



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS
ÁGUAS**

**IMPACTOS AMBIENTAIS E EFEITOS À SAÚDE HUMANA, CAUSADOS PELA
CONTAMINAÇÃO DE MERCÚRIO NA REGIÃO AMAZÔNICA: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

**HENDELY GABRIELLE SANTANA GUIMARÃES
SILVANA GARCIA MOTA**

**SANTARÉM, PA
2023**

**HENDELY GABRIELLE SANTANA GUIMARÃES
SILVANA GARCIA MOTA**

**IMPACTOS AMBIENTAIS E EFEITOS À SAÚDE HUMANA, CAUSADOS PELA
CONTAMINAÇÃO DE MERCÚRIO NA REGIÃO AMAZÔNICA: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas da Universidade Federal do Oeste do Pará - Campus Tapajós para obtenção do grau de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas.

Orientadora: Prof^a Dra. Khayth Marronny Rabelo Nagata

**SANTARÉM, PA
2023**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

G963i Guimaraes, Hendely Gabrielle Santana
Impactos ambientais e efeitos à saúde humana, causados pela contaminação de mercúrio na região amazônica: uma revisão sistemática./ Hendely Gabrielle Santana Guimaraes, Silvana Garcia Mota. - Santarém, 2023.
22 p.

Orientadora: Khayth Marronny Rabelo Nagata..

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas.

1. Bioacumulação. 2. Mercúrio. 3. Saúde. I. Mota, Silvana Garcia. II. Nagata, Khayth Marronny Rabelo, *orient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 615.925663

**HENDELY GABRIELLE SANTANA GUIMARÃES
SILVANA GARCIA MOTA**


**IMPACTOS AMBIENTAIS E EFEITOS À SAÚDE HUMANA, CAUSADOS PELA
CONTAMINAÇÃO DE MERCÚRIO NA REGIÃO AMAZÔNICA: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas da Universidade Federal do Oeste do Pará - Campus Tapajós para obtenção do grau de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas.
Orientadora: Prof^a Dra. Khayth Marronny Rabelo Nagata


Conceito: Aprovado

Data de aprovação: 14 de dezembro de 2023


Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **KHAYTH MARRONNY RABELO NAGATA**
Data: 15/12/2023 16:52:00-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Presidente/orientador (a): Dra. Khayth M. R. Nagata

Documento assinado digitalmente
 **ELTON RANIERE DA SILVA MOURA**
Data: 15/12/2023 16:12:20-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Membro: Prof. Me. Elton Ranieri de Moura

Documento assinado digitalmente
 **LEIDIANE LEAO DE OLIVEIRA**
Data: 15/12/2023 09:22:47-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Membro: Profa. Dra. Leidiane Leão Oliveira

**SANTARÉM, PA
2023**




Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA Instituto de
Ciências e Tecnologia das Águas - ICTA
Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas-BICTA


ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos Quatorze dias do mês Dezembro do ano de 2023, às Dez horas e quinze minutos, realizou-se na sala 202 BMT da Universidade Federal Do Oeste Do Pará, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso das discentes Hendely Gabrielle Santana Guimaraes e Silvana Garcia Mota intitulado: **“Impactos ambientais e efeitos à saúde humana, causados pela contaminação de mercúrio na região amazônica: uma revisão sistemática”**, como requisito parcial à obtenção do título de **Bacharel em Ciências e Tecnologia das Águas**. Os trabalhos foram conduzidos pelo (a) professor (a) Dra. Khayth M. R. Nagata, orientadora das discentes e presidente da Banca Examinadora, constituída, também, pelos membros convidados o Prof. Me. Elton Raniere de Moura e a Profa. Dra. Leidiane Leao Oliveira. Após a apresentação do Trabalho de Conclusão e Curso, a Banca Examinadora passou à arguição do (a) discente. Encerrados os trabalhos de arguição, os examinadores reuniram-se para a avaliação e deram o parecer final sobre a apresentação e defesa oral do (a) discente, considerando-o (a) aprovado. Proclamados os resultados pelo (a) presidente da Banca, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu Khayth Marronny Rabelo Nagata, na qualidade de professor (a) orientador (a) do Trabalho de Conclusão de Curso avaliado, lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da Banca Examinadora.


Santarém/PA, 14 de Dezembro de 2023.

Documento assinado digitalmente
 KHAYTH MARRONNY RABELO NAGATA
Data: 15/12/2023 16:52:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Presidente/orientador (a): Dra. Khayth M. R. Nagata

Documento assinado digitalmente
 ELTON RANIERE DA SILVA MOURA
Data: 15/12/2023 16:12:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: Prof. Me. Elton Raniere de Moura

Documento assinado digitalmente
 LEIDIANE LEAO DE OLIVEIRA
Data: 15/12/2023 09:22:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: Profa. Dra. Leidiane Leão Oliveira

RESUMO

O mercúrio é considerado um dos metais tóxicos mais perigosos para o ambiente e para a saúde humana devido à sua alta toxicidade e sua mobilidade em diferentes ecossistemas. A partir disso, a pesquisa se propõe a identificar por meio de uma revisão sistemática da literatura os principais problemas ocasionados pelo despejo de mercúrio, enfatizando a saúde da população amazônica, e os prejuízos causados ao meio ambiente e animais. O objetivo do estudo consiste em apresentar uma revisão sistemática da literatura sobre as doenças e impactos ambientais causados pelo mercúrio. A pesquisa consiste em uma revisão sistemática da literatura sobre o tema. A pesquisa bibliográfica realizou-se a partir de notícias, artigos, monografias e teses e foi realizada nas bases de dados: SciELO, BVS (Biblioteca Virtual em Saúde), Google Acadêmico e Portal de periódico da Capes, publicados entre 2010 a 2023. Foram pesquisadas as seguintes palavras-chave: mercúrio, contaminação, saúde e Amazônia, conforme o pós a busca, os materiais foram selecionados conforme o objetivo do estudo. Para elaboração da revisão sistemática, 10 artigos foram selecionados. Entre os estudos, destacam-se resultados apontando as contaminações por mercúrio relacionada com a prática do desmatamento; contaminações por níveis de Hg acumulado em peixes e em populações na região Amazônica; relação da contaminação por mercúrio com os garimpos e o consumo de peixes contaminados como responsável pela contaminação por mercúrio em regiões amazônicas. Destaca-se também, que o metal mercúrio nos garimpos, ocasiona em efeitos drásticos às populações vulneráveis e ao meio ambiente circundante, podendo culminar em sérios prejuízos à saúde, meio ambiente.

Palavras-chave: Bioacumulação; Mercúrio; Saúde.

ABSTRACT

Mercury is considered one of the most toxic metals hazardous to the environment and human health due to its high toxicity and its mobility in different ecosystems. From this, the research proposes to identify through a systematic review of the literature the main problems caused by the dumping of mercury, emphasizing the health of the Amazon population, and the damage caused to the environment and animals. The objective of the study is to present a systematic review of the literature on diseases and environmental impacts caused by mercury. The research consists of a systematic review of the literature on the subject. The bibliographical research was carried out from news, articles, monographs and theses and was carried out in the databases: SciELO, BVS (Virtual Health Library), Google Scholar and Portal of Capes journal, published between 2010 and 2023. The following keywords were searched: mercury, contamination, health and Amazon, as the post search, the materials were selected according to the objective of the study. For the preparation of the systematic review, 10 articles were selected. Among the studies, we highlight results pointing to mercury contamination related to the practice of deforestation; contamination by levels of Hg accumulated in fish and populations in the Amazon region; contamination with the mines and the consumption of contaminated fish as responsible for mercury contamination in Amazonian regions. It is also noteworthy that the metal mercury in the mines, causes drastic effects to vulnerable populations and the surrounding environment, and can culminate in serious damage to health, environment.

Keywords: Bioaccumulation; Mercury; Health.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo geral	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3 METODOLOGIA	11
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é o maior ecossistema de floresta tropical do mundo por apoiar diversos serviços ambientais (RÖDIG et al., 2018). Todavia, a região amazônica, é considerada seriamente impactada pelo mercúrio devido à extração do ouro, que consiste em uma atividade comum na Amazônia. Diante disso, existem vários estudos apontando a contaminação por mercúrio (Hg) em ecossistemas amazônicos onde não existe garimpo.

Primeiramente, é importante caracterizar o mercúrio, segundo a National Research Council - NRC, (2000) o mercúrio é considerado um dos metais tóxicos mais perigosos para o ambiente e para a saúde humana devido à sua alta toxicidade e sua mobilidade em diferentes ecossistemas. Quanto ao mercúrio encontrado nas águas dos rios da bacia amazônica, isso ocorre por diversos fatores, incluindo a formação do solo, as atividades humanas e o despejo de efluentes industriais (SILVA, 2012), destacando que a contaminação por Hg neste ecossistema é uma grande preocupação (LIMA et al., 2015).

O mercúrio (Hg) é um elemento químico considerado não essencial a qualquer processo metabólico (TINÔCO et al., 2010). Segundo Nordberg et al. (2015) existem três formas químicas de mercúrio: (1) mercúrio elementar ou metálico (Hg_0); (2) mercúrio inorgânico (Hg^{2+} e Hg_2^{2+}); e (3) mercúrio orgânico, sendo o metilmercúrio (CH_3Hg^+) a forma mais comum de mercúrio orgânico encontrada na cadeia alimentar.

O mercúrio é considerado um dos metais pesados de maior toxicidade no meio, e é caracterizado por sua capacidade de bioacumulação nos organismos e biomagnificação por meio da cadeia alimentar, esse fator pode ser explicado pela localização geográfica, visto que o fluxo de Hg na Amazônia, tem sido afetado historicamente pelo processo de extração do ouro (CASTRO et al., 2016).

Como enfatiza Lyman et al. (2020), os conteúdos significativos de Hg, podem ser transportados para longas distâncias na atmosfera e entrar em vários meios ambientais, tais como solo, sedimentos e corpos aquáticos mediante deposições úmidas e secas. Outro ponto a ser destacado, é que no sistema aquático, o sedimento é considerado o melhor sumidouro de Hg, pois pode acumular abundância do mesmo, seja a partir de rochas/solos de captação e/ou de deposição atmosférica (HARIS et al., 2017).

A ASTDR (Agência de Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças) estabelece que o nível limiar para os sintomas de toxicidade no sangue seja de $50\mu\text{g/L}$, no entanto, existem relatos de que níveis baixos de Hg (menores que $50\mu\text{g/L}$) podem causar efeitos tóxicos adversos à saúde humana, entre os quais se destaca o estresse oxidativo e seu efeito sobre as enzimas antioxidantes (GROTTO et al., 2010).

Em condições normais de temperatura e pressão, o Hg em sua forma elementar é um metal líquido denso e prateado que oferece pouco risco à saúde. À temperatura ambiente, parte do Hg metálico evapora e forma um vapor de Hg que é um gás inodoro e incolor. Na forma de vapor, o Hg é rapidamente absorvido pelos pulmões e devido sua característica solúvel pode atravessar membranas celulares e assim atingir órgãos alvos. Uma vez na corrente sanguínea, o Hg sofre oxidação e se transforma em Hg inorgânico (Hg^+ e Hg^{+2}) que tem uma capacidade reduzida ao atravessar as membranas celulares (NORDBERG et al., 2015).

Diante disso, no que se refere a saúde humana, os riscos resultantes da exposição humana ao mercúrio estão relacionados com a presença de efeitos neurotóxicos e comprometimento dos sistemas nervoso central e do cardiovascular (ANJOS et al., 2016; VASCONCELLOS et al., 2021). Os efeitos tóxicos causados pelo mercúrio, surgem em função do tempo de exposição: aguda (14 dias ou menos), intermediária (15-364 dias) e crônica (365 dias ou mais), do estado químico do Hg (metálico, inorgânico ou orgânico) e da via de exposição (inalação ou oral) (NORDBERG et al., 2015).

Nesse cenário de contaminantes ambientais globais, o mercúrio notabiliza-se por sua distribuição ubíqua na natureza e por sua capacidade de mobilização nos mais diversos compartimentos ambientais. Ou seja, este elemento pode ser detectado em solos e sedimentos em diferentes regiões do planeta, nas geleiras, nos rios, nos oceanos e na atmosfera, por exemplo (LANDING; HOLMES, 2019; SEMENIUK; DASTOOR, 2017).

Segundo enfatiza Who (2008) as populações tropicais residentes próximas às áreas de garimpo apresentam a maior ingestão semanal de mercúrio entre todas as populações vulneráveis do mundo. Alguns estudos relatam que o Hg encontrado nos ecossistemas aquáticos é proveniente da queima de biomassa florestal e dos processos de erosão e lixiviação do solo que contém Hg associado aos óxidos e hidróxidos de ferro; fontes naturais de Hg que no meio aquático sofrem processos de metilação e acumulação na biota (VERA, 2007).

A pesquisa se propõe a identificar por meio de uma revisão sistemática da literatura os principais problemas ocasionados pelo despejo de mercúrio, enfatizando a saúde da população amazônica, e os prejuízos causados ao meio ambiente e animais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Apresentar uma revisão sistemática da literatura sobre as doenças e impactos ambientais causados pelo mercúrio.

2.2 Objetivos específicos

- Apresentar os riscos causados à saúde humana e animais;
- Demonstrar os riscos ao meio ambiente pela contaminação por mercúrio;
- Caracterizar os registros de contaminação por mercúrio na região amazônica.

3 METODOLOGIA

A pesquisa consiste em uma revisão sistemática da literatura sobre o tema. Segundo Boccato (2006) a pesquisa bibliográfica busca o levantamento e análise crítica dos documentos publicados sobre o tema a ser pesquisado com intuito de atualizar, desenvolver o conhecimento e contribuir com a realização da pesquisa. Quanto a revisão sistemática, Sampaio e Mancini (2007) descrevem como um tipo de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura sobre determinado tema. Esse tipo de investigação disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados da busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada.

A pesquisa bibliográfica realizou-se a partir de notícias, artigos, monografias e teses e foi realizada nas bases de dados: SciELO, BVS (Biblioteca Virtual em Saúde), Google Acadêmico e Portal de periódico da Capes, publicados entre 2010 a 2023. Foram pesquisadas as seguintes palavras-chave: mercúrio, contaminação, saúde e Amazônia, conforme o pós a busca, os materiais foram selecionados conforme o objetivo do estudo.

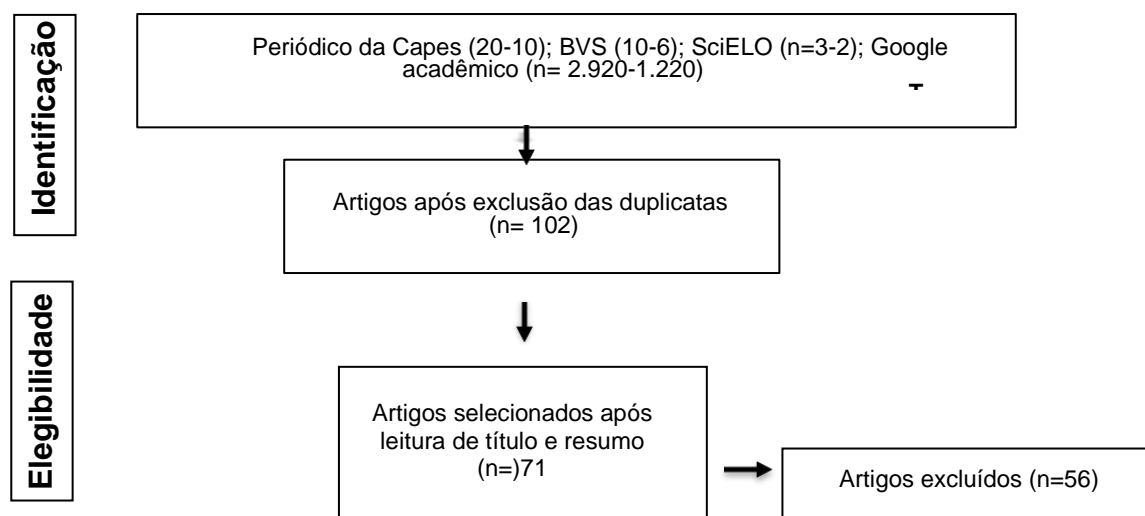
Quadro – Estratégia de busca geradas nas diferentes bases de dados investigados.

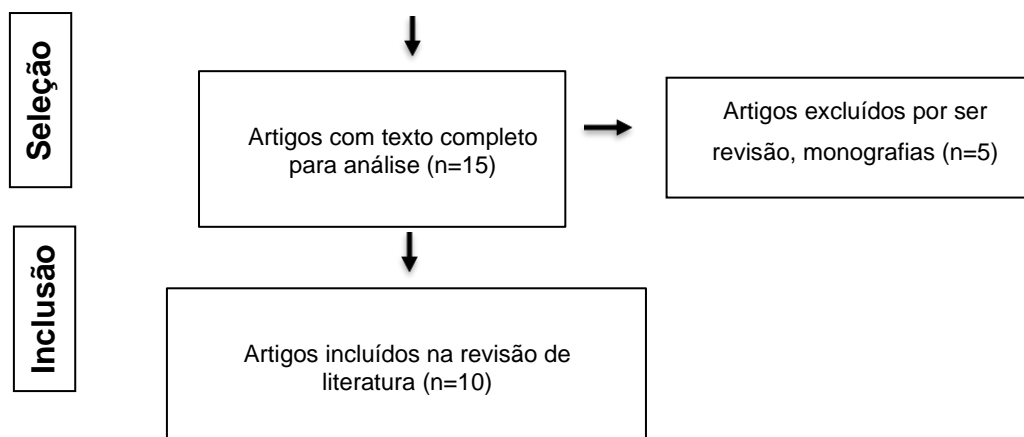
Base de dados	Estratégia de Busca (descritores; palavras-chave)
BVS	“(mercúrio) AND (contaminação) AND (amazônia) AND (saúde)”
SciELO	“(mercúrio) AND (contaminação) AND (amazônia) AND (saúde)”
Google acadêmico	“(mercúrio) AND (contaminação) AND (amazônia) AND (saúde)”
Periódico da Capes	“(mercury) AND (contamination) AND (amazon) AND (health)”

Fonte: Elaborado pelas autoras (2023)

A partir da revisão e seleção dos estudos, elaborou-se o Fluxograma, de acordo com os critérios de inclusão no Prisma, conforme Fluxograma 1:

Fluxograma 1. PRISMA- Seleção dos estudos.





Fonte: Elaborado pelas autoras (2023)

Como critério de exclusão, os artigos que não estão disponíveis na íntegra e gratuitamente foram excluídos da pesquisa, assim como artigos que não estão de acordo com o objetivo proposto pela pesquisa, totalizando, portanto, 10 artigos incluídos nos resultados e 61 excluídos dos artigos pré-selecionados.

Nos critérios de inclusão também foram inclusos artigos brasileiros, no entanto, publicados em língua inglesa no Portal de Periódico da Capes, a pesquisa foi realizada dessa forma, pois, ao pesquisá-los com as palavras-chave em português, não eram encontrados resultados na pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos critérios estabelecidos na pesquisa, foram selecionados os seguintes artigos apresentados no Quadro 2:

Quadro 2 – Síntese dos artigos encontrados

Autores/ Ano	Título	Objetivo	Conclusões
Nevado et al. (2010)	Mercúrio na bacia do rio Tapajós, Amazônia brasileira	Apresentar a contaminação por mercúrio e a exposição humana na bacia do rio Tapajós (Brasil), um dos principais afluentes da Amazônia	Vários estudos ambientais foram realizados na área e as concentrações de mercúrio na água, nos sedimentos e na biota foram encontradas muito acima das médias globais. As investigações sobre a exposição humana e os efeitos na saúde

			aumentaram nos últimos anos.
Grandjean et al. (2010)	Efeitos adversos do metilmercúrio: implicações na pesquisa em saúde ambiental	Examinar como o conhecimento e o consenso sobre a toxicidade do metilmercúrio se desenvolveram, a fim de identificar problemas de maior preocupação na pesquisa.	Os sintomas da toxicidade do metilmercúrio, como a visão em túnel, o esquecimento e a falta de coordenação, também pareceram afetar a investigação em saúde ambiental e a sua interpretação
Fillion et al. (2011)	Sequelas neurotóxicas da exposição ao mercúrio: um estudo de intervenção e acompanhamento na Amazônia brasileira	Examinar a exposição ao mercúrio (Hg) em comunidades comedoras de peixes na Amazônia brasileira	A diminuição da exposição ao Hg é atribuída à intervenção e às mudanças socioeconômicas na aldeia. Embora possa haver uma certa reversibilidade dos défices motores, as capacidades visuais podem diminuir progressivamente no que diz respeito à exposição antes da intervenção
Karagas et al. (2012)	Evidências sobre os efeitos da exposição ao metilmercúrio em baixos níveis para a saúde humana	Realizar uma síntese do conhecimento atual sobre os efeitos na saúde humana da exposição a baixos níveis de MeHg	Estudos direcionados à identificação de mecanismos potenciais de efeitos de baixo nível do MeHg e à caracterização da suscetibilidade individual, do dimorfismo sexual e da não linearidade na resposta à dose ajudariam a orientar futuros esforços de prevenção, políticas e regulatórios em torno da exposição ao MeHg

Mercado et al. (2015)	Hábitos alimentares de ribeirinhos da Amazônia e contribuições das enchentes no agravamento ao quadro de insegurança alimentar	Discutir a base da alimentação ribeirinha, e possíveis interferências geradas pelas enchentes nos estados de Rondônia, Acre e Amazonas no ano de 2014.	As enchentes agravam o quadro de insegurança alimentar e nutricional em populações ribeirinhas, devido à perda do cultivo alimentar e a contaminação da água
Meneses (2016)	Efeito de genes da família glutathione S-transferase em uma população do baixo Amazonas, ambientalmente exposta ao mercúrio	Caracterizar o perfil epidemiológico de indivíduos residentes no município de Santarém e investigar o efeito de polimorfismos nos genes sobre os níveis de concentração de Hg no sangue de indivíduos desta população	A população de Santarém está exposta ao Hg através do consumo frequente de peixe
Costa Júnior et al. (2018)	Teores de mercúrio em cabelo e consumo de pescado de comunidades ribeirinhas na Amazônia brasileira, região do Tapajós	Avaliar os níveis de exposição na região do Tapajós, identificando também a frequência de ingestão de pescado	A importância da continuação do monitoramento dos níveis de exposição em humanos, fundamentando-se nos índices de tolerância de 6µg/g preconizado pela Organização Mundial de Saúde, e na investigação quanto ao consumo de peixes para que as estratégias de controle e prevenção sejam melhoradas
Matos et al. (2018)	Avaliação da contaminação por mercúrio em <i>Brycon falcatus</i> (<i>Characiformes: Bryconidae</i>) e risco à saúde humana pelo	Analisar a presença e concentrações de mercúrio total (HgT) no músculo, fígado e brânquias do peixe <i>B. falcatus</i> . E calcular o risco para	O risco de efeitos deletérios à saúde humana pode existir naqueles que têm maior consumo de <i>B. falcatus</i> porque o consumidor estará

	consumo deste peixe do Rio Teles Pires, Sul da Amazônia	a saúde humana de contaminação por Hg pela ingestão deste pescado	exposto a cargas mais elevadas de mercúrio (incluindo os grupos sensíveis)
Ramos, Oliveira, Rodrigues (2020)	Mercúrio nos Garimpos da Terra Indígena Yanomami e Responsabilidades	Analisar o caráter interdisciplinar do uso do mercúrio nos garimpos da Terra Indígena Yanomami, em Roraima, bem como avaliar as respostas dos órgãos de Estado ao fenômeno	O uso do metal mercúrio nos garimpos gera efeitos drásticos às populações vulneráveis e ao meio ambiente circundante, podendo culminar em sérios prejuízos à saúde, meio ambiente e no fim do mundo Yanomami
Sahoo et al. (2023)	Mercúrio em sistema multimídia da Bacia de Itacaiúnas, Amazônia Brasileira: Uma abordagem integrada para entender sua distribuição, origem e risco ecológico	Compreender o atual estado de poluição e a variabilidade espacial do Hg nas diferentes matrizes ambientais da bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas (IRW), Brasil	A avaliação do risco à saúde não indicou nenhum efeito adverso não cancerígeno à saúde em adultos e crianças em termos de contaminação por Hg

Fonte: Elaborado pelas autoras (2023)

Para elaboração da revisão sistemática, 10 artigos foram selecionados. Entre os estudos, destacam-se resultados apontando as contaminações por mercúrio relacionada com a prática do desmatamento (MENESES, 2016); contaminações por níveis de Hg acumulado em peixes e em populações na região Amazônica (NEVADO et al. 2010). Ramos, Oliveira, Rodrigues (2020), Santos (2023) e Dolce (2022) descrevem a relação da contaminação por mercúrio com os garimpos. Costa Júnior et al. (2018), Matos et al. (2018), Sahoo et al. (2023), Costa Júnior et al. (2018) e Mercado et al. (2015) descrevem o consumo de peixes contaminados como responsável pela contaminação por mercúrio em regiões amazônicas.

O estudo de Nevado et al. (2010), apresenta resultados sobre os dados obtidos sobre os níveis de Hg acumulado em peixes e populações humanas na região Amazônica, que estão focados geralmente na atividade garimpeira como a principal responsável pela contaminação do meio ambiente por mercúrio.

Outro aspecto de contaminação por mercúrio, é estabelecido a partir da prática do desmatamento, que continua crescendo no estado do Pará, e é lógico supor que este processo de remobilização do Hg tende a se intensificar ainda mais nos próximos anos, de modo que a identificação precoce de fatores determinantes relacionados aos efeitos tóxicos da exposição mercurial para a saúde humana é de extrema importância (MENESES, 2016).

No cenário Amazônico, em estudo realizado na aldeia Yanomami, os autores Ramos, Oliveira, Rodrigues (2020), descrevem que o uso do metal mercúrio nos garimpos gera efeitos drásticos às populações vulneráveis e ao meio ambiente circundante, corroborando nesse ponto a sabedoria Yanomami e as literaturas ética e científica, podendo culminar em sérios prejuízos à saúde, meio ambiente e no fim do mundo Yanomami, impossibilitando o desfrute de vida às futuras gerações indígenas.

O maior prejuízo dos efeitos do mercúrio se dá nessas comunidades indígenas que margeiam as áreas de exploração mineral, mas os efeitos danosos não se limitam aos Yanomami e à Amazônia. O isolamento dos pontos de mineração artesanal ilegal facilita a atividade criminosa e altamente poluidora. Há um custo econômico, social e ambiental da produção de ouro para toda a sociedade extremamente maior que o custo particular enfrentado pelos garimpeiros e financiadores do garimpo. O custo Yanomami é ocultado pela diferença cultural, distâncias, isolamento e etnocentrismo de uma sociedade dominante e Estado que não garante minorias, levando-os ao fim diante da insustentável atividade mineradora em suas terras (RAMOS; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2020).

No que se refere ao consumo de pescado, segundo Costa Júnior et al. em um estudo realizado em 2018, é apontado que a maioria dos indivíduos avaliados apresentou um alto consumo, tanto em 2013 quanto em 2014. Os índices elevados de mercúrio total foram observados somente naqueles com alto consumo de pescado em ambos anos. Nesse aspecto, segundo os autores, deve ser considerado que os níveis elevados podem afetar a saúde humana, e que estas concentrações podem ser resultantes dos hábitos alimentares através do consumo de pescado, dos teores de mercúrio nos pescados consumidos e de outras fontes ainda não estudadas como contaminantes dos ecossistemas aquáticos. Ressalta-se, ainda, a importância da continuação do monitoramento dos níveis de exposição em humanos, fundamentando-se nos índices de tolerância de $6\mu\text{g/g}$, preconizado pela OMS.

Em outro estudo realizado baseando-se no consumo de peixes, Matos et al. (2018) enfatizam que a contaminação por mercúrio pode estar relacionada ao consumo de *B. falcatus* da bacia do rio Teles Pires pela população em geral, que consome cerca de 30 g de matrinxã por dia ou cerca de 250 g/semana, representando um risco para a saúde. Porém, para quem tem alto consumo de pescado, como indígenas e ribeirinhos, é adequado consumir mais peixes herbívoros (pacu, tambaqui, pirapitinga, jatuarana, piau e outros), pois provavelmente apresentam baixos níveis de Hg. É especialmente importante para o consumo de pescado por crianças, grávidas e lactantes porque estão nutrindo um sistema nervoso em formação e, portanto, as fases mais vulneráveis da vida.

No mesmo estudo, outros aspectos são importantes a serem destacados, como os impactos antrópicos conhecidos na região estudada, como curtumes e pecuária, porém a agricultura é atualmente a atividade humana mais praticada e, portanto, responsável pelo maior impacto. Foi demonstrado que os vários usos do solo podem refletir-se em concentrações mais elevadas de Hg nos peixes devido ao aumento direto de Hg proveniente destas atividades (por exemplo, utilização de fungicidas de mercúrio), ou através do aumento da lixiviação de Hg que ocorre naturalmente dentro do ambiente e solo (MATOS et al., 2018).

O risco de efeitos deletérios à saúde humana pode existir naqueles que têm maior consumo de *B. falcatus* porque o consumidor estará exposto a cargas mais elevadas de mercúrio (incluindo os grupos sensíveis) (MATOS et al., 2018). Dessa forma, todos os fatores potenciais de risco devem ser avaliados para reduzir os riscos à saúde relacionados à contaminação por Hg, além disso, independentemente da sua origem natural ou antrópica, o Hg tem tendência a dispersar-se por grandes áreas e a acumular-se localmente no ambiente. Esses aspectos e a possibilidade de bioacumulação de Hg no ciclo biológico indicam que ele tem potencial para afetar negativamente humanos e animais que saem da Amazônia e devem ser monitorados (SAHOO et al., 2023).

No entanto, o teor de Hg nos sedimentos dos rios e nos peixes estudados é baixo e a biodisponibilidade do Hg também é baixa, porque está principalmente limitado ao material particulado em suspensão. Apesar dos estudos mencionados, atualmente há muito pouca pesquisa enfatizando as características da poluição por Hg e suas fontes potenciais, seja por processo natural ou por ação antrópica, no IRW e nenhum estudo foi realizado sobre o Hg em multimídia de solo-sedimento-água

sistema em toda a bacia e, portanto, muitas questões precisam ser esclarecidas (SAHOO et al., 2023).

Observa-se a relação direta entre elevados índices de mercúrio no corpo e alto consumo de pescado. Logo, por possuir o pescado como principal fonte proteica, a comunidade ribeirinha encontra-se extremamente exposta à bioacumulação do mercúrio (COSTA JÚNIOR et al., 2018). Essa população tem como sustento os alimentos advindos dessas atividades, sendo assim, a sua alimentação consiste no pescado e na farinha de mandioca produzida nas próprias comunidades, tornando esses alimentos as principais fontes nutricionais dessa população (MERCADO et al., 2015).

Em outros estudos encontrados durante a pesquisa, é relatado, segundo a Santos (2023), que existe ainda outra forma de contaminação por mercúrio associada ao seu uso na mineração. As pessoas que trabalham diretamente no garimpo também são afetadas. Elas se contaminam a partir da inalação dos vapores de mercúrio metálico quando manipulam o produto durante o processo de extração de minérios.

Segundo um estudo de 2019 do Dr. Paulo Basta, da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca (Ensp/Fiocruz), e equipe, o mercúrio estava presente no organismo de 56% das mulheres e crianças Yanomami da região de Maturacá (AM). Os níveis estavam acima do limite tolerado pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Segundo o pesquisador Paulo Basta da Fiocruz, é importante alertar sobre a piora dessa situação, com projetos que estão ameaçando os povos mundurucus e também outros povos indígenas da Amazônia, assim como toda a população ribeirinha da região que tem como alimento principal o pescado; atividades como a de mineração que prejudicam áreas preservadas da Amazônia, incluindo Terras Indígenas, Áreas de Proteção Ambiental e Unidades de Conservação.

Nos animais, essa forma orgânica do mercúrio é absorvida pelo trato gastrointestinal, cai na corrente sanguínea e tende a se acumular em tecidos, processo conhecido como bioacumulação. A quantidade de toxina acumulada vai aumentando ao longo da cadeia alimentar. Organismos que estão mais próximos da base da cadeia alimentar, isto é, que se alimentam de plantas (produtores de energia) têm níveis de contaminante menor do que os grandes predadores. Esse processo recebe o nome de biomagnificação (SANTOS, 2023).

Nesse processo de bioacumulação, o contaminante (vermelho) vai sendo acumulado no corpo do ser vivo ao longo do tempo. Já na biomagnificação, a concentração de contaminante vai aumento ao longo da cadeia alimentar. As plantas, que são produtoras de energia, têm menor concentração de contaminante do que os organismos que as comem (gafanhotos). Os gafanhotos, por sua vez, são o alimento de pássaros menores. Estes pássaros menores têm mais contaminante do que os gafanhotos, porém menos do que seus predadores (pássaros maiores) (SANTOS, 2023).

Com isso, em estudos apresentando a contaminação de mercúrio na região amazônica. É citado um estudo realizado por Dolce (2022) no município de Santarém (Pa), descreve a contaminação por mercúrio entre a população conforme a área de residência. O estudo descreve que 57,1% dos participantes moradores da área urbana de Santarém apresentam taxas de mercúrio no sangue acima do considerado seguro pela OMS, e que a exposição ao mercúrio não se restringe às áreas dos garimpos. Pois, pode ocorrer em grande parte da bacia hidrográfica, bastante impactada pela atividade garimpeira.

Outra forma que o mercúrio pode ser encontrado, é o (metilmercúrio) MeHg, que consiste em uma das formas que o mercúrio é encontrado no ambiente, o risco que esse metal causa, está relacionado ao fato dele atravessar a placenta e a barreira hematoencefálica, podendo resultar em diferentes tipos de anormalidades fetais (neurológicas e motoras), inclusive em crianças cujas mães apresentavam mínimos sintomas. Além disso, baixos níveis de MeHg são suficientes para causar efeitos tóxicos adversos em adultos e crianças (KARAGAS et al., 2012).

Outros estudos apontam que os principais sintomas neurológicos relacionados à exposição crônica ao MeHg incluem: tremores, insônia, perda de memória, alterações neuromusculares, dores de cabeça, e déficits de desempenho em testes de função cognitiva (FILLION et al., 2011). Como dito anteriormente, o MeHg é a forma mais tóxica de Hg e pode causar danos neurológicos severos aos seres humanos (GRANDJEAN et al., 2010).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre os estudos, destacam-se resultados apontando as contaminações por mercúrio relacionada com a prática do desmatamento; contaminações por níveis de

Hg acumulado em peixes e em populações na região Amazônica; relação da contaminação por mercúrio com os garimpos e o consumo de peixes contaminados como responsável pela contaminação por mercúrio em regiões amazônicas.

A partir da elaboração da pesquisa, descreve-se que no município de Santarém, por exemplo, a população apresenta taxas de mercúrio no sangue acima do considerado seguro pela OMS, e que essa exposição ao mercúrio não se restringe às áreas dos garimpos, uma vez que pode ocorrer pelo fato da bacia hidrográfica ser bastante impactada pela atividade garimpeira na região.

Assim como ressalta a importância de estudos voltados para monitoramento dos níveis de exposição em humanos, de acordo com a OMS. A investigação desses níveis de mercúrio pode ser obtida através do consumo de peixes da população na região, uma vez que essas espécies são extremamente expostas a bioacumulação do mercúrio.

O uso do metal mercúrio nos garimpos, ocasiona em efeitos drásticos às populações vulneráveis e ao meio ambiente circundante, podendo culminar em sérios prejuízos à saúde, meio ambiente, como exemplo os povos Yanomami, impossibilitando o desfrute de vida às futuras gerações indígenas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, M. R. et al. Bioaccumulation of methylmercury in fish tissue from the Roosevelt River, Southwestern Amazon basin. **Revista Ambiente Água**, v. 11, n. 3, 2016.

CASTRO, N. S. S.; et al. Mercúrio em peixe e em sedimento do Rio Purus, Estado do Acre, Amazônia. **Revista Cadernos Saúde Coletiva**, 2016; 24(3): 294-300

COSTA JÚNIOR, J. M. F. et al. Teores de mercúrio em cabelo e consumo de pescado de comunidades ribeirinhas na Amazônia brasileira, região do Tapajós. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, 2018; 23(3): 805-812.

DOLCE, J. 75% da população de Santarém está contaminada por mercúrio de garimpo. **InfoAmazônia**, 2022. Disponível em: <https://envolverde.com.br/75-da-populacao-de-santarem-esta-contaminada-por-mercuro-do-garimpo/> Acesso: 21 de jun. 2023.

FILLION, M.; PHILIBERT, A.; MERTENS, F.; LEMIRE, M.; PASSOS, C. J. S.; FRENETTE, B.; GUIMARÃES, J. R. D.; MERGLER, D. Neurotoxic sequelae of mercury exposure: an intervention and follow-up study in the Brazilian amazon. **Ecohealth**, 2011; 8: 210-222.

GRANDJEAN, P.; SATOH, H.; KATSUYUKI, K.; ETO, K. Adverse Effects of Methylmercury: Environmental Health Research Implications. **Environmental Health Perspect.** 2010; 118:1137–1145.

GROTTO, D.; VALENTINI, J.; FILLION, M.; PASSOS, C. J.; GARCIA, S. C.; MERGLER, D.; BARBOSA, JR. F. Mercury exposure and oxidative stress in communities of the Brazilian Amazon. **Science of the Total Environment.** 2010; 408:806–811.

KARAGAS, M. R. et al. Evidence on the human health effects of low-level methylmercury exposure. **Environ Health Perspect.** 2012; 120(6):799-806.

LANDING, W. M.; HOLMES, C. D. Overview of the Atmospheric Mercury Cycle. Mercury and the Everglades. A Synthesis and Model for Complex Ecosystem Restoration. **Springer**, Cham, 2019. 47-59.

LIMA, D. P. et al. Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 45, p. 405-414, 2015.

LYMAN, S. N. et al. An updated review of atmospheric mercury, **Science of The Total Environment**, Volume 707, 2020.

MATOS, L. S. de et al. Avaliação da contaminação por mercúrio em Brycon falcatus (Characiformes: Bryconidae) e risco à saúde humana pelo consumo deste peixe do Rio Teles Pires, Sul da Amazônia. **Ictiologia Neotropical**, v. 16, 2018.

MENESES, H. do N. de. **Efeito de genes da família Glutathione S-Transferase em uma população do Baixo Amazonas ambientalmente exposta ao mercúrio.** 2016. Tese (Doutorado em Sociedade Natureza e Desenvolvimento) – Programa de Pós Graduação em Sociedade Natureza e Desenvolvimento, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 98 f. 2016.

MERCADO, D. S. et al. Hábitos alimentares de ribeirinhos da Amazônia e contribuições das enchentes no agravamento do quadro de insegurança alimentar. **Revista Saber Científico**, 2015; 4(1): 14-18.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Toxicological Effects of Methylmercury.** National Academy Press, 2000; 344p.

NEVADO, J. J. B. et al. Mercury in the Tapajós river basin, Brazilian Amazon: a review. **Environment International**, 2010; 36: 593–608.

NORDBERG, G. F.; FOWLER, B. A. NORDBERG, M. Handbook on the toxicology of metals. **Elsevier**, 2015; 4ª edição: 1385p.

RAMOS, A. R. A.; OLIVEIRA, K. A. de; RODRIGUES, F. dos S. Mercúrio nos garimpos da terra indígena Yanomami e responsabilidades. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, 2020.

RÖDIG, E. et al. Da estrutura florestal em pequena escala às estimativas de carbono em toda a Amazônia. **Comunicações da natureza**, v. 10, n. 1, pág. 5088, 2019.

SAHOO, P. K. et al. Mercúrio em sistema multimídia da Bacia de Itacaiúnas, Amazônia Brasileira: Uma abordagem integrada para entender sua distribuição, origem e risco ecológico. **Pesquisa Ambiental**, pág. 115107, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935122024343?via%3Dihub> Acesso em: 22 de nov. 2023.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de Revisão Sistemática: Um Guia Para Síntese Criteriosa Da Evidência Científica. **Revista brasileira de fisioterapia**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83-89, jan./fev. 2007.

SANTOS, T. Mercúrio: contaminação causa diferentes problemas à saúde. FIOCRUZ, 2023. Disponível em: <https://www.invivo.fiocruz.br/biodiversidade/contaminacao-por-mercuro/#:~:text=Existe%20ainda%20outra%20forma%20de,processo%20de%20extra%C3%A7%C3%A3o%20de%20min%C3%A9rios>. Acesso: 28 de out. 2023.

SEMENIUK, K.; DASTOOR, A. Development of a global ocean mercury model with a methylation cycle: Outstanding issues. **Global Biogeochemical Cycles**, 31.2 (2017): 400-433.

SILVA, L. M. **Estudo de correlação entre o oxigênio dissolvido e a matéria orgânica em diferentes ambientes aquáticos da região amazônica**. 2012. (Dissertação) Mestrado em Química Analítica, Universidade Federal do Amazonas, 100p. 2012.

TINÔCO, A. A. P.; AZEVEDO, I. C. A. D.; MARQUES, E. A. G.; MOUN-TEER, A. H.; MARTINS, C. P.; NASCENTES, R.; REIS, E. L.; NATALINO, R. Avaliação de contaminação por mercúrio em Descoberto, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental** 2010; 15(4):305-314.

VASCONCELLOS, A. C. S. et al. Health Risk Assessment of Mercury from Fish Consumption in Munduruku Indigenous Communities in the Brazilian Amazon. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021.

VERA, Y. M. **Acumulação de Mercúrio em Tucunarés da Amazônia**. (Série Gestão e Planejamento Ambiental, 08). Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. 60p. HARIS, H.; ARIS, A. Z.; MOKHTAR, M. B. Mercury and methylmercury distribution in the intertidal surface sediment of a heavily anthropogenically impacted saltwater-mangrove-sediment interplay zone, **Chemosphere**, Volume 166, 2017.

WHO. World Health Organization. **Guidance for Identifying Populations at Risk from Mercury Exposure**. Geneva: UNEP Chemicals, 2008. Disponível em: < <https://www.who.int/foodsafety/publications/chem/mercuryexposure.pdf?ua=1>>. Acesso em: 23 de nov. 2023.