, ou ainda aqueles abaixo de referências de exposição, em amostras de sangue, cabelo e cordão umbilical, não estiveram relacionados a desfechos adversos significativos. Ao passo que níveis mais elevados que apresentaram referências de exposição acima de recomendações da Comissão Alemã de biomonitorização com referência de exposição de sangue $5 \mu\text{g/L}$, Organização Mundial da Saúde apresenta referência para cabelo $2 \mu\text{g/g}$, sangue $5-10 \mu\text{g/L}$ associaram-se a efeitos adversos na saúde materno-infantil²⁰.

Para cada estudo encontrado, foi efetuada a caracterização do risco associado à média ou mediana da exposição reportada, determinando o quociente de perigo (QP). Para tal, consideraram-se como referenciais de exposição $5 \mu\text{g/L}$ de Hg total no sangue (Comissão Alemã de Biomonitorização-HBM), quando as amostras eram de sangue e $2 \mu\text{g/g}$ de Hg total no cabelo (Organização Mundial da Saúde - OMS) quando as amostras eram de cabelo. Na tabela 6 apresentam-se os resultados para a caracterização do risco.

Tabela 6 - Caracterização de risco dos estudos selecionados, com concentrações de mercúrio reportadas em amostras de sangue total, cabelo ($\mu\text{g/g}$) e cordão umbilical ($\mu\text{g/l}$), através do cálculo do quociente de perigo (QP).

Referência	Ano	País	Amostra	População	[Hg] média	Referencial de exposição	QP
Marques et al	2013	Brasil	cabelo	N=649 crianças zonas rurais, crianças zonas urbanas, mães	2,92 $\mu\text{g/g}$ 1,68 $\mu\text{g/g}$ 8,2 $\mu\text{g/g}$	2 $\mu\text{g/g}$	1,46 0,84 4,10
Nunes et al	2014	Portugal	cabelo	N =343 gestantes	1,26 $\mu\text{g/g}$	2 $\mu\text{g/g}$	0,63
Hond et al	2014	Portugal	cabelo	N= 1844 mães filhos	1,200 $\mu\text{g/g}$ 1,033 $\mu\text{g/g}$	2 $\mu\text{g/g}$	0,60 0,51
Dutra et al	2016	Brasil	sangue cordão placentário	N= 90	19,36 $\mu\text{g/L}$ / 4,78 $\mu\text{g/L}$	5 $\mu\text{g/L}$ 10 $\mu\text{g/L}$	3,87 / 0,95
Alves et al	2017	Portugal	cabelo	N= 50 parturientes	0,9 $\mu\text{g/g}$	2 $\mu\text{g/g}$	0,45
Vasconcelos et al	2018	Brasil	cabelo	Mulheres idade fértil	6,49 $\mu\text{g/g}$	2 $\mu\text{g/g}$	3,24

Branco et al	2019	Portugal	sangue cordão placentário	N= 533 mulheres grávidas	9 $\mu\text{g/L}$	5 $\mu\text{g/L}$	1,80
				N =194 cordão umbilical	13,1 $\mu\text{g/L}$		2,62
Santiago et al	2020	Portugal	sangue total	N = 300	5,9 / 4,2 $\mu\text{g/L}$	5 $\mu\text{g/L}$	1,18 / 0,48
Basta et al	2021	Brasil	cabelo	N = 197	6,0 $\mu\text{g/g}$	2 $\mu\text{g/g}$	3
Oliveira et al	2021	Brasil	cabelo	N = 110	1,6 $\mu\text{g/g}$	2 $\mu\text{g/g}$	0,80
Mendes et al	2021	Brasil	cabelo	N =137 Crianças LP Cabelo	6,58 $\mu\text{g/g}$	2 $\mu\text{g/g}$	3,29
				Crianças SST Cabelo	6,47 $\mu\text{g/g}$	5 $\mu\text{g/L}$	3,23
			sangue	Mulheres LP Sangue Cabelo	45,54 $\mu\text{g/L}$ 11,34 $\mu\text{g/g}$		5,67
				Mulheres SST Sangue Cabelo	25,32 $\mu\text{g/L}$ 7,97 $\mu\text{g/g}$		3,9

A interpretação de HQ é que valores próximos ou superiores a 1 (um) indicam que os níveis de exposição estão próximos ou excedem o valor Marques et al. (2013), Dutra et al (2016), Vasconcelos et al (2018), Branco et al (2019), Santiago et al. (2020), Basta et al (2021), Mendes et al (2021) de orientação de exposição selecionado . Nesse contexto, nos estudos de Marques et al. (QP=1,46 e 4,10), Dutra et al (QP=3,87), Vasconcelos et al. (QP= 3,245), Santiago et al (QP =1,18), Basta et al (QP=3) e Mendes et al. (QP=3,29; 3,23; 9,10; 5,67; 5,05; 3,9) foram considerados que os níveis exposição a mercúrio ultrapassam as recomendações da Comissão Alemã de Biomonitorização e da Organização Mundial da Saúde, portanto, são níveis de risco potencial para a saúde. Os estudos que não apresentaram desfecho adversos para a saúde associado foram Nunes et al., Alves et al., Hond et al e Oliveira et al. com resultados para o QP inferior a um.

Os estudos que incluíram níveis sanguíneos da concentração de Hg, também foram comparados diretamente com as recomendações da OMS. A OMS predefine, como valor de referência para biomonitorização, que a concentração normal média de mercúrio total no sangue, em indivíduos sem consumo de peixes contaminados, é de 5 a 10 µg/L. Sendo assim, níveis como o do estudo Oliveira et al. (2021), podem ser considerados dentro da média aceitável, ainda que seja essa uma margem alta. Entretanto, o estudo Dutra et al.(2016), Vasconcelos et al. (2018), Basta et al. (2021) e Mendes et al.(2021) aponta um nível de concentração de mercúrio tão superior ao limite máximo da OMS. Esse é considerado um nível com desfechos adversos a saúde, tal como corroborado pelas próprias análises do estudo, que apontaram comprometimento na porção central do sistema auditivo de crianças expostas durante o pré-natal.

De acordo com os estudos que reportaram as recomendações de acordo com a OMS foram Nunes et al, Hond et al, Alves et al, Santiago et al e Oliveira et al. considerando-se os estudos acima deste valor um risco a saúde. Pode estar associado a um nível mais elevado de consumo de frutos do mar, acima do recomendado pela OMS.

Nos estudos de Marques at al.(2013) e Mendes et al.(2021) é importante realçar que os autores registraram concentrações significativamente diferentes entre as regiões analisadas, que atribuíram à alimentação, no entanto, as concentrações elevadas de uma forma geral foram atribuídas ao consumo de peixes e atividades de garimpo coexistindo nessas regiões. Os estudos concluíram também sobre as concentrações de mercúrio determinado em amostras biológicas da mãe serem bom indicador da concentração de mercúrio de cabelo das crianças como os demonstrados em Marques et al.(2013), Alves et al.(2017) e (Mendes et al.(2021).

Os estudos Mendes et al.(2021), Vasconcelos et al.(2018) e Basta et al.(2021) apresentam a concentração capilar de Hg superior à OMS e no fato de que na região amazônica com influência de atividades de garimpo e em associação ao consumo de peixes, tende a registrar níveis de mercúrio mais elevados que os limites recomendados, que oferecem risco para a saúde. Sendo que, no estudo Vasconcelos et al, os autores associaram os níveis de um “cenário intermediário” e do “pior cenário” a alta incidência de retardo mental leve entre ribeirinhas de 15 a 49 anos. Nesse contexto, assim como ressaltado por Santiago et al. e Branco et al, que encontrou resultados similares em mulheres portuguesas em idade fértil, é extremamente recomendável que para redução da exposição a mercúrio nesses grupos de risco (mulheres em idade fértil, grávidas, bebês e crianças), sejam adotadas recomendações locais sobre o consumo de pescado, informando quais espécies devem ser evitadas e quais preteridas, além de fomento à educação e fiscalização local.

No entanto, no presente estudo, é importante destacar que o estudo Dutra et al. reportou um nível alarmante de concentração de mercúrio em cordão umbilical de bebês ribeirinhos nascidos na Amazônia brasileira, superando quase duas vezes a margem maior de recomendação da OMS. Os autores associaram essa exposição de alto risco para saúde, cuja fonte da exposição foi associada a ingestão durante a gravidez de pescado contaminado, principalmente por atividades de garimpo. Esse risco a saúde foi comprovado pelo desfecho de comprometimento auditivo dessas crianças na faixa de 8 a 10 anos de idade no período pré-natal.

Recentemente em Portugal foi realizado um novo estudo para avaliar a exposição a mercúrio numa população de grávidas, o HBM4EU-MOM¹⁰. Este estudo completou a colheita de amostras de cabelos, em grávidas com idade gestacional inferior a 20 semanas, em países europeus com elevado consumo de peixe reportado: Chipre, Grécia, Espanha, Portugal e Islândia. Os resultados de exposição não são ainda conhecidos, mas serão um contributo para uma caracterização da exposição a mercúrio numa população vulnerável.

7. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo identificar as fontes e níveis de exposição ao mercúrio; e caracterizar o risco associado, em Portugal e no Brasil, no período compreendido entre os anos de 2013 e 2023.

Em ambos os países, Portugal e Brasil, verificou-se que o consumo de peixe está associado a concentrações mais elevadas de mercúrio nas amostras biológicas dos indivíduos participantes, mostrando assim uma exposição mais elevada. No Brasil, o consumo de peixes com elevados níveis de Hg, ocorre em áreas com forte influência de garimpo, com os níveis sanguíneos e/ou capilares mais elevados em indivíduos expostos. A caracterização do risco associado a esta exposição a mercúrio mostrou também que existe um potencial risco para a saúde humana, com várias populações apresentando um quociente de perigo superior a um. Além disso, pode associar-se a desfechos adversos até graves para a saúde materno-infantil, especialmente se fora das recomendações toleráveis estabelecidas.

Os aspectos epidemiológicos são importantes para fortalecer as medidas de avaliação, prevenção e educação para a saúde em áreas com impacto da poluição ambiental. Assim, numa perspectiva de Saúde pública, para diminuir a exposição ao mercúrio entre os grupos mais vulneráveis, como mulheres em idade fértil, gestantes, bebês e crianças, é importante estabelecer diretrizes locais específicas e adaptados sobre o consumo de peixe. Essas diretrizes devem indicar quais espécies devem ser evitadas ou consumidas com moderação. Além disso, o presente estudo demonstrou que é essencial promover a educação do público em geral e garantir a fiscalização local para assegurar a segurança dos alimentos e a proteção da saúde dos consumidores⁴⁹.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kulikova T, Hiller E, Jurkovič Ľ, Filová L, Šottník P, Lacina P. Total mercury, chromium, nickel and other trace chemical element contents in soils at an old cinnabar mine site (Merník, Slovakia): anthropogenic versus natural sources of soil contamination. *Environ Monit Assess.* 2019;191(5):191–263.
2. Marnane I. Mercúrio: uma ameaça persistente para o ambiente e a saúde das pessoas [Internet]. Copenhaga: Agência Europeia do Ambiente; 2018 [cited 2024 Mar 18]. Available from: <https://www.eea.europa.eu/pt/articles/mercúrio-uma-ameaca-persistente-para>
3. WHO. Exposure to mercury: a major public health concern: preventing disease through healthy environments. 2nd edition. Geneva: World Health Organization; 2021.
4. Crespo-Lopez ME, Augusto-Oliveira M, Lopes-Araújo A, Santos-Sacramento L, Takeda YP, Macchi BM, et al. Mercury: what can we learn from the Amazon? *Environ Int.* 2021; 146:106223.
5. Sousa LA, Zaitune MPA. Uma revisão de escopo de revisões sistemáticas sobre exposição humana ao mercúrio. *Rev Bras Med Trab.* 2022; 47:1–22.
6. Gama CS, Jaster GG, Dias BE, Pinheiro E. Amapá. Percepção de risco à contaminação por mercúrio em peixes em MacapáAmapá. *Rev Arquivos Científicos (IMMES).* 2020; 3(1): 142-6.
7. Gworek B, Bemowska-Kałabun O, Kijeńska M, Wrzosek-Jakubowska J. Mercury in marine and oceanic waters: a review. *Water Air Soil Pollut.* 2016;227(10):e371.
8. Micaroni RCCM, Bueno MIMS, Jardim WF. Compostos de mercúrio. revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte. *Química Nova;* 2000; 23(4):487-95.
9. Evers DC, Keane SE, Basu N, Buck D. Evaluating the effectiveness of the Minamata Convention on Mercury: principles and recommendations for next steps. *Sci Total Environ;* 2016; 569–570: 888–903
10. Katsonouri A, Gabriel C, Esteban López M, Namorado S, Halldorsson TI, Snoj Tratnik J, et al. HBM4EU-MOM: prenatal methylmercury-exposure control in

- five countries through suitable dietary advice for pregnancy: study design and characteristics of participants. *Int J Hyg Environ Health*. 2023; 252: 114213.
11. Portugal. Ministério da Agricultura e Alimentação. Direção-Geral de Alimentação e Veterinária. Contaminantes: estabelecimento de novos teores máximos para o mercúrio [Internet]. Lisboa: Direção-Geral de Alimentação e Veterinária; 2022 [cited 2024 Mar 18]. Available from: <https://www.dgav.pt/destaques/noticias/contaminantes-estabelecimento-de-novos-teores-maximos-para-o-mercurio/>
 12. UBA. Reference and HBM values [Internet]. Dessau-Roßlau: Human Biomonitoring Commission. Umweltbundesam; 2020 [cited 2024 Jun 7]; Available from: <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/health/commissions-working-groups/human-biomonitoring-commission/reference-hbm-values>
 13. Monteiro BR. Indicadores de monitorização e desempenho nas unidades de saúde familiar e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável na saúde (ODS 3): uma análise comparada em Portugal no período de 2013-2018. *Cien Saúde Colet*. 2020;25(4):1221–32.
 14. Agência Portuguesa do Ambiente. Metais pesados [Internet]. Lisboa: Agência Portuguesa do Ambiente; 2021 [cited 2023 Dec 18]. Available from: <https://apambiente.pt/ar-e-ruído/metais-pesados>
 15. Brasil. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos. Mercúrio metálico [Internet]. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos; 2019; 2022 [cited 2024 Mar 19]. Available from: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/residuos/mercurio-metalico>.
 16. Francisco ARC. Química e toxicidade do mercúrio. Lisboa: Faculdade de Farmácia. Universidade de Lisboa; 2021. (Dissertação de Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas).
 17. Park JD, Zheng W. Human exposure and health effects of inorganic and elemental mercury. *Journal Prev Med Public Health*. 2012;45(6):344–52.
 18. ONU Programa para o meio ambiente. Porque o mercúrio ainda é uma ameaça à saúde humana e planetária [Internet]. Nairobi: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP); 2024 [cited 2024 May 26]. Available from: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/por-que-o-mercurio-ainda-e-uma-ameaca-saude-humana-e-planetaria>

19. Rocha CAM, Monteiro JAN, Cunha LA, Reis HS, Sá PRC. Animais aquáticos como bioindicadores de mercúrio na Amazônia. Editora Científica Digital; 2023. (Amazônia: tópicos atuais em ambiente, saúde e educação; 2).
20. Vasco E, Dias MG, Oliveira L. Avaliação da exposição a contaminantes com base num estudo de dieta total em Portugal. *Observações: Boletim Epidemiológico*. 2020; 6: 38-52.
21. Santiago S, Namorado S, Dias CM, Martins C, Santos M, Castanheira I, et al. Avaliação da exposição das mulheres portuguesas em idade fértil a mercúrio: a perspectiva da biomonitorização humana. *Observações: Boletim Epidemiológico*. 2020; 28:5-9.
22. Carla M, Rodrigues J, Teixeira N, Gariso S, Baltazar A. influência do metilmercúrio no crescimento e desenvolvimento fetal. *Acta Port Nutrição*. 2021;26: 70-3.
23. Fu Z, Xi S. The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicol Mech Methods*. 2020;30(3):167-176.
24. Ruggieri F, Majorani C, Domanico F, Alimonti A. Mercury in children: current state on exposure through human biomonitoring studies. *Int J Environ Res Public Health*. 2017; 14(5): 519.
25. Costa Junior JMF, Lima AAS, Rodrigues Junior D, Khoury EDT, Souza GS, Silveira LCL, et al. Manifestações emocionais e motoras de ribeirinhos expostos ao mercúrio na Amazônia. *Rev Bras Epidemiologia*. 2017; 20(2):212–24.
26. Björnberg KA, Vahter M, Petersson-Grawé K, Glynn A, Cnattingius S, Darnerud PO, et al. Methyl mercury and inorganic mercury in Swedish pregnant women and in cord blood: influence of fish consumption. *Environ Health Perspect*. 2003;111(4):637–41.
27. Portugal. Autoridade de Segurança Alimentar e Económica. Contaminação do peixe com mercúrio [Internet]. Lisboa: ASAE; 2023. [cited 2024 Mar 29]. Available from: <https://www.asae.gov.pt/seguranca-alimentar/riscosquimicos/contaminacao-do-peixe-com-mercuro.aspx>.
28. Regulamento (UE) 2022/617. JO L 115/60 (12.04. 2022): 60–3. Altera o Regulamento (CE) nº 1881/2006 no que diz respeito aos teores máximos de mercúrio no peixe e no sal.

29. Portugal. Direção Geral da Alimentação e Veterinária (DGAV). Autoridade de Segurança Alimentar e Económica (ASAE). Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação da Universidade do Porto (FCNAUP). Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge (INSA), Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). Instituto de Saúde Pública da Universidade do Porto (ISPUP). Recomendações para o consumo de pescado para a população portuguesa [Internet]. Lisboa: DGAV; 2023 [cited 2024 Mar 20]. Available from: <https://www.dgav.pt/destaques/noticias/recomendacoes-para-o-consumo-de-pescado-para-a-populacao-portuguesa/>.
30. Portugal. Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge. Apresentação pública das recomendações para o consumo de pescado para a população portuguesa [Internet]. Lisboa: INSA; 2023 [cited 2024 May 26]. Available from: <https://www.insa.min-saude.pt/apresentacao-publica-das-recomendacoes-para-o-consumo-de-pescado-para-a-populacao-portuguesa/>
31. Brasil. Ministério da Agricultura e Pecuária. Consumo e tipos de peixes no Brasil [Internet]. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária; 2023 [cited 2024 Apr 25]. Available from: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/mpa/rede-do-pescado/consumo-e-tipos-de-peixes-no-brasil>
32. Food Safety Brazil. O perigo de consumir peixes com alto teor de mercúrio durante a gravidez. São Paulo: Food Safety Brazil ; 2021.
33. Decreto nº 40/2017. Diário da República. 1.a Série. 226 (2017.11.03): 6136-70. Convenção de Minamata sobre o mercúrio.
34. World Health Organization. Preventing disease through healthy environments: exposure to mercury: a major public health concern. 2nd ed. Geneva: Department of Environment, Climate Change and Health. WHO; 2021.
35. Regulamento (UE) 2023/915. JO L 119 (5.5.2023): 103. Relativo aos teores máximos de certos contaminantes presentes nos géneros alimentícios e que revoga o Regulamento (CE) nº 1881/2006.
36. Gonçalves A, Gonçalves NNS. Exposição humana ao mercúrio na Amazônia brasileira: uma perspectiva histórica. Rev Panam Salud Publica. 2004;15:415-9.
37. Decreto nº 9.470. Diário Oficial da União. (14/08/2018):65. Promulga a Convenção de Minamata sobre mercúrio, firmada pela República Federativa do Brasil, em Kumamoto, em 10 de outubro de 2013.

38. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos. Mercúrio metálico [Internet]. Brasília: IBAMA; 2022 [cited 2024 Mar 19]. Available from: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/residuos/mercurio-metalico>
39. Resolução RDC no 42. Diário Oficial da União. 168 (29-08-2013): 33-35. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos
40. Aquino AR, Piedade ALF, Buongiorno CRP, Santos DR, Rocha ED, Kiiiper FM, et al. Biomarcadores e o processo de avaliação de risco ambiental. In: Aquino AR, Paletta FC, Almeida JR, orgs. Risco ambiental. Vol. 1. São Paulo: Blucher, 2017. p. 73 -98.
41. Santonen T, Mahiout S, Alvito P, Apel P, Bessems J, Bil W, et al. How to use human biomonitoring in chemical risk assessment: methodological aspects, recommendations, and lessons learned from HBM4EU. *Int J Hyg Environ Health*. 2023; 249:114139.
42. Carvalho LVB, Costa-Amaral IC, Mattos RCOC, Larentis AL. Exposição ocupacional a substâncias químicas, fatores socioeconômicos e saúde do trabalhador: uma visão integrada. *Saúde Debate*. 2017;41(Spe2):313–26.
43. Branco V, Caito S, Farina M, Teixeira da Rocha J, Aschner M, Carvalho C. Biomarkers of mercury toxicity: past, present, and future trends. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 2017;20(3):119–54.
44. Basu N, Bastiansz A, Dórea JG, Fujimura M, Horvat M, Shroff E, et al. Our evolved understanding of the human health risks of mercury. *Ambio*. 2023; 52(5): 877–96.
45. WHO.UN. Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure. Geneva: Inter-Organisation Programme for the Sound Management of Chemicals (IOMC); 2008.
46. Portugal. Ministério da Saúde. ARS Algarve. Determinantes relacionados com estilos de vida. In: ARS Algarve. Perfil de saúde: região do Algarve. Cap. 4. Faro: Administração Regional de saúde do Algarve; 2013. p. 81–100.
47. Vasconcellos ACS, Sousa CC, Lima MO, Oliveira MW, Ferreira SRB, Basta PC. Avaliação de risco à saúde atribuível ao consumo de pescado contaminado por metilmercúrio na bacia do Rio Branco, Roraima, Amazônia,

Brasil. Rio de Janeiro: Fiocruz; 2022.

48. Costa Junior, José Maria Farah, Lima, Abner Ariel da Silva, Rodrigues Junior, Dario, et al. Manifestações emocionais e motoras de ribeirinhos expostos ao mercúrio na Amazônia. *Revista Brasileira de Epidemiologia*. 2017; 20:212–224.
49. European food safety. Metals as contaminants in food [Internet]. Itália; 2024 [cited 2024 Apl 19]. Available from: <http://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/metals-contaminants-food>