



MERCÚRIO NA AMAZÔNIA

Aspectos introdutórios sobre vigilância e monitoramento
em populações indígenas expostas e potencialmente expostas



Apoio



Realização





MERCÚRIO NA AMAZÔNIA

Aspectos introdutórios sobre vigilância
e monitoramento em populações indígenas expostas
e potencialmente expostas

Manaus - Amazonas
2026



EXPEDIENTE



Ministério da Saúde

Alexandre Rocha Santos Padilha

Fundação Oswaldo Cruz

Mário Santos Moreira

Diretora Instituto Leônidas & Maria Deane

Stefanie Costa Pinto Lopes

Vice-Diretora de Pesquisa e Inovação Instituto Leônidas & Maria Deane

Michele Rocha de Araújo El Kadri

Coordenação Projeto

Jesem Douglas Yamall Orellana

Colaboradores do Projeto

Aly David Arturo Yamall Orellana
Lihsieh Marrero

Projeto Gráfico e Diagramação

Adriana Marinho e Fernanda Miranda

Ilustrações desenvolvidas com Inteligência Artificial

Y19m

Yamall Orellana, Jesem Douglas

Mercúrio na Amazônia: aspectos introdutórios sobre vigilância e monitoramento em populações indígenas expostas e potencialmente expostas. / Jesem Douglas Yamall Orellana; Lihsieh Marrero; Aly David Arturo Yamall Orellana. – Manaus: Fundação Oswaldo Cruz / Instituto Leônidas & Maria Deane, 2026.

68 p.: il.
ISBN 978-85-61677-10-7

1. Saúde ambiental – Amazônia. 2. Poluição de rios.
3. Povos originários – Amazônia. 4. Mercúrio – Amazônia.
I. Marrero, Lihsieh. II. Yamall Orellana, Aly David Arturo.
III. Título.

CDU 549.29:628(811)
CDD 363.709811
22. ed.

SUMÁRIO

PREFÁCIO	05
MENSAGEM DA COORDENAÇÃO	07
PÚBLICO-ALVO	08
OBJETIVOS	08
SEÇÃO 1- Introdução a toxicologia do mercúrio e aspectos históricos	09
SEÇÃO 2- Ciclo do mercúrio no ambiente e atividades antrópicas	21
SEÇÃO 3 - Exposição aguda e crônica ao mercúrio na Amazônia	35
SEÇÃO 4 - Principais ameaças e riscos do mercúrio à saúde humana	47
SEÇÃO 5 - Desafios da vigilância do mercúrio em indígenas da Amazônia	59
CONSIDERAÇÕES FINAIS	68







Na Amazônia, a crise ecológica e ambiental, reconhecida em sua tripla face, emergência climática, destruição da biodiversidade e poluição, ganha contornos dramáticos, revelando a indissociabilidade das agressões, perigos e riscos no território do planeta que recentemente acolheu a COP30, vocalizando o enunciado de “amazonizar o mundo”; um chamado à vida a partir da mais exuberante sociobiodiversidade que se tem conhecimento.

O recente ecogenocídio impetrado ao povo Yanomami, decorrente do assalto àquilo que lhes é mais sagrado, suas terras, desvela, nos planos real e simbólico, as profundas rupturas na relação ancestral e sagrada que os povos indígenas amazônidas mantêm com a natureza que os cerca. Nas palavras do sábio xamã Davi Kopenawa, trata-se de um prenúncio da “queda do céu”.

Por entre tantos vetores concorrentes desse sistema destrutivo, o metabolismo do mercúrio, decorrente da destruição intensiva da biomassa, da mobilização do solo e de seu uso no garimpo do ouro, em larga escala, tem um triste papel de destaque na Amazônia. Trata-se de um perigo que ganhou visibilidade na agenda ambiental global desde o reconhecimento dos graves danos à saúde decorrentes da contaminação na Baía de Minamata, no Japão, episódio que deu origem à Convenção internacional que busca controlar e reduzir o uso do mercúrio no mundo.

Embora o Brasil seja signatário dessa convenção, a realidade amazônica revela que os desafios para enfrentar esse problema permanecem imensos. A expansão do garimpo, muitas vezes ilegal, tem mobilizado grandes quantidades desse metal nos rios e nos ecossistemas aquáticos, afetando cadeias alimentares inteiras e expondo populações humanas a níveis preocupantes de contaminação. Ribeirinhos, povos indígenas e comunidades tradicionais figuram entre os grupos mais vulneráveis a esses processos, que combinam degradação ambiental, violência territorial e graves impactos à saúde.

Nesse contexto, a Vigilância em Saúde, enquanto função essencial da saúde pública e um dos pilares estruturantes do Sistema Único de Saúde (SUS) no Brasil, cumpre papel central para o conhecimento e a ação sobre a distribuição espaço-temporal dos riscos associados à exposição ao mercúrio, especialmente em territórios indígenas amazônicos. A produção de evidências científicas, o monitoramento ambiental e biológico, bem como a formação de profissionais de saúde capazes de reconhecer e enfrentar esses riscos, constituem elementos fundamentais para a construção de respostas mais efetivas.

É nesse horizonte que se insere esta obra. O livro *Mercúrio na Amazônia: Aspectos introdutórios sobre vigilância e monitoramento em populações indígenas expostas e potencialmente expostas* apresenta uma importante contribuição para o fortalecimento das capacidades de vigilância em saúde em territórios amazônicos, especialmente como instrumento de qualificação de trabalhadores da Atenção Primária à Saúde que atuam nos Distritos Sanitários Especiais Indígenas.



Organizado em seções que articulam fundamentos conceituais, evidências científicas e desafios operacionais da saúde pública, o livro conduz o leitor por diferentes dimensões do problema. Inicialmente são apresentados os fundamentos da toxicologia do mercúrio e os principais marcos históricos associados à exposição humana a esse metal pesado. Em seguida, a obra explora o ciclo ambiental do mercúrio e sua mobilização em ecossistemas amazônicos, evidenciando o papel das atividades antrópicas, especialmente o garimpo de ouro, na intensificação da contaminação ambiental.

Ao longo do livro são discutidos também os principais riscos à saúde humana decorrentes da exposição ao mercúrio, com destaque para populações amazônicas que dependem diretamente dos recursos naturais dos rios e florestas para sua subsistência. Por fim, a obra aborda os desafios da vigilância em saúde em territórios indígenas, enfatizando a importância da qualificação dos profissionais da saúde, do monitoramento sistemático e da integração entre diferentes saberes e instituições na construção de respostas mais eficazes para a proteção da saúde coletiva e dos territórios.

A Fundação Oswaldo Cruz, instituição centenária comprometida com a produção de conhecimento e a defesa do direito à saúde, reconhece que os desafios contemporâneos da saúde pública estão profundamente vinculados às transformações ambientais em curso. Unidades da instituição em territórios estratégicos, como o Instituto Leônidas & Maria Deane (ILMD/Fiocruz Amazônia), têm papel fundamental na produção de conhecimento e no fortalecimento de capacidades para enfrentar problemas complexos que afetam a saúde das populações. A contaminação por mercúrio na região evidencia como degradação ambiental, mudanças climáticas e perda de biodiversidade se entrelaçam na produção de vulnerabilidades, riscos e adoecimentos.

Esse debate se conecta também às agendas globais emergentes da saúde, que reconhecem a interdependência entre a saúde humana, a integridade dos ecossistemas e a estabilidade do sistema climático. E nesse contexto a Amazônia ocupa lugar estratégico nas discussões internacionais sobre o futuro do planeta.

Discutir o mercúrio na Amazônia, portanto, não significa apenas tratar de um contaminante químico; e sim, reconhecer como diferentes dimensões da crise socioambiental contemporânea se entrelaçam e produzem efeitos diretos sobre a vida e a saúde das populações amazônicas. Significa também compreender que os processos de degradação que atingem a região repercutem para além de suas fronteiras. Enfrentar a contaminação por mercúrio implica fortalecer políticas públicas integradas, sistemas de vigilância em saúde, atenção e promoção da saúde, e estratégias de cooperação científica e institucional capazes de responder a desafios que são simultaneamente locais, nacionais e globais.

Esperamos que esta obra contribua para ampliar o conhecimento e inspirar ações que promovam a proteção da vida, dos territórios e da extraordinária diversidade humana e ecológica da Amazônia.

Boa leitura.

Juliana Wotzasek Rulli Villardi e Guilherme Franco Netto



Como resultado do Acordo de Cooperação Técnica Nº 000015.2025, celebrado entre Ministério Público do Trabalho, Procuradoria Regional do Trabalho da 1ª Região (RJ), Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) e Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Saúde (FIOTEC), este livro didático se propõe a apresentar alguns aspectos introdutórios sobre a vigilância do mercúrio em terras indígenas na Amazônia.

Neste sentido, a poluição ambiental por contaminantes químicos constitui cada vez mais como uma séria ameaça à saúde humana. O mercúrio, em particular, está entre os três contaminantes mais importantes, sendo que a maior fonte de exposição na Amazônia a esse metal é o garimpo de ouro. Há mais de 50 anos, diferentes gerações de amazônidas têm testemunhado e sido fortemente impactadas pela extração predatória do ouro na região, especialmente ribeirinhos e povos indígenas. Nas últimas três décadas, as estratégias e maquinário usado para a extração ilegal de ouro têm amplificado os danos ambientais, especialmente em solos e corpos d'água o que, conseqüentemente, agrava ainda mais a exposição de populações reconhecidamente vulneráveis aos efeitos negativos da poluição ambiental.

Diversos estudos apontam que exposições em quantidades acima do tolerável, segundo critérios da organização mundial da saúde, podem resultar em danos ao sistema nervoso central e periférico, mas também ao renal, cardiovascular, digestivo, pulmonar, imunológico e endócrino. Outras evidências sugerem que a exposição pré-natal ao metilmercúrio pode estar relacionada com atrasos cognitivos, quadros de retardo mental leve e até mesmo danos na audição e visão, após o nascimento.

O preocupante cenário, sem dúvidas, põe em evidência a importância não apenas de monitorar seus efeitos em indivíduos expostos ou potencialmente expostos, como também de prevenir ou manejar da melhor maneira possível a exposição humana ao mercúrio, em particular no segmento materno-infantil indígena, para o qual, de um lado, pouco se sabe sobre o assunto e, de outro, permanecem substanciais desafios na atenção qualificada à saúde, o que inclui a formação profissional focada na contaminação/exposição ao mercúrio.

A partir disso é que este livro didático visa ofertar qualificação profissional, orientada aos riscos associados à exposição mercurial, bem como estratégias voltadas à sua vigilância, monitoramento e mitigação, junto a trabalhadores de saúde, atuantes na Atenção Primária à Saúde (APS) dos Distritos Sanitários Especiais Indígenas (DSEIs) Porto Velho e Vilhena. Finalmente, desejo uma aprazível e inspiradora leitura, especialmente daqueles engajados na implementação do plano estratégico para medidas de atenção, vigilância e promoção à saúde de populações expostas e potencialmente expostas ao mercúrio do Ministério da Saúde.





PÚBLICO-ALVO

Este material didático, destina-se à trabalhadores de saúde com nível superior, atuantes na Atenção Primária à Saúde (APS), em particular aos profissionais de enfermagem, medicina, nutrição e ciências biológicas dos Distritos Sanitários Especiais Indígenas (DSEIs) de Porto Velho e Vilhena.

OBJETIVOS



Ofertar qualificação profissional, orientada aos riscos associados à exposição mercurial, bem como estratégias voltadas à sua vigilância, monitoramento e mitigação, junto a trabalhadores de saúde, atuantes na Atenção Primária à Saúde (APS) dos Distritos Sanitários Especiais Indígenas (DSEIs) Porto Velho e Vilhena.

SEÇÃO 1

Introdução a toxicologia do mercúrio e aspectos históricos



CONCEITOS CHAVE:

Toxicologia

A Toxicologia pode ser considerada como um ramo da ciência dedicada ao estudo dos efeitos nocivos de substâncias químicas (como o antimônio, chumbo e mercúrio) e físicas (radiações ou ruídos) em humanos, animais e plantas, bem como em diferentes ecossistemas, preocupando-se com as formas como essas substâncias estão distribuídas na natureza, como interagem com os organismos vivos, seus principais riscos e possíveis soluções para debelar eventuais intoxicações. Portanto, a toxicologia, não apenas ajuda a proteger humanos e o meio ambiente da exposição aos efeitos nocivos de substâncias tóxicas, mas também tem importantes aplicações no desenvolvimento de medicamentos, pesticidas e até de investigações criminais.

Toxicantes químicos

São também chamados de agentes tóxicos ou substâncias venenosas, com potencial ou comprovada capacidade de causar distintos danos a sistemas biológicos, pois podem ser inofensivos para certas espécies, como o tetracloreto de carbono, potente hepatotóxico em uma variedade de animais, mas relativamente inofensivo em galinhas. Os toxicantes químicos, portanto, podem ser danosos em certas situações, mas não em outras e, ainda, tóxico somente quando em combinação ou interagindo com outro composto químico. Na prática, os termos toxinas e toxicantes são usados como sinônimos, mas toxinas são de origem biológica (produzidas por seres vivos como serpentes ou plantas) e toxicantes, geralmente, são substâncias sintéticas ou químicas em geral.

Exemplos comuns de toxinas

- ▶ Toxina botulínica (neurotoxina purificada da bactéria *Clostridium botulinum*)
- ▶ Toxina tetânica (neurotoxina produzida pela bactéria *Clostridium tetani*)
- ▶ Toxina diftérica (exotoxina produzida pela bactéria *Corynebacterium diphtheriae* e outras espécies)



Exemplos comuns de toxicantes químicos

- ▶ Medicamentos
- ▶ Agrotóxicos e raticidas
- ▶ Metais pesados (mercúrio, chumbo, cádmio e arsênio)
- ▶ Produtos industriais e domésticos (solventes, saneantes de limpeza e gases industriais)
- ▶ Drogas sintéticas e semissintéticas de abuso (metanfetaminas, quetamina ou crack e cloridrato de cocaína)

Xenobiótico

São substâncias químicas estranhas ao organismo ou quando não têm um papel fisiológico conhecido e, metais como o mercúrio ou o chumbo, são bons exemplos. Há também situações em que substâncias normalmente presentes e necessárias ao organismo, como o manganês, podem ser consideradas como xenobióticos, mas em cenário de exacerbada exposição humana, podendo provocar intoxicação grave.

Uso humano do mercúrio na história

O mercúrio, assim como outros toxicantes químicos, se confunde com a história das civilizações, embora informações mais remotas sobre exposição e intoxicação humana, como acontecimentos de 10 mil anos atrás, praticamente inexistam. Esses minerais estão no planeta há milhões de anos, muito antes dos primeiros vestígios dos humanos modernos, estando distribuídos em seus diferentes compartimentos, como em rochas, no solo, na água e no ar.

O fato é que, em condições naturais, a ocorrência do mercúrio, em geral, é baixa e apresenta ampla dispersão. Em outras palavras, atividades humanas ligadas a antigos experimentos de alquimia, bem como seu uso mais contemporâneo, incluindo resíduos industriais, da agricultura intensiva, das queimas de biomassa, do garimpo artesanal, do desproporcional uso de combustíveis fósseis e da urbanização não sustentável, aparecem como os principais motivos à sua danosa



mobilização na natureza. Portanto, embora não seja possível “criar” mercúrio, a sua disponibilidade como fonte de exposição e, eventualmente, intoxicação humana, tem se dado, quase sempre, devido a processos desencadeados pelo próprio homem.

Figuras 1a e 1b



Representação do uso supostamente terapêutico do mercúrio líquido para o tratamento da Sífilis, Europa medieval, século XVI.



Ilustração da torrefação de cinábrio a céu aberto, por escravos romanos em minas espanholas.

Registros arqueológicos, apontam que o cinábrio, uma pedra vermelha clara composta de sulfeto de mercúrio (HgS), já era empregado por antigas civilizações, em representações artísticas rupestres, justamente por ser uma conhecida fonte de um pigmento escarlate ou vermelho brilhante, além de outros corantes vermelhos à base de mercúrio. Ademais, há importantes indícios de extração do cinábrio há pelo menos 3600 anos na China antiga, incluindo relatos de morte de alguns imperadores chineses por intoxicação, após tomarem o metal para, supostamente, terem suas vidas prolongadas.

Civilizações como a egípcia e a grega, bem como os impérios Persa, Grego e o Romano, em boa parte das vezes, fizeram uso do tóxico para fins alquímicos, associando-o a supostos benefícios durante o tratamento de problemas de saúde da pele e olhos ou mesmo focando em doenças do sistema respiratório e intestinal.

Todavia, cabe registrar o uso do mercúrio, durante a Idade Média, em tentativas frustradas de alguns alquimistas de transformar o chumbo em ouro.

O mercúrio líquido, por sua vez, chegou a ser usado em inventos muçulmanos do século XI, como em maquinários do “Relógio das Gazelas”, o qual movimentava figuras como cobras, gazelas, garotas, um escravo e serpentes, na medida que as horas do dia passavam. O seu uso também foi usual à demonstração de opulência e poder por governantes Omíadas, também durante a ocupação muçulmana da “península ibérica”, entre os séculos VIII e XI depois de Cristo, pois impressionavam autoridades estrangeiras com bacias contendo mercúrio líquido que refletiam a luz solar no teto e paredes de luxuosos salões.

Há também registros do uso de mercúrio líquido em câmaras funerárias Maias, entre o século III e XII depois de Cristo, provavelmente com propósito cerimonial. Ademais, o cinábrio também foi usado para fins decorativos, especialmente na pintura de pisos, paredes, tetos, vasos e pinturas corporais. Portanto, o seu uso na América Central pode ter sido não apenas pontual, mas por largo período, já que em pleno século XXI foram encontrados vasos selados com mercúrio líquido na região, sugerindo seu estratégico uso à época.

Para além do seu milenar uso decorativo, cerimonial ou mesmo no funcionamento de relógios e confecção/tingimento de chapéus, o mercúrio e seus compostos também geraram fascínio por seu suposto efeito terapêutico, sobretudo no enfrentamento da sífilis que assolou a Europa do século XVI em diante. Sua reputação era tanta que chegou a ser chamado de “mercúrio da vida”, tamanho o desespero da humanidade em busca da cura da sífilis, cujo agente etiológico, o *Treponema pallidum*, só foi descoberto no início do século XX (1905), já sob influência da bacteriologia moderna. O controverso uso terapêutico do mercúrio e seus derivados, incluindo tratamentos de lesões na pele, só tiveram fim com a descoberta da penicilina, em 1943, promotora da efetiva cura da doença.

Até o século XIX não havia registros de intoxicação massiva da população, devido ao uso do mercúrio e seus compostos, apesar do seu suposto uso terapêutico e ritualístico por milênios ter gerado vítimas, bem como isolados acidentes em laboratório, alguns imprudentes como o que culminou na morte de Carl Wilhelm Scheele (1742–1786), um brilhante farmacêutico e químico sueco. No entanto, no século XX, com o avanço desmedido e, até certo ponto, inconsequente do capitalismo, desastres industriais associados ao mercúrio e seus compostos entraram para a história, levando a graves efeitos crônicos e centenas de mortes, devido ao uso irracional de fungicidas no Iraque, Paquistão, Gana e Guatemala, por exemplo. Razão pela qual, a Organização Mundial da Saúde (OMS) proibiu seu uso como fungicida, em 1974.



No entanto, o mais dramático e letal efeito, resultante de exposição crônica ao metal tóxico, sem dúvida, se deu no final da década de 1950, na baía de Minamata, costa sudoeste de Kyushu no Japão, quando milhares de pessoas foram gravemente intoxicadas e perderam suas vidas, devido ao descarte de resíduos industriais em um rio que desaguava no mar, contaminando os moradores de uma grande área que consumiam peixes e frutos do mar da região, igualmente contaminados. Apesar do seu grave impacto negativo sobre a saúde humana e seus descendentes, o mercúrio e seus compostos seguiram sendo usados no século XX, incluindo amálgamas odontológicas, lâmpadas fluorescentes, dezenas de processos industriais e, sobretudo, atividades de extração de ouro.

Já a exposição humana ao mercúrio em áreas de garimpo ilegal da Amazônia brasileira, atualmente, parece um fato indiscutível, assim como sua forte mobilização ou dispersão não natural no ambiente, especialmente em rios e peixes, fonte proteica essencial para milhões de amazônidas, incluindo vulneráveis como ribeirinhos do Rio Madeira de Rondônia, e dezenas de povos indígenas altamente expostos, como àqueles da região do Rio Tapajós no Pará e Yanomamis de Roraima e Amazonas, para dar dois (2) emblemáticos exemplos, sobretudo a partir dos anos 1980.

Esse período, foi marcado pela emergência do maior garimpo a céu aberto do mundo, o de Serra Pelada, situado no município de Curionópolis (Sudoeste do Pará) e que chegou a atrair cerca de 100 mil homens em 1983. Foram extraídas, ao menos, 40 toneladas de ouro em 12 anos, deixando como resultado, um município empobrecido e um passivo ambiental severo, representado por uma gigante e anômala cratera, onde se formou um lago com cerca de 200 metros de profundidade. A região também foi palco de uma série de irregularidades, incluindo o massacre da ponte rodoferroviária do Rio Tocantins de 1987, protagonizada pela polícia militar paraense e que resultou em dezenas de desaparecidos e mortos. O nome Curionópolis seria uma homenagem ao Major Curió, designado pelo regime militar como interventor em Serra Pelada, em maio de 1980. Curió foi um oficial do Exército, denunciado pelo Ministério Público Federal (MPF), em 2021, por homicídio e ocultação de cadáveres durante o combate à guerrilha do Araguaia.

Outra fonte de exposição ao mercúrio e seus compostos na Amazônia contemporânea e não tão debatida, mas igualmente importante, decorre da sua dispersão antropogênica no ambiente devido a queima de biomassa, especialmente de incêndios florestais criminosos, ligados à expansão predatória do agronegócio, sobretudo no século XXI.

Contudo, apesar do longo contato de diversas civilizações humanas com o mercúrio e seus derivados, parece claro que, na atualidade, o referido toxicante tende a oferecer mais problemas do que soluções, apesar da sua utilidade na indústria química, farmacêutica, metalurgia e de eletroeletrônicos, por exemplo. Não é por

acaso que o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), vem alertando diversos atores no planeta sobre os sérios riscos do uso de mercúrio à saúde humana, sobretudo acerca da necessidade de reduzir e eliminar o seu uso em atividades altamente poluentes como o garimpo ilegal de ouro.

O mercúrio

O mercúrio (Hg) é um metal pesado que compõe a constituição do planeta Terra, sendo, portanto, encontrado naturalmente no meio ambiente, mas não se decompõe, o que, na prática, o torna indestrutível e, por isso, o seu uso não responsável o torna tão ameaçador à saúde humana. A característica crucial desta substância não inflamável, reside em sua facilidade de se misturar a outros metais, incluindo o cobiçado ouro ou mesmo a prata, formando as chamadas ligas ou amálgamas.

É importante salientar que, mundialmente, a comercialização do mercúrio, em teoria, está cercada por uma série de restrições legais. Mas, na prática, redes criminosas internacionais burlam recomendações como às da Convenção de Minamata, as quais visam reduzir e controlar sua presença em produtos, processos e indústrias, distribuindo, ilegalmente, toneladas de mercúrio mundo afora, incluindo o Brasil. Como o Brasil não é um produtor de mercúrio, atualmente, o seu uso legal está sujeito a importação, sobretudo para a produção de cloro e soda (indústria álcalis-cloro) que, em teoria, deveria ter seu uso interrompido até final de 2025, de acordo com a Convenção de Minamata.

No entanto, as toneladas/ano de mercúrio que abastecem o garimpo ilegal na Amazônia tem sido viabilizada por contrabando de países sul-americanos, sobretudo Colômbia, Peru, Bolívia e Chile. Recentes estimativas sugerem que somente na bacia do Rio Tapajós, uma das mais impactadas pelo garimpo ilegal na Amazônia brasileira, mesmo com o uso de retorta, um dispositivo que visa recuperar/reciclar mercúrio de amálgamas de ouro, há uma liberação anual de, ao menos, 2,5 toneladas/ano de mercúrio na região.

Portanto, fica evidente que o garimpo ilegal de ouro na Amazônia, além de ser um preocupante problema, em termos de saúde pública e para a conservação da biodiversidade, está associada a circuitos econômicos ilícitos que desafiam a capacidade do Estado brasileiro de manter o controle do seu próprio território, bem como de garantir os direitos fundamentais da sua população, especialmente as mais vulneráveis como indígenas e ribeirinhos, potencialmente ou expostas ao mercúrio.



Formas de apresentação do mercúrio

O mercúrio (Hg) apresenta-se na natureza em dois (2) grupos, o inorgânico e o orgânico, sendo que ambos apresentam diferentes níveis de toxicidade para humanos. Em sua apresentação inorgânica, está associado a três (3) diferentes estados de oxidação: o mercúrio elementar (Hg^0), bem como os sais mercuriosos (Hg^+) e mercurícos (Hg^{2+}). Já em sua apresentação orgânica, os exemplos mais emblemáticos à saúde humana são o metilmercúrio (MeHg^+) e o etilmercúrio (EtHg^+), os quais apresentam ligantes orgânicos naturais, o que facilita a sua dispersão no ambiente, especialmente do metilmercúrio (MeHg^+).

Figura 2



Representação das apresentações inorgânicas (mercúrio elementar e sais de mercúrio) e orgânica (metilmercúrio em peixes) do mercúrio.

O mercúrio elementar ou metálico (Hg^0) é a forma mais conhecida e apresenta-se como o único metal líquido em temperatura ambiente, tendo aspecto brilhante, branco-prateado e muito denso. Curiosamente, pode passar facilmente ao estado gasoso (vapor de mercúrio) e a inalação (respiratória) é a principal via de absorção pelo corpo humano. Pode ser encontrado em diversos produtos industriais e na mineração de ouro, por exemplo.

As apresentações inorgânicas do metal, por sua vez, dependem da sua combinação com outros elementos químicos, como o enxofre ou o oxigênio, para então formar os chamados sais de mercúrio. Apresentam aparência, frequentemente sólida (pós ou cristais brancos/vermelhos), incluindo o cloreto, o sulfeto e óxido de mercúrio. O

homem pode ser exposto a estas apresentações mercuriais por ingestão ou contato cutâneo, sendo encontrado em itens como baterias, alguns desinfetantes e uma série de processos industriais químicos.

Já as apresentações orgânicas, o metilmercúrio (MeHg^+) e o etilmercúrio (EtHg^+), formam-se quando o metal se funde a radicais como o carbono em sua estrutura, sendo considerada a forma mercurial mais tóxica para humanos, em decorrência da sua facilidade de absorção e propriedade cumulativo em tecidos e órgãos alvo, especialmente no sistema nervoso central. Em populações amazônicas, a ingestão de alimentos contaminados, principalmente peixes, figura como a principal fonte do metilmercúrio (MeHg^+).

O mercúrio de cadeia curta

O termo “mercúrio de cadeia curta” é usado para se referir a compostos organomercuriais de cadeia alquila curta, como o metilmercúrio (MeHg^+) e o etilmercúrio (EtHg^+). Ambos são altamente tóxicos, além de apresentarem forte potencial de bioacumulação e biomagnificação na cadeia alimentar. Cabe destacar que o etilmercúrio (EtHg^+), principal componente do timerosal, um tipo de conservante usado em algumas vacinas, produtos farmacêuticos e cosméticos, tem sido utilizado há décadas na inibição da proliferação de bactérias e fungos, auxiliando a garantir a segurança e a esterilidade de certos produtos.

Mas, diferentemente do metilmercúrio (MeHg^+), o etilmercúrio (EtHg^+), pode ser rapidamente eliminado do corpo, cerca de 7 a 10 dias e, apesar de suspeitas infundadas sobre um possível efeito nocivo à saúde humana, a partir do seu uso em produtos como vacinas multidoses, não há evidências científicas que o liguem ao autismo ou a outros problemas de desenvolvimento neurológico em crianças, pois a sua quantidade nesses imunizantes é pequena o suficiente para ser considerada segura e de rápida eliminação pelo corpo.

Diferentemente do mercúrio metálico (elemento puro, líquido à temperatura ambiente) ou dos sais de mercúrio inorgânicos, os compostos de cadeia curta são mais estáveis, especialmente o metilmercúrio, pois apresenta lento processamento e permanece cerca de 45 dias no sangue. Por este motivo, o metilmercúrio (MeHg^+) é, de longe, o composto de mercúrio orgânico mais comum e perigoso no meio ambiente, sendo formado principalmente por micro-organismos em ambientes aquáticos, a partir de mercúrio inorgânico depositado nesses corpos d'água.



Perguntas e respostas mais comuns (debate e chuva de ideias):

O que vem à sua cabeça quando se fala em toxicologia?



No passado, o mercúrio foi usado para gerar claros benefícios à saúde humana?



Atualmente, o mercúrio é um aliado da humanidade?



Todas as formas de mercúrio são igualmente ameaçadoras para humanos?



É verdade que as vacinas contêm mercúrio e que por isso podem ser tóxicas?

Bibliografia de referência da Seção 1:



ABIN, Agência Brasileira de Inteligência-; FBSP, Fórum Brasileiro de Segurança Pública-; CLIMA, Ministério do Meio Ambiente e Mudança do (Org.). **Mercúrio na Amazônia: redes criminosas, vulnerabilidade socioambiental e desafios para a governança**. São Paulo, SP: Fórum Brasileiro de Segurança Pública, 2025.

BAKIR, F. *et al.* Methylmercury Poisoning in Iraq: An interuniversity report. **Science**, [s. l.], v. 181, n. 4096, p. 230–241, 20 jul. 1973.

COREY, G., & GALVÃO, L. A. **Mercurio**. Serie Vigilancia; 7. Organización Panamericana da Saúde (OPS). Metepec: Mexico, 1987.

FRITZ, Benjamin *et al.* Mercury and CO2 emissions from artisanal gold mining in Brazilian Amazon rainforest. **Nature Sustainability**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 15–22, 6 nov. 2023.

GONÇALVES, Aguinaldo; GONÇALVES, Neusa Nunes Da Silva E. Exposição humana ao mercúrio na Amazônia brasileira: uma perspectiva histórica. **Revista Panamericana de Salud Pública**, [s. l.], v. 16, n. 6, p. 415–419, dez. 2004.

HACON, S. *et al.* Atmospheric mercury and trace elements in the region of Alta Floresta in the Amazon Basin. **Water, Air, and Soil Pollution**, [s. l.], v. 80, n. 1–4, p. 273–283, fev. 1995.

JAIN, Archana *et al.* RETRACTED ARTICLE: New insights and rethinking of cinnabar for chemical and its pharmacological dynamics. **Bioengineered**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 353–364, jan. 2019.

PARSONS, Michael B.; PERCIVAL, Jeanne B. CHAPTER 1: A BRIEF HISTORY OF MERCURY AND ITS ENVIRONMENTAL IMPACT. In: PARSONS, M. B.; PERCIVAL, J. B. (org.). **Mercury: Sources, Measurements, Cycles and Effects**. [S. l.]: Mineralogical Association of Canada, 2005. p. 1–20. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/mac/books/edited-volume/2732/chapter/149943855/CHAPTER-1-A-BRIEF-HISTORY-OF-MERCURY-AND-ITS>. Acesso em: 2 mar. 2026.

PFEIFFER, W.C. *et al.* Mercury in the Madeira River ecosystem, Rondônia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 38, n. 3–4, p. 239–245, fev. 1991.

SEIZI OGA, Márcia Maria de Almeida Camargo. **Fundamentos de Toxicologia**. 5. ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Atheneu, 2021.

TAMASHIRO, Hidehiko *et al.* Mortality and Survival for Minamata Disease. **International Journal of Epidemiology**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 582–588, 1985.

STAFF, National Research Council; METHYLMERCURY, Committee on the Toxicological Effects of; STAFF, Board on Environmental Studies and Toxicology. **Toxicological Effects of Methylmercury**. Washington: National Academies Press, 2000.



Fontes Figura 1:

PARSONS, Michael B.; PERCIVAL, Jeanne B. (Eds.). **Mercury: Sources, Measurements, Cycles and Effects**. [S. l.]: Mineralogical Association of Canada, 2005. Available at: <https://pubs.geoscienceworld.org/mac/books/edited-volume/2732/Mercury-Sources-Measurements-Cycles-and-Effects>. Accessed on: 12 Mar. 2026.

Fontes Figura 2:

<https://diariodonaturalista.com.br/ciencias/quimica/elemento-mercurio-hg/>

<https://pt.dreamstime.com/o-cloreto-de-merc%C3%A9rio-%C3%A9-um-composto-qu%C3%ADmico-com-f%C3%B3rmula-hgcl-tamb%C3%A9m-conhecido-como-calomel-ou-image205219141>

<https://www.bbc.com/portuguese/articles/cglvv1n25yno>

<https://neomundo.org.br/biodiversidade/a-contaminacao-de-peixes-por-mercurio-e-os-riscos-a-saude-humana>

SEÇÃO 2

Ciclo do mercúrio no ambiente e atividades antrópicas



CONCEITOS CHAVE:

Bioacumulação

Refere-se às substâncias que podem facilmente ser absorvidas por organismos vivos, como microrganismos, plantas aquáticas, invertebrados, peixes e, também, mamíferos. No caso do mercúrio em humanos, não há evidências convincentes de ele possa ser totalmente eliminado do corpo, acumulando-se nos tecidos, sobretudo no sistema nervoso central.

Biomagnificação

Refere-se a um processo caracterizado pelo aumento progressivo da concentração de certas substâncias em tecidos vivos, na medida em que certas espécies como peixes, tanto de águas doces (rios) como salgadas (mar), ocupam posições superiores na cadeia alimentar ou no nível trófico, tal como os peixes considerados de topo de cadeia, em geral, grandes e que também comem outros peixes.

Ciclagem do mercúrio

É um processo biogeoquímico que ilustra a permanente transformação e circulação do mercúrio em diferentes compartimentos da terra (atmosfera, solo e águas), modificando, desta forma, suas formas de ocorrência no ambiente, seja ela inorgânica ou mesmo orgânica, altamente tóxica para humanos.

Nível trófico

Remete a posição que determinado organismo ocupa na cadeia alimentar de dado ecossistema, sendo diretamente influenciado por seus hábitos alimentares e fluxos de energia, pois a sua concentração diminui ao passo que o nível trófico cai. Por exemplo, um peixe de topo de cadeia, normalmente, é maior e come peixes de níveis inferiores, os quais concentram menos energia. De forma geral, há três níveis tróficos principais, o de produtores (plantas e algas, p.e.), consumidores (peixes herbívoros e carnívoros, p.e.) e decompositores (fungos e bactérias, p.e.).

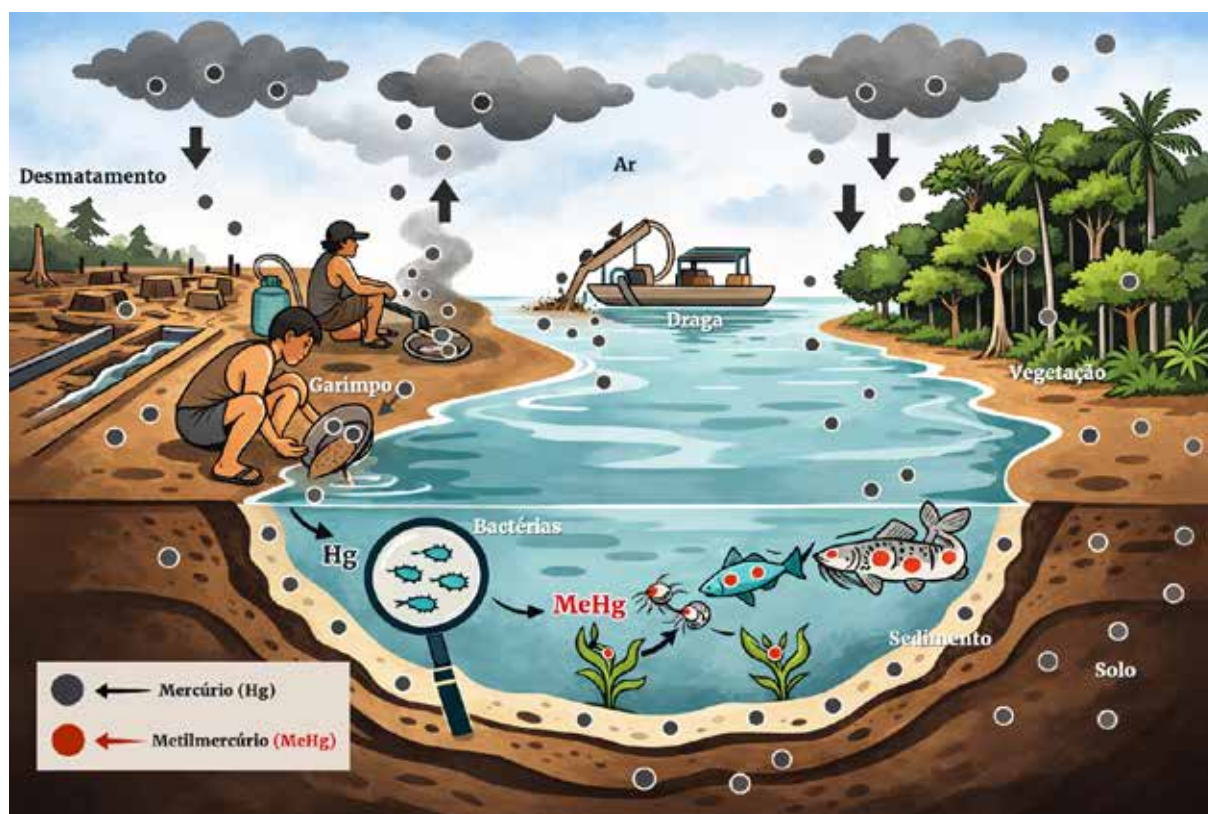


Distribuição do mercúrio no ambiente

Em primeiro lugar, é importante destacar que ciclos biogeoquímicos são processos envolvendo elementos ou substâncias que resultam na mobilização de matéria e energia, sendo responsáveis pela viabilidade (ou não) dos organismos vivos na Terra. No entanto, importantes alterações nos ciclos biogeoquímicos naturais de elementos ou substâncias do planeta como o mercúrio, resultam em degradação ambiental e prejuízos à diferentes formas de vida, pois trata-se de toxicante com alta capacidade de persistência, mobilização e, principalmente, de bioacumulação e biomagnificação em ecossistemas aquáticos e terrestres, como, por exemplo, algas e microalgas, peixes e pequenos crustáceos, bem como, populações indígenas e ribeirinhas expostas a níveis não seguros ou tóxicos de mercúrio.

O mercúrio é um elemento químico que ocorre naturalmente na terra e, de forma geral, existem duas (2) maneiras de mobilização do toxicante no ambiente, a natural e a antropogênica (Figura 3). A via natural é variada e inclui o seu lançamento na atmosfera mediante vulcões, por processos de decomposição ou de quebra de rochas, incêndios florestais espontâneos e espalhamento pelos solos ou superfície terrestre. A via antropogênica ou por ação humana direta, está fortemente associada a atividades produtivas, sendo a mais problemática e diversificada, incluindo a queima de combustíveis fósseis, geração de eletricidade, produção de cimento e pesticidas, mineração de ouro ou mesmo incineração de resíduos e cadáveres.

Figura 3



Representação do ciclo do mercúrio no ambiente amazônico, impactado pelo garimpo e desmatamento.



Há também a remobilização ou redistribuição de fontes mercuriais que estavam, inicialmente, depositadas ou imobilizadas. São exemplos desses eventos, a perturbação mecânica do solo (transformação de áreas de floresta em campos agrícolas ou remoção da cobertura vegetal em áreas de encosta ou margem dos rios, resultando em processos erosivos, p.e.), de sedimentos de rios (dragagem de rios para projetos hidroviários ou com balsas de garimpo) e lagos, bem como de aterros sanitários sem infraestrutura de captação e tratamento do chorume (líquido decorrente da decomposição de matéria orgânica), o qual pode se misturar com mercúrio vazado de eletroeletrônicos como pilhas e baterias, contaminando não apenas águas superficiais como as subterrâneas (lençóis freáticos).

A ocorrência de incêndios criminosos, especialmente os de larga escala, por exemplo, são especialmente problemáticos, pois fazem com que o mercúrio naturalmente depositado em árvores da floresta amazônica, altere novamente sua forma química e se disperse pela atmosfera, contaminando áreas adjacentes ou até áreas mais remotas, incluindo corpos d'água e diferentes formas de vida.

Ademais, não é incomum, após a remoção da cobertura florestal nativa, a sua substituição por campos de soja e outras monoculturas ou por grandes áreas voltadas à pecuária extensiva. Nestes cenários, a depender da composição química do solo em que o mercúrio está naturalmente depositado, o desmatamento, a desestruturação e a erosão do solo, podem fazer com que o toxicante seja arrastado pelas águas da chuva e mobilizado até as águas superficiais (lagos, lagoas, igarapés, rios), somando-se, em certos casos, a considerável quantidade do toxicante previamente despejado pelo garimpo ilegal de ouro e acumulado no sedimento de corpos d'água.

Nestas circunstâncias, o toxicante passa por uma série de transformações físico-químicas e biológicas, incluindo os processos de oxidação e de metilação, transformando-se em uma séria e duradoura ameaça à saúde humana, mediante ação direta da luz solar e, principalmente, de microrganismos presentes no solo, em sedimentos, na água ou em plantas, voltando a forma de mercúrio elementar (Hg^0).

O processo de metilação em corpos d'água em particular, costuma ocorrer mediante ação direta de microrganismos, como bactérias presentes em seu leito e sedimentos, ocasião em que o toxicante adquire novas formas químicas, como o metilmercúrio, sendo transferido de um nível da cadeia alimentar para o outro, passando pelo fitoplâncton (microalgas, p.e.), zooplâncton (microcrustáceos, p.e.), até chegar nos peixes e aumentar sua concentração ou biomagnificação nos peixes de topo de cadeia ou de maior nível trófico.

Adicionalmente, é importante ressaltar que, em contexto de garimpo ilegal de ouro na Amazônia, o mercúrio elementar passa por um processo de amalgamação e, em seguida, é normalmente aquecido, mediante maçaricos, para volatilizar e ser separado do ouro, dispersando-o pela atmosfera e tornando possível a sua volta à

superfície terrestre com a água da chuva, em sua forma ionizada, caracterizando outra faceta da ciclagem do mercúrio. Casas de fundição e joalherias em contexto urbano também volatilizam mercúrio residual, durante a purificação do metal para a sua comercialização e produção de joias, amplificando os efeitos negativos do toxicante sobre os trabalhadores que normalmente desenvolvem essas atividades sem o mínimo de estrutura e equipamentos de proteção individual, bem como, sobre a população do entorno.

Estima-se que a vida útil do mercúrio elementar inorgânico na atmosfera seja de até dois (2) anos. No entanto, o metilmercúrio orgânico, presente nos peixes e que também se bioacumula danosamente em amazônidas, pode permanecer ativo no solo e sedimento de corpos d'água por décadas. Portanto, o mercúrio é considerado um poluente persistente e tóxico, pois acaba sendo, constantemente, mobilizado no ambiente, em parte por processos naturais da crosta terrestre e dos oceanos, mas, principalmente, em razão do mal uso e de vazamentos do toxicante em atividades antrópicas, incluindo a indústria e o garimpo ilegal de ouro. É importante salientar, que o garimpo ilegal de ouro mobiliza o mercúrio não apenas em áreas ativas de mineração, como também, no entorno e em áreas de garimpo inativadas há décadas, amplificando os seus efeitos negativos sobre o meio ambiente e saúde humana.

De forma geral, três tipos de mineração do ouro operam na bacia amazônica: a mineração aluvial ou de aluvião, a mineração a céu aberto e a mineração subterrânea. A mineração aluvial é a mais comum e visa, normalmente associadas com elevados índices de violência, decorrentes da disputa e posse de territórios, bem como da desregulamentação do seu mercado. A mineração aluvial é a mais comum e visa o metal depositado em sedimentos de leitos de rios, margens ou planícies de inundação e costuma ser executado com métodos de garimpo artesanal que se valem de bateias e, principalmente, com dragas industriais, equipadas com potentes bicos de jato (jatos de água de alta pressão que reviram o leito e os sedimentos dos rios), resultando em grave assoreamento, bem como destruição e contaminação da flora e da fauna, sobretudo de peixes consumidos por humanos e até mesmo aves que se alimentam de peixes, por exemplo (Figura 4).

Figura 4



Representação dos equipamentos industriais (Bicos de jato e retroescavadeiras hidráulicas) usados no garimpo ilegal de ouro na Amazônia.



A mineração a céu aberto, uma prática normalmente predatória e ilegal, por sua vez, se vale do uso de práticas manuais e mais rudimentares, mas sobretudo de potentes práticas de extração do ouro, mediante o uso de retroescavadeiras hidráulicas. Este tipo de mineração, desfigura a paisagem local, criando enormes buracos na terra ou nas margens dos rios e resulta em desmatamento, contaminação massiva por mercúrio e destruição de ecossistemas, sobretudo em áreas protegidas e terras indígenas. Sem dúvida, o garimpo a céu aberto de Serra Pelada, da década de 1980, no estado do Pará, denota não apenas como um dos mais emblemáticos e lamentáveis exemplos da mineração predatória na Amazônia, como também da história recente da humanidade.

A mineração subterrânea, é outro método, embora não tão comum na Amazônia. Está prática é caracterizada pela escavação de túneis, galerias e poços profundos, em busca de ouro no subsolo e frequentemente associado a trabalho análogo à escravidão, sério risco de morte devido a desmoronamento ou contaminação com substâncias como cianeto e, também, causador de contaminação do lençol freático e degradação ambiental.

A grande variedade de métodos usados para a extração do ouro tem sido fortemente influenciada pelo valor dessa *commodity*, pois entre 2002 e 2025 o seu valor no mercado global aumentou cerca de 14 vezes. No Brasil, a tendência também foi de forte aumento, pois observou-se elevação de aproximadamente 18 vezes em seu valor por grama, passando de cerca de 6,83 dólares em 2002 para algo próximo a 125 dólares em 2025, mudanças com implicações negativas óbvias e diretas sobre o meio ambiente e, também, sobre o número de trabalhadores envolvidos.

Embora seja muito difícil estimar quantas pessoas estão mundialmente envolvidas em atividades de garimpo que excluem atividade industrial regulamentada, em decorrência da flutuação e intensa migração desses trabalhadores, a depender da época, território e do valor de mercado desses minerais, algumas estimativas têm sido aceitas. Por exemplo, em 62 países avaliados, estimou-se que entre 14 e 19 milhões de trabalhadores estariam envolvidos, diretamente, em atividades com potencial para reunir poucas pessoas, até centenas ou milhares, não raro, de forma ilegal e não segura à saúde ambiental e humana, especialmente em países em desenvolvimento.

No Brasil, uma das poucas estimativas sobre o número de trabalhadores em atividades de garimpo de ouro que excluem atividade industrial regulamentada, sugeriu algo próximo a 861 mil trabalhadores em 2011. Portanto, como o preço da *commodity* aumentou expressivamente nos últimos anos no país, é possível que, em 2025, por exemplo, esse número tenha sido superior a um (1) milhão de trabalhadores, considerando a relação direta entre a estimativa de trabalhadores diretamente envolvidos e o preço do ouro.

Estudo proveniente do projeto MapBiomass, uma rede global e multiinstitucional que monitora as transformações na cobertura e no uso da terra nos territórios e seus impactos, mostrou que o Garimpo na Amazônia aumentou substancialmente, entre 1985 e 2022, principalmente nos estados do Pará, Mato Grosso e Amazonas. O avanço foi tamanho que, em 2022, 92,0% da área garimpada no Brasil estava justamente na Amazônia, com a extração de ouro representando 85,4% desse total. Não por acaso, os estados com a maior área minerada no Brasil, em 2022, foram os estados do Pará e Mato Grosso, representando cerca de 60% do total nacional e números assustadores acerca da sua extensão em municípios como Itaituba-PA, com cerca de 71 mil hectares destruídos pelo garimpo de ouro.

Outro dado alarmante da evolução garimpeira no Brasil, diz respeito a devastação ambiental em terras indígenas, a qual aumentou em 265% no ano de 2022, em comparação a 2018, devastando cerca de 16 mil hectares em terras indígenas, sobretudo no território Kayapó (13,7 mil ha), Munduruku (5,5 mil ha), Yanomami (3,3 mil ha) e na Terra Indígena Tenharim do Igarapé Preto (1 mil ha), situada na área de abrangência do Distrito Sanitário Especial Indígena (DSEI) Porto Velho, o qual cobre territórios nos estados do Mato Grosso, Rondônia e Amazonas.

Estimativas do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), de 2015, sugerem que em torno de 2.220 toneladas de mercúrio foram liberadas no ar em escala mundial, sendo que regiões como a Ásia, América do sul e África subsaariana foram responsáveis, conjuntamente, por cerca de 83% desse total mundial. Em relação as emissões atribuíveis às atividades de garimpo de ouro que excluem atividade industrial regulamentada, representaram, aproximadamente, 38% do total global das emissões, sendo que na América do Sul e na África Subsaariana, a referida atividade foi a principal fonte de emissão do toxicante, em função do processo de amalgamação praticado. Por outro lado, em outras regiões do planeta, a produção de energia por usinas termelétricas, mediante a queima de combustíveis fósseis (sobretudo carvão), a indústria produtora de metais não ferrosos, e outros setores específicos da indústria, como a do cimento, são as principais fontes de emissão de mercúrio no planeta.

Ademais, a quantidade de mercúrio lançada no ambiente terrestres e de água doce, via atividades de garimpo de ouro que excluem atividade industrial regulamentada, em 2015, alcançou cerca de 1.220 toneladas ao ano. Já as emissões globais de mercúrio antropogênico de outras fontes para ambientes aquáticos totalizaram cerca de 580 toneladas, também no ano de 2015. É importante mencionar que os principais setores que contribuíram para essas 580 toneladas/ano, foram os setores voltados ao tratamento de resíduos (43%), a mineração e o processamento de outros minérios (40%) e de geração de energia (17%).

Ainda de acordo com as estimativas do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), uma lista de dez países que mais utilizam mercúrio em

atividades de garimpo de ouro que excluem atividade industrial regulamentada, entre eles o Brasil, são responsáveis pela emissão de 1.594 toneladas de mercúrio por ano, ou cerca de 77% do total global. Interessante notar que cerca de 58% (ou 917 toneladas) desse total de mercúrio provém de seis (6) países da América do Sul: Peru, Colômbia, Bolívia, Brasil, Venezuela e Equador.

Em países como o Peru, o principal emissor de mercúrio na atmosfera da América do Sul, a partir de atividades de garimpo de ouro que excluem atividade industrial regulamentada, estudos têm mostrado que mesmo áreas com cobertura florestal amazônica nativa apresentam elevadas concentrações de mercúrio total e metilmercúrio na atmosfera, tanto na folhagem de copa de árvores e no solo, bem como substancial concentração em aves, peixes e outros mamíferos, para citar alguns exemplos.

Abaixo estão listadas conhecidas fontes de exposição humana ao mercúrio:

- Indústria de cloro-soda (hipoclorito de sódio [principal composto da lixívia ou água sanitária] e hidróxido de sódio ou a popular soda cáustica);
- Destinação de resíduos com mercúrio (lama mercurial, especialmente em contexto de descarte de produtos eletroeletrônicos);
- Lâmpadas fluorescentes (sobretudo lâmpadas queimadas e quebradas descartadas em lixões);
- Pilhas e baterias (milhões de unidades vão parar nos lixões);
- Odontologia (mercúrio elementar, usado nas amálgamas dentárias [prata, estanho, cobre, zinco e mercúrio]);
- Usinas Termelétricas (queima de carvão e gás natural);
- Produção de aço e ferro (toneladas são despejadas à sua produção e se dispersam na atmosfera);
- Metalurgia para extração e purificação de metais não ferrosos como chumbo, zinco e cádmio (também libera mercúrio na atmosfera);
- Aterros sanitários e lixões (formação do chorume, o qual pode se misturar com mercúrio vazado de eletroeletrônicos como pilhas e baterias ou incineração a céu aberto);
- Indústria de cimento (altamente poluente, incluindo emissão de mercúrio);
- Queimadas florestais naturais ou não;
- Cremação (combustão de carvão mineral, vegetal, gás natural entre outros);
- Mercúrio no garimpo;
- Instrumentos de aferição (tensiômetros e termômetros);
- Agricultura (defensivos agrícolas - fungicidas);
- Indústria de celulose, cosméticos ou clareadores de pele.

A crise climática e sua relação com o mercúrio no ambiente

Outro aspecto relevante que não pode ser ignorado ao se discutir a mobilização e remobilização do mercúrio no ambiente, diz respeito a sua inevitável relação com a crise climática em curso no planeta, uma vez que, claramente, o garimpo ilegal de ouro na Amazônia e em outras regiões do planeta, está associado a atividades altamente predatórias e ao consequente aumento na devastação do ecossistema e seus compartimentos, pois atinge não somente o solo e a água, como também a atmosfera e o clima global.

Portanto, não se trata de um fenômeno dos últimos cinco (5) anos ou da última década e sim de um processo secular de décadas de negligência com a saúde do planeta, facilmente observável mediante alguns indicadores como o do aumento médio da temperatura da terra, entre 2023 e 2024, em 1,5 graus, em comparação aos níveis pré-industriais (1850-1900), de acordo com o Painel intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC).

Na prática, a crise climática está desorganizando o sistema climático global e, segundo o IPCC, se não forem tomadas medidas robustas para enfrentar o problema, especialmente no que tange à emissão de gases de efeito estufa como metano e o dióxido de carbono, ao longo do século XXI, a temperatura do planeta pode aumentar 3,1 graus Celsius, em média. Mas, países continentais como o Brasil, podem testemunhar aumentos médios de 4,0 a 4,5 graus Celsius, a depender da região, tornando a vida extremamente desafiadora ou mesmo inviável, já que algumas metrópoles poderiam alcançar 46 graus Celsius, em determinadas épocas do ano.

Ademais, eventos climáticos extremos, tal qual as devastadoras inundações vistas recentemente no Rio Grande do Sul (2024) e em Juiz de Fora e Ubá, Minas Gerais (2026), as quais ceifaram centenas de vidas, deixaram milhares de desabrigados e geraram incalculáveis perdas econômicas, materiais e afetivas, podem se tornar dezenas de vezes mais frequentes e mais intensos nas próximas décadas, caso os alertas sobre a potencialmente catastrófica crise climática não sejam efetivamente considerados, por tomadores de decisão, empresários e sociedade civil organizada.

Fazendo um paralelo com a realidade da região amazônica, é importante frisar que estamos nos referindo a um território vulnerável à crise climática, em razão dos elevados índices de desigualdade e pobreza, violência e conhecidos problemas sobre saúde ou insegurança alimentar e hídrica. Estas condições tendem a se agravar na vigência de eventos climáticos extremos, especialmente grandes inundações e severas secas como a de outubro de 2023 e a de 2024 na bacia amazônica. Neste último acontecimento, inclusive, foram registrados os menores níveis fluviais, ao longo de 122 anos de medição no Rio Negro, em Manaus-AM, resultando em



consequências negativas diretas sobre os distintos ecossistemas e sobre a vida de populações rurais e urbanas, especialmente indígenas e ribeirinhos.

Neste sentido, a crise climática pode agravar a poluição por mercúrio por pelo menos três (3) caminhos. O primeiro seria mediante o degelo do Permafrost, na medida em que o derretimento de solos congelados no Ártico, tenderia a liberar estoques massivos de mercúrio aprisionados há milênios, despejando-os em rios e oceanos. O segundo seria mediante o aumento da toxicidade do mercúrio, pois temperaturas mais elevadas e mudanças nos padrões de precipitação tenderiam a acelerar a sua transformação físico-química em sua forma mais tóxica, o metilmercúrio, repercutindo sobre o aumento dos níveis de metilmercúrio em peixes e, consequentemente, em populações humanas.

O terceiro, por sua vez, seria a remobilização do mercúrio naturalmente presente nos solos e na biomassa vegetal, uma vez que o aumento dos incêndios florestais, tenderia a remobilizar o mercúrio armazenado nessas fontes para a atmosfera e corpos d'água, tornando o enfretamento do problema ainda mais desafiador em contexto amazônico, pois ainda haveria outras fontes antropogênicas altamente poluentes, como o garimpo ilegal de ouro.

Perguntas e respostas mais comuns (debate e chuva de ideias):

Onde o mercúrio pode ser encontrado?



Uma vez mobilizado, por quanto tempo pode o mercúrio permanecer no ambiente?



O mercúrio é igualmente ameaçador quando está no solo ou nos peixes?



Em território indígena, quais vias de exposição ao mercúrio poderiam predominar?



Há uma relação entre mercúrio e crise climática?



Bibliografia de referência da Seção 2:



BASTOS, Wanderley R. *et al.* Dynamics of Hg and MeHg in the Madeira River basin (Western Amazon) before and after impoundment of a run-of-river hydroelectric dam. **Environmental Research**, [s. l.], v. 189, p. 109896, out. 2020.

BISINOTI, Márcia Cristina; JARDIM, Wilson F. O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente. **Química Nova**, [s. l.], v. 27, n. 4, ago. 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422004000400014&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 2 mar. 2026.

BORRELLI, Pasquale *et al.* Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 117, n. 36, p. 21994–22001, 8 set. 2020.

BOSE-O'REILLY, Stephan; STECKLING, Nadine; NOWAK, Dennis. P130 Health hazards of artisanal and small-scale gold mining. **Global Occupational Health**. In: OCCUPATIONAL HEALTH: THINK GLOBALLY, ACT LOCALLY, EPICOH 2016, SEPTEMBER 4–7, 2016, BARCELONA, SPAIN, set. 2016. p. A163.2–A163. Disponível em: <https://oem.bmj.com/lookup/doi/10.1136/oemed-2016-103951.447>. Acesso em: 2 mar. 2026.

CALVIN, Katherine *et al.* **IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.** [S. l.]: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 25 jul. 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 3 mar. 2026.

CHENG, Yingchao *et al.* A review of gold production, mercury consumption, and emission in artisanal and small-scale gold mining (ASGM). **Resources Policy**, [s. l.], v. 81, p. 103370, mar. 2023.

CRESPO-LOPEZ, Maria Elena *et al.* Environmental pollution challenges public health surveillance: the case of mercury exposure and intoxication in Brazil. **The Lancet Regional Health - Americas**, [s. l.], v. 39, p. 100880, nov. 2024.

FLEISCHMANN, Ayan *et al.* Unprecedented social-ecological impacts of the 2023 extreme drought in the central Amazon. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 41239, 21 nov. 2025.

GERSON, Jacqueline R. *et al.* Amazon forests capture high levels of atmospheric mercury pollution from artisanal gold mining. **Nature Communications**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 559, 28 jan. 2022.

KEANE, Susan *et al.* Mercury and artisanal and small-scale gold mining: Review of global use estimates and considerations for promoting mercury-free alternatives. **Ambio**, [s. l.], v. 52, n. 5, p. 833–852, maio 2023.

LACERDA, Luiz Drude De; SANTOS, Angelo Francisco Dos; MARINS, Rozane Valente. Emissão de mercúrio para a atmosfera pela queima de gás natural no Brasil. **Química Nova**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 366–369, abr. 2007.

PROJETO MAPBIOMAS – **Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2022** – Coleção 8, 2023. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/MapBiomass-FACT_Mineraçao_21.09.pdf

MOULATLET, Gabriel M. *et al.* A systematic review on metal contamination due to mining activities in the Amazon basin and associated environmental hazards. *Chemosphere*, [s. l.], v. 339, p. 139700, out. 2023.

ORELLANA Jesem D. Y., BARRETO João. P., SAÚDE E MEDICINAS: PRECARIZAÇÃO SANITÁRIA AMEAÇA AMAZÔNIA. In: **Atlas da Amazônia: fatos, dados e saberes da maior floresta tropical do mundo**. [S. l.]: Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll, 2025 p. 54–55. Disponível em: https://br.boell.org/sites/default/files/2025-10/250924-atlas-da-amazonia-brasileira-segunda-edicao_0.pdf. Acesso em: 2 mar. 2026.

PAVITHRA, K. Grace *et al.* Mercury sources, contaminations, mercury cycle, detection and treatment techniques: A review. **Chemosphere**, [s. l.], v. 312, p. 137314, jan. 2023.

PEREIRA, Leila; PUCCI, Rafael. A tale of gold and blood: The consequences of market deregulation on local violence. **Journal of Public Economics**, [s. l.], v. 253, p. 105559, jan. 2026.

RICHTER, Larissa *et al.* Impact of forest fire on the mercury stable isotope composition in litter and soil in the Amazon. **Chemosphere**, [s. l.], v. 339, p. 139779, out. 2023.

SECCATORE, Jacopo *et al.* An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 496, p. 662–667, out. 2014.

SECRETARIAT OF THE MINAMATA CONVENTION ON MERCURY. **Mercury monitoring in and around artisanal and small-scale gold mining sites** – A Technical Background Document. Scientific and Technical Series, Vol. 4. Geneva: Secretariat of the Minamata Convention on Mercury, 86 pp. 2025. Disponível em: https://minamataconvention.org/sites/default/files/documents/2025-02/Mercury_Monitoring_ASGM_Sites-Technical_Document.pdf

SILVA, Alexandre Pessoa da; CETEM (CENTER) (Org.). **Emissões de mercúrio na queima de amálgama: estudo da contaminação de ar, solos e poeira em domicílios de Poconé, MT**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: MCT, CNPq, CETEM, 1996(Tecnologia ambiental, 13).

STECKLING, Nadine *et al.* Global Burden of Disease of Mercury Used in Artisanal Small-Scale Gold Mining. **Annals of Global Health**, [s. l.], v. 83, n. 2, p. 234, 12 jun. 2017.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. **Global Mercury Assessment 2018**. Geneva, Switzerland: UNEP Chemicals and Health Branch, 62 pp. 2019. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/publication/global-mercury-assessment-2018?ga=2.99282590.1221833470.1642003052-1366640060.1594627418>



VELÁSQUEZ RAMÍREZ, Manuel Gabriel et al. Mercury in soils impacted by alluvial gold mining in the Peruvian Amazon. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 288, p. 112364, jun. 2021.

WASSERMAN, Júlio C., HACON, Sandra S., & WASSERMAN, Maria A. O ciclo do mercúrio no ambiente amazônico. **Mundo & vida**, [s. l.], v. 2(1/2), 46-53. 2001.

Fonte Figura 3:

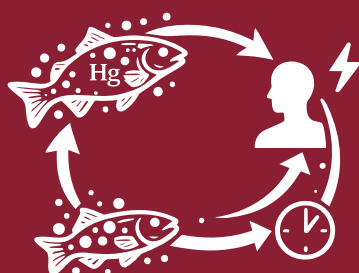
Adaptado/traduzido do espanhol para o português, a partir de: Pisconte, J. N., Vega, C. M., Torres, M. I., Salcedo, K.D. & Fernandez, L. E. (2024). Contaminación por mercurio de la minería de oro artesanal y en pequeña escala (MAPE) en Madre de Dios, Perú: Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA) y Fundación para la Conservación y Desarrollo Sostenible (FCDS). Disponível em: <https://cincia.org/wp-content/uploads/Reportes-Madre-de-Dios-Contaminacion-por-MAPE.pdf>

Fontes Figura 4:

<https://www.metropoles.com/brasil/garimpo-nao-acaba-com-desmobilizacao-no-rio-madeira-so-se-espalha>
<https://reporterbrasil.org.br/2021/10/operacao-vaza-e-garimpeiros-escondem-maquinas-na-floresta-para-fugir-da-fiscalizacao/>

SEÇÃO 3

Exposição aguda e crônica ao mercúrio na Amazônia



CONCEITOS CHAVE:

Intoxicação aguda

Resulta da capacidade de dado toxicante químico produzir efeito danoso, depois de ter interagido com um organismo por curto período. Pode envolver uma ou diversas exposições, com o efeito agudo manifestando-se em termos de sinais e/ou sintomas nos primeiros dias após a exposição, geralmente menos que duas (2) semanas.

Intoxicação crônica

Resulta da capacidade de dado toxicante químico produzir efeito danoso, mas depois de ter interagido com um organismo por longo período e em pequenas doses de exposição. Portanto, a exposição é limitada o suficiente para que nenhum efeito agudo se manifeste, sendo a janela temporal deste tipo de exposição, normalmente, parte significativa da expectativa de vida esperada do organismo. Seriam exemplos extremos da toxicidade crônica, a carcinogênese, bem como efeitos reprodutivos e comportamentais.

Meia-vida de uma substância

É o tempo necessário para que a concentração inicial de certa substância comece a cair pela metade.

É bem conhecido que o mercúrio pode se apresentar de três (3) formas diferentes na natureza, a metálica ou elementar, bem como os formatos que remetem aos seus compostos inorgânicos e orgânicos. Também sabemos que estamos nos referindo a um toxicante de ocorrência natural no planeta e que, portanto, não pode ser fabricado pelo homem ou destruído. Em outras palavras, o metal pode apenas mudar sua forma química nos diferentes compartimentos do ambiente (solo, água e ar), em um permanente processo de ciclagem do mercúrio, fortemente afetado por processos antropogênicos.

Embora milhares de toneladas de mercúrio sejam liberadas na atmosfera a cada ano, seja por processos naturais ou ocasionados por ação humana, sabemos que o garimpo de ouro é a maior fonte de poluição por mercúrio na Terra, o que torna esse tipo de atividade antrópica uma séria ameaça ao meio ambiente, incluindo



os humanos, sobretudo populações vulneráveis como indígenas e ribeirinhos, particularmente fetos, recém-nascidos e mulheres em idade reprodutiva, como gestantes e lactantes (mulheres que estão amamentando).

Os efeitos da exposição humana ao mercúrio sobre a saúde humana dependem de vários fatores, incluindo a forma química do toxicante (elementar, inorgânica ou orgânica), a via de exposição (inalação, ingestão ou contato dérmico), o nível de exposição (aguda ou crônica), de características contextuais (hidro-bio-geoquímicas, culturais, alimentares e econômico-industriais, p.e.) e individuais como sexo, idade ou mesmo predisposição genética, o que pode tornar o indivíduo mais ou menos vulnerável aos efeitos negativos do mercúrio.

A maioria das pessoas está exposta a compostos orgânicos de mercúrio (metilmercúrio) presentes nos alimentos (como peixes, frutos do mar e arroz) e a maior parte não está exposta a sais inorgânicos de mercúrio. Além disso, de forma geral, a eliminação do mercúrio do corpo humano acontece pela urina, fezes, cabelos, saliva, unhas, suor e pelo ar expirado, não havendo provas robustas de que o toxicante seja totalmente eliminado do organismo, sobretudo em se tratando da sua versão mais tóxica, o metilmercúrio.

No geral, em caso de exposição aguda ao vapor de mercúrio ou mesmo a sais mercúricos, a simples remoção da fonte, pode livrar a vítima de repercussões irreversíveis e com alto grau de sucesso, em boa parte das vezes. Por outro lado, exposições prolongadas e em pequenas concentrações de metilmercúrio, como a do peixe contaminado, especialmente peixes carnívoros ou de maior nível trófico, a manifestação dos sintomas tarda a aparecer, mas persiste mesmo após a completa remoção da fonte de exposição.

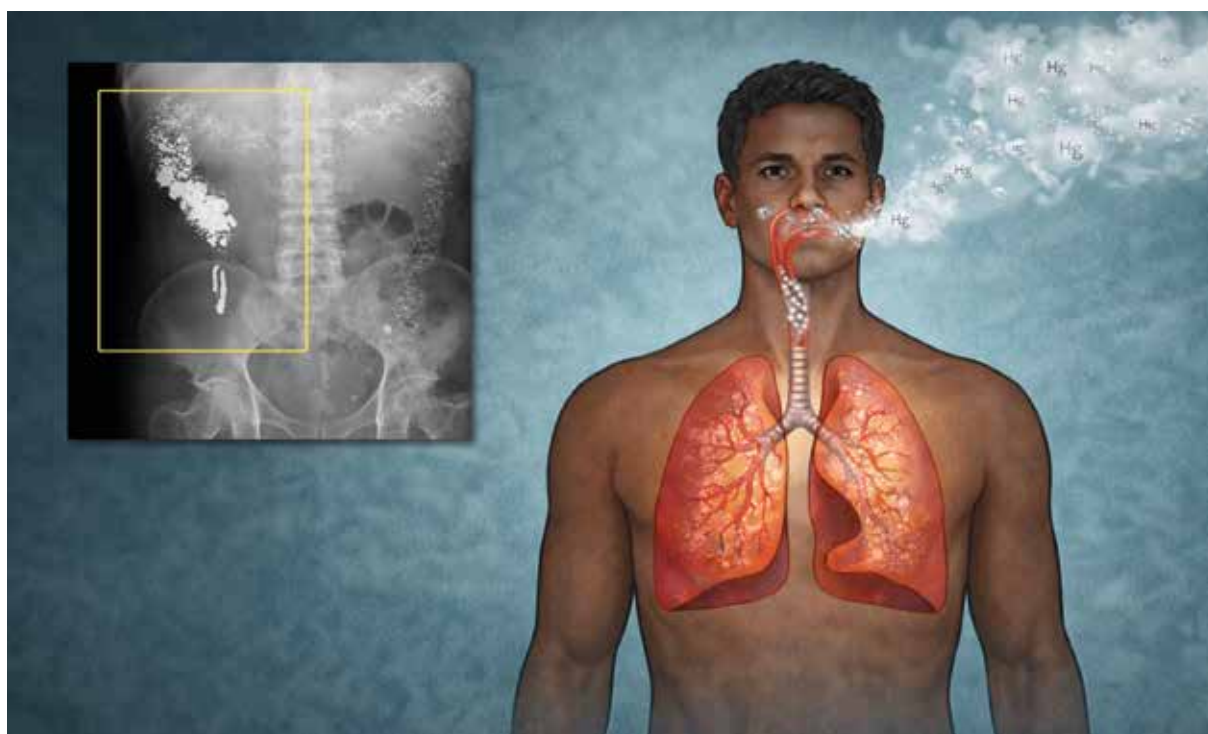
A toxicocinética do mercúrio líquido (elementar) no corpo humano pode ser variável, pois caso um indivíduo engula acidentalmente o toxicante, pouco ou quase nenhum mercúrio será absorvido pelo trato gastrointestinal. Já os sais de mercúrio, em caso de ingestão, cerca de 7 a 15% é, usualmente, absorvido pelo trato gastrointestinal, depositando-se em órgãos vitais como rins e fígado, com meia-vida de cerca de 40 dias no corpo humano e excreção por cabelo, urina e fezes.

A exposição aguda ao mercúrio líquido (elementar) ou aos sais de mercúrio solúveis, como o cloreto mercúrico, geralmente, resulta da ingestão acidental ou em casos de suicídio tentado ou consumado, respectivamente (Figura 5). Em caso de inalação do mercúrio líquido (elementar), ele é rapidamente absorvido nos pulmões, com taxa de retenção próxima a 80% e, após cair na corrente sanguínea, espalha-se mais rapidamente pelo corpo que os sais de mercúrio inorgânicos. Exposições agudas em altas concentrações de vapor de mercúrio (garimpeiros e queimadores de amálgama) podem resultar em danos à boca, ao trato respiratório e aos pulmões e, em situações excepcionais, pode levar à morte por insuficiência respiratória, em



função da sua complexa toxicodinâmica no corpo humano. Já a exposição inalatória crônica (baixas concentrações e comum em atividades industriais), pode culminar em sintomas semelhantes aos da exposição ao metilmercúrio. Como a maior parte do mercúrio metálico é eliminada do corpo pela urina, o exame de urina para detectar mercúrio é a melhor maneira de verificar a exposição.

Figura 5



Raio-X abdominal com áreas opacas na região abdominal, em paciente com intoxicação aguda por mercúrio líquido (elementar), em deliberada tentativa de suicídio.

No caso da exposição aguda aos sais de mercúrio solúveis, o quadro clínico pode incluir inflamação grave do trato digestivo, cólicas abdominais, náuseas, vômitos e diarreia com sangue, normalmente, poucas horas depois da sua ingestão. Em seguida, o toxificante se concentra nos rins, levando a redução do volume de urina (oliguria) e, depois, à sua completa cessação (anúria), causando o acúmulo de substâncias tóxicas no sangue (uremia) e morte, em casos severos.

A exposição crônica, via inalação ocupacional de vapores de mercúrio, poeira, compostos orgânicos voláteis ou mesmo da absorção cutânea de vários sais de mercúrio, de forma geral, pode resultar em sintomas como gosto metálico na boca, produção excessiva de saliva, inflamação das mucosas da boca, amolecimento dos dentes, formação de uma linha azul na gengiva, dormência e tremores nas extremidades, além de perda de peso e apetite ou alterações mentais e de personalidade, marcadas por irritabilidade extrema, alucinações e tendência ao isolamento.

Assim como outros metais tóxicos, incluindo o chumbo, a exposição humana ao mercúrio pode ocorrer por inalação (Figura 6), ingestão ou contato dérmico e há várias formas de exposição humana ao toxicante, as quais iremos explorar a seguir. O mercúrio não orgânico, por exemplo, costuma estar presente em produtos domésticos, incluindo cosméticos para o clareamento da pele, assim como em distintos processos industriais (usinas termelétricas com queima de carvão e gás natural, indústria de metais como cimento, corantes, tintas, aço e ferro, p.e.) e médicos (restaurações dentárias, baterias de aparelhos auditivos, lâmpadas fluorescentes, termômetros de vidro para uso clínico e alguns aparelhos de aferição da pressão arterial, p.e.). Salienta-se que o mercúrio líquido (elementar) contido no interior desses dispositivos médicos, normalmente, não implica em risco imediato à saúde, exceto em caso de exteriorização do seu conteúdo, seja acidental ou não.

Figura 6



Representação de exposição humana ao vapor de mercúrio pela via respiratória, podendo ser aguda em caso de curta exposição (um dia p.e.) ou crônica quando se prolonga (anos ou boa parte da vida).

Já em relação às atividades industriais, a exposição a vapores de mercúrio metálico costuma ocorrer em razão da sua dispersão na atmosfera, principalmente quando essa fonte libera o toxicante em elevadas concentrações. Neste caso, incineradores de resíduos e usinas termelétricas que queimam combustíveis fósseis (carvão ou gás natural), liberam substanciais quantidades de mercúrio no ambiente, contaminando fontes de água para consumo humano, o solo, os peixes e, principalmente, os trabalhadores envolvidos.



Embora essas atividades industriais não sejam comuns na Amazônia, convém mencionar que, em razão da propriedade indestrutível do mercúrio e do seu complexo ciclo biogeoquímico na terra, ele pode ser mobilizado não apenas a centenas de metros no entorno dessas indústrias, mas também para os oceanos e para a atmosfera, viajando milhares de quilômetros de um continente para o outro. É possível ilustrar esse fenômeno, mediante o exemplo do percurso de, aproximadamente, cinco (5) mil quilômetros feito pela poeira do deserto do Saara da África para a Amazônia, em três (3) ocasiões, somente em 2025, transportando minerais essenciais como o fósforo, o potássio e o cálcio, os quais servem para nutrir a floresta amazônica e não são prejudiciais à saúde humana, em particular ao sistema respiratório.

Todavia, a amálgama dentária, uma liga metálica usada em restaurações odontológicas, composta por aproximadamente 50% de mercúrio, 30% de prata, além de estanho e cobre, segue sendo motivo de preocupação socioambiental e sanitária, apesar de, na atualidade, estar praticamente em desuso no Brasil, pois em 2025 menos de 2% das restaurações odontológicas pareciam estar sendo efetuados com a referida liga.

Diversos estudos, comparando pacientes tratados com liga de amálgama e pacientes tratados com resina, mostraram não haver diferença substancial para uma série de desfechos de saúde, especialmente àqueles relacionados a sintomas neurológicos, função neuropsicológica ou renal, evidenciando, portanto, que o risco de contaminação que essa liga oferece aos pacientes seja insignificante. No entanto, apesar do baixo ou nulo risco desse tipo de prática para os pacientes, convém destacar que a sua manipulação em consultórios odontológicos foi associada a exposição em trabalhadores envolvidos com essa modalidade assistencial, principalmente assistentes, técnicos e cirurgiões-dentistas, bem como a danos ao meio ambiente, pois o seu inadequado descarte implica em contaminação ambiental evitável.

Não foi por acaso que, em janeiro de 2019, o Brasil proibiu a fabricação, a importação e a comercialização, em todo o território nacional, do mercúrio e do pó deste toxicante, usado para formar a liga de amálgama não encapsulada. Por sua vez, em dezembro de 2025, a Comissão de Saúde da Câmara dos Deputados aprovou, um Projeto de Lei (PL) de autoria da Deputada Federal Ana Paula Lima (PT-SC), que proíbe o uso odontológico de amálgamas de mercúrio em grupos considerados de risco, além de obrigar clínicas e consultórios a eliminarem esse toxicante desses ambientes laborais até 2030.

Outro exemplo de fonte de exposição humana ao mercúrio, diz respeito às lâmpadas fluorescentes, embora atividades laborais envolvendo a fabricação desses dispositivos não sejam comuns na Amazônia e sim no setor industrial do sudeste do país. Neste sentido, não podemos ignorar os riscos ocupacionais que este tipo de atividade implica, pois no interior desses dispositivos há mercúrio líquido que

costuma expor e contaminar trabalhadores, a depender da função exercida, do tempo e tipo de exposição, bem como do setor em que a atividade é desenvolvida. Ademais, o descarte inadequado de lâmpadas fluorescentes no ambiente não fabril, principalmente em lixões a céu aberto que não são adequadamente gerenciados pelo município, comuns na região amazônica, tem o potencial de geração de rejeitos contendo mercúrio que contaminam o solo, o lençol freático e, consequentemente, humanos.

Apesar da tragédia de Minamata no Japão, em meados do século XX, inexistem registros com esse nível de impacto em termos de adoecimento e morte em outras regiões do planeta. No Brasil, até março de 2026, não havia registro oficial de casos e, menos ainda, de óbito pela Doença de Minamata, o que não descarta a existência pregressa da doença, apesar de pouco provável. Cenário semelhante se observa para possíveis mortes decorrentes da exposição aguda ao vapor de mercúrio na Amazônia, especialmente em atividades de garimpo de ouro. Isto porque, estes cenários laborais, são marcados pela informalidade, ilegalidade e desassistência médica, especialmente para casos graves que demandam a realização de exames altamente especializados, bem como encaminhamento para especialidades incomuns na região, como neurologistas ou mesmo robustos centros especializados em fisioterapia e reabilitação.

Ainda assim, os mais conhecidos episódios de intoxicação aguda coletiva no país, remetem a acontecimentos ocorridos em dois (2) municípios do interior do estado de São Paulo. O primeiro se deu pelo provável descarte inadequado de mercúrio líquido (elementar), em 2010, na cidade de Rosana-SP. Na ocasião, foram identificados 106 casos suspeitos à exposição ou potencialmente expostos ao Mercúrio metálico, dentre os quais, seis (6) foram confirmados como intoxicação por Mercúrio, incluindo duas (2) crianças menores de cinco (5) anos que necessitaram de internação e tratamento. Portanto, a provável via de exposição parece ter sido a respiratória e de forma acidental, já que o mercúrio líquido (elementar) tende a volatilizar ou evaporar em temperatura ambiente.

O segundo e mais grave episódio, ocorreu em julho de 2020, na cidade de Santa Bárbara d'Oeste, na Região Metropolitana de Campinas-SP. Na ocasião, 46 pessoas foram acidental e comprovadamente expostas, todas com histórico de severa exposição inalatória a mercúrio elementar, em contexto intradomiciliar. O produto parecia remeter a um estoque antigo da indústria têxtil, irregularmente descartado e tido como o de maior magnitude já documentado em território nacional, em relação à intoxicação aguda, pois afetou dezenas de pessoas ao mesmo tempo.

Apesar dos exemplos anteriores, destacando as diferentes vias de entrada e caminhos percorridos pelas distintas formas mercuriais em humanos, em relação ao metilmercúrio, a sua mais significativa porta de entrada na população geral de amazônidas, em particular de garimpeiros, indígenas e ribeirinhos, parece ser pelo



trato gastrointestinal. A via alimentar, proporciona a distribuição do toxicante por praticamente todo o corpo, acumulando-se, sobretudo, no tecido cerebral, com um tempo de meia-vida no corpo humano de 45 a 70 dias e sendo majoritariamente excretado pelas fezes.

Ademais, o metilmercúrio, um toxicante sabidamente neurotóxico, tem comprovada capacidade de atravessar a barreira placentária e de ser excretado pelo leite materno, contaminando fetos e lactentes. Em certas circunstâncias, o metilmercúrio pode se concentrar no cérebro fetal, em um patamar ao menos cinco ou sete vezes superior, em comparação à sua concentração no sangue materno. Por este motivo, a *Food and Drug Administration* (FDA) e a *Environmental Protection Agency* (EPA) dos EUA, recomendam às nutrizes que amamentem seus filhos, mas evitando certos tipos de peixe e frutos do mar, dando preferência para àqueles com menor teor de mercúrio.

Em relação as formas orgânicas do mercúrio, há que se considerar que a metabolização e excreção do etilmercúrio pelo corpo humano é mais rápida, em comparação ao metilmercúrio. Portanto, o etilmercúrio (o tipo de mercúrio contido no timerosal – conservante de vacinas multidoses), está menos propenso a se acumular no corpo e, conseqüente, a apresentar menos repercussões fisiopatológicas negativas. Diferente do que se observa na exposição crônica ao metilmercúrio, associada a duradouros efeitos neuropsicomotores, sem cura e que, em casos extremos, podem levar a morbidade altamente incapacitante ou até mesmo ao óbito.

Assim como o chumbo, a exposição ao mercúrio pode ocorrer por inalação, ingestão ou contato dérmico. Os diferentes tipos de mercúrio podem ser absorvidos de maneiras distintas. O metilmercúrio é facilmente absorvido pelo trato gastrointestinal, pois cerca de 95% do metilmercúrio do peixe é absorvido no trato gastrointestinal, sendo distribuído para todos os tecidos em cerca de 30 horas. Cerca de 10% do metilmercúrio absorvido é distribuído para o cérebro, 5% permanecem no sangue e o restante pode ser distribuído para outros sistemas do corpo.

O consumo de peixes contaminados com metilmercúrio entre indígenas de diferentes etnias e territórios, parece uma realidade bem documentada na Amazônia brasileira e fora do país, apesar de estar longe de ser uma regra. No entanto, é crucial ter em conta que esses mesmos peixes também levam em sua composição proteínas, ácidos graxos como ômega-3, cálcio, minerais como o iodo e o selênio, vitamina D, bem como aminoácidos essenciais. Ademais, há anos, aconselhamentos nutricionais em terra indígena têm associado o consumo do pescado a uma dieta saudável, figurando como uma alternativa em períodos de escassez de carne de caça ou mesmo para fazer frente ao crescente aumento de alimentos processados e ultraprocessados ou ao conhecido problema da fome e da insegurança alimentares nesses territórios.

Outro aspecto a ser considerado, diz respeito a uma preocupação exclusiva com peixes, ainda que focando em carnívoros, pois estudos realizados na Amazônia brasileira e fora dela, incluindo Terras Indígenas, têm mostrado que a contaminação por mercúrio também é uma realidade em algumas aves, reptéis, lontras e onças, evidenciando a extensão do problema e a necessidade de um olhar estratégico e sensível ao desafiador cenário.

Portanto, parece prudente atentar, não apenas para os aspectos benéficos no consumo de peixe, mas também para potenciais perigos relacionados com a redução do seu consumo, como parece estar acontecendo entre as novas gerações de amazônidas e, também, entre gestantes pertencentes a coorte da República Seychelles, ao passo que se observou o preocupante aumento do consumo de alimentos aderentes a dietas mais ocidentalizadas, ricas em gordura. Neste caso, como há importantes problemas relacionados à segurança alimentar em populações indígenas, restrições pouco problematizadas que visem a eliminação do peixe da dieta, ignorando cruciais aspectos culturais e de disponibilidade dos pescados no território, tendem a agravar a situação de vulnerabilidade desses povos, especialmente mulheres gestantes e crianças menores de dois (2) anos.

É necessário, portanto, diálogo em busca de substituições na dieta de peixes carnívoros (pirarucu, tucunaré, dourada, filhote e piranha, p.e.), dando espaço para peixes herbívoros ou não carnívoros, como o pacu, o aracu e o tambaqui. Também é necessário avaliar questões relacionadas à sazonalidade, pois há estudos no Rio Tapajós mostrando que, em determinados contextos, peixes como a pescada amazônica mantêm níveis bem acima do recomendado pela *Environmental Protection Agency* (EPA) de 0,5 mg/kg, independente da estação ser chuvosa ou não. Já peixes como o conhecido e apreciado Tucunaré, somente na estação seca ou de estiagem.

Estudo realizado no Município de Benjamin Constant, Região do Alto Solimões no Amazonas e que faz parte da “Tríplice Fronteira Amazônica” (Brasil, Colômbia e Peru), já mostrou que peixes avaliados no período de cheias, tenderam a apresentar maior concentração de mercúrio no tecido muscular, sobretudo no fígado. Ademais, peixes como a traíra, um conhecido carnívoro na região, estavam como os níveis de mercúrio acima do limite de segurança no período da cheia, evidenciando que a exposição humana ao toxicante mediante o consumo de peixe costuma variar ao longo do ano.

Finalmente, outro aspecto a ser desconsiderado em relação ao consumo de peixe na Amazônia, remete a sua relação com o tipo de corpo d’água acessado à sua captura. Estudos desenvolvidos no Rio Madeira, em geral, sugerem elevadas concentrações de metilmercúrio nos peixes capturados em Lagos, bem como porcentagem de metilação do mercúrio cerca de quatro (4) vezes maior nos afluentes do que no próprio Rio Madeira, apontando para a persistência de fatores naturais (hidro-bio-geoquímicos) relevantes, a depender do contexto.



Perguntas e respostas mais comuns (debate e chuva de ideias):

Quais são as principais diferenças entre exposição aguda e crônica ao mercúrio? Uma vez mobilizado, por quanto tempo pode o mercúrio permanecer no ambiente?



Por que a mais perigosa via de exposição ao mercúrio na Amazônia é a alimentar? De que maneiras posso ficar exposto ao mercúrio, em contexto indígena?



Pode um peixe de lago ter mais metilmercúrio do que um peixe pescado em um pequeno Igarapé mais afastado da aldeia e durante a estação seca?



Como você aconselharia uma gestante indígena com três filhos, que tem o peixe como principal fonte proteica da família em relação ao seu consumo?



Você acredita que um programa de biomonitoramento de peixes, incluindo medições de mercúrio, em uma região cercada por plantações de soja e tomada pelo garimpo ilegal seria útil para uma comunidade indígena? Justifique.

Bibliografia de referência da Seção 3:



BASTOS, Wanderley R. et al. Dynamics of Hg and MeHg in the Madeira River basin (Western Amazon) before and after impoundment of a run-of-river hydroelectric dam. **Environmental Research**, [s. l.], v. 189, p. 109896, out. 2020.

BONHAM, Maxine P et al. Contribution of fish to intakes of micronutrients important for fetal development: a dietary survey of pregnant women in the Republic of Seychelles. **Public Health Nutrition**, [s. l.], v. 12, n. 9, p. 1312–1320, set. 2009.

BOSE-O'REILLY, Stephan et al. Signs and symptoms of mercury-exposed gold miners. **International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health**, [s. l.], 22 mar. 2017. Disponível em: <http://www.journalssystem.com/ijomeh/Signs-and-symptoms-of-mercury-exposed-gold-miners,61808,0,2.html>. Acesso em: 8 mar. 2026.

CLARKSON, Thomas W.; MAGOS, Laszlo; MYERS, Gary J. The Toxicology of Mercury — Current Exposures and Clinical Manifestations. **New England Journal of Medicine**, [s. l.], v. 349, n. 18, p. 1731–1737, 30 out. 2003.

CLARKSON, Thomas W.; VYAS, Jayesh B.; BALLATORI, Nazzareno. Mechanisms of mercury disposition in the body. **American Journal of Industrial Medicine**, [s. l.], v. 50, n. 10, p. 757–764, out. 2007.

DE., Oliveira D.F et al. Risk Assessment to the Health of Amazonian Indigenous For the Consumption of Fish, Meat of Hunts and Vegetables Containing Metylmercury. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, [s. l.], v. 5, n. 9, p. 194–208, 2018.

DEMELASH ABERA, Biresaw; ALEFE ADIMAS, Mekuannt. Health benefits and health risks of contaminated fish consumption: Current research outputs, research approaches, and perspectives. **Heliyon**, [s. l.], v. 10, n. 13, p. e33905, jul. 2024.

DOUINE, Maylis et al. A cross-sectional study assessing mercury exposure and poisoning among workers in informal gold mines in French Guiana. **BMJ Open**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. e094535, abr. 2025.

EKINO, Shigeo et al. Minamata disease revisited: An update on the acute and chronic manifestations of methyl mercury poisoning. **Journal of the Neurological Sciences**, [s. l.], v. 262, n. 1–2, p. 131–144, nov. 2007.

GINSBERG, Gary L.; TOAL, Brian F. Development of a Single-Meal Fish Consumption Advisory. for Methyl Mercury. **Risk Analysis**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 41–48, fev. 2000.

GUTLEB, Arno Christian; SCHENCK, Christof; STAIB, Elke. Giant otter (*Pteromnura brasiliensis*) at risk? Total mercury and methylmercury levels in fish from the Department Madre de Dios, Peru. **Ambio**, [s. l.], v. 26, p. 511–514, 1997.

HACON, Sandra De Souza et al. Mercury Exposure through Fish Consumption in Traditional Communities in the Brazilian Northern Amazon. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 17, n. 15, p. 5269, 22 jul. 2020.



JOINT FAO/WHO EXPERT CONSULTATION ON THE RISKS AND BENEFITS OF FISH CONSUMPTION. [S. l.]: FAO; WHO, 2024. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd2394en>. Acesso em: 8 mar. 2026.

MELLO DE CAPITANI, Eduardo et al. Intoxicação coletiva por mercúrio elementar: investigação e ações de controle ambiental e tratamento.: Intoxicação aguda coletiva por mercúrio elementar. **BEPA. Boletim Epidemiológico Paulista**, [s. l.], v. 22, p. e41654, 20 out. 2025.

MORAES, Aline Oliveira Dos Santos et al. Food profile of Yanomami indigenous children aged 6 to 59 months from the Brazilian Amazon, according to the degree of food processing: a cross-sectional study. **Public Health Nutrition**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 208–218, jan. 2023.

OLIVEIRA, Ricardo Bezerra De et al. Fish consumption habits of pregnant women in Itaituba, Tapajós River basin, Brazil: risks of mercury contamination as assessed by measuring total mercury in highly consumed piscivore fish species and in hair of pregnant women. **Archives of Industrial Hygiene and Toxicology**, [s. l.], v. 73, n. 2, p. 131–142, 7 jul. 2022.

PHILIBERT, Aline et al. The evolution of symptoms of nervous system dysfunction in a First Nation community with a history of mercury exposure: a longitudinal study. **Environmental Health**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 50, 2024.

SILVA, Stephani Ferreira Da et al. Seasonal variation of mercury in commercial fishes of the Amazon Triple Frontier, Western Amazon Basin. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 106, p. 105549, nov. 2019.

VASCONCELLOS, Ana Claudia Santiago de et al. Health risk assessment of mercury exposure from fish consumption in Mundurucu indigenous communities in the Brazilian Amazon. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 18, n. 15, p. 7940, 2021.

WORTHINGTON, Helen V. et al. Direct composite resin fillings versus amalgam fillings for permanent posterior teeth. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, [s. l.], n. 8, 2021.

YAGINUMA-SAKURAI, Kozue et al. Hair-to-blood ratio and biological half-life of mercury: experimental study of methylmercury exposure through fish consumption in humans. **The Journal of toxicological sciences**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 123–130, 2012.

YORIFUJI, T; TSUDA, T. Minamata. **Encyclopedia of Toxicology**. [S. l.]: Elsevier, 2014. p. 340–344. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123864543000385>. Acesso em: 8 mar. 2026.

Fonte Figura 5:

CONWAY, Nerys; ELZUBIER, Mohamed; WOODFIELD, Bethan. Assessment and management of mercury poisoning with an unusual abdominal x-ray! **BMJ Case Reports**, [s. l.], vol. 2012, p. bcr2012007420, 19 Oct. 2012.

Fonte Figura 6:

Adaptação da imagem de Bruno Kelly/Amazônia Real. Disponível em: <https://amazoniareal.com.br/especiais/ouro-rio-madeira/>

SEÇÃO 4

Principais ameaças e riscos do mercúrio à saúde humana



CONCEITOS CHAVE:

Toxicocinética

A toxicocinética é um ramo da toxicologia que avalia o deslocamento ou caminho que os toxicantes químicos seguem no organismo, valorizando aspectos como absorção, distribuição, armazenamento e excreção, essenciais para o entendimento de como os toxicantes entram e em que ritmo saem do organismo, permitindo entender a biodisponibilidade dessas substâncias no corpo humano, por exemplo.

Toxicodinâmica

A toxicodinâmica é um ramo da toxicologia que avalia a interação entre o toxicante químico e os locais de ação deles no organismo (órgãos ou tecidos como o cérebro ou rins, p.e.), incluindo moléculas-alvo como receptores, enzimas, DNA, associadas a efeitos biológicos, sejam moleculares, desarranjos celulares (restritos) e sistêmicos (amplos) ou mesmo a morte, em casos extremos, auxiliando a diferenciar efeitos agudos (rápido, alta dose) de crônicos (lento, baixa dose).

Na seção anterior, buscamos discutir nuances relacionadas à exposição aguda e crônica associada ao toxicante mercúrio, destacando as formas como suas diferentes apresentações químicas podem adentrar ao corpo humano e seu percurso (toxicocinética), bem como as principais circunstâncias envolvidas, incluindo acidentes ou exposição em contexto laboral. Nesta seção, entretanto, iremos articular o conhecimento das três (3) seções anteriores com uma série de descrições que visam aprimorar o nosso entendimento sobre as ameaças e riscos associados à saúde do toxicante mercúrio, uma das 10 principais substâncias químicas que mais geram preocupação em termos de saúde pública, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS).

De forma geral, apesar de não haver um claro consenso, o termo mercurialismo tem sido usado para expressar qualquer processo mórbido causado por mercúrio, apesar de o termo ter sido historicamente reservado a intoxicações relacionadas a atividades laborais em minas de cinábrio ou mesmo na indústria, mais recentemente. Por exemplo, a Doença de Minamata, uma referência explícita à cidade japonesa onde se desenvolveu a tragédia, dentro desta lógica de classificação, seria um tipo de metilmercurialismo. No entanto, nem todo mercurialismo remete à Doença de Minamata.



Há também a Acroдинia, uma condição cuja ocorrência é normalmente na infância e costuma ser chamada de Doença de Feer, Doença de Pink ou Doença de Swift, podendo resultar em sinais e sintomas como dor, descoloração rósea dos dedos (mãos e pés), inchaço, perda de força motora nas extremidades, irritabilidade extrema, hiperestesia, além de alterações no nível de consciência. Todavia, não podemos deixar de mencionar o hidrargirismo ou mercurialismo metálico crônico ocupacional (MMCO), o qual é normalmente associado, tanto na exposição aguda como a crônica, a vapores de mercúrio em contexto laboral, conferindo-lhe particularidades clínicas e de cunho toxicológico.

É consenso que a toxicidade do mercúrio em seres humanos está intimamente relacionada com a sua forma química, mas também, com a via e a intensidade da exposição, a qual pode ser aguda (pouco tempo e altas doses) ou crônica (muito tempo e baixas doses). De modo geral, em caso de exposição humana ao vapor de mercúrio, o principal órgão-alvo é o cérebro. Em relação a toxicodinâmica dos sais mercuriosos e mercurícos, parecem danificar com mais frequência o revestimento intestinal e os rins. O metilmercúrio, por sua vez, se distribui amplamente por todo o corpo, apesar da sua maior afinidade com o sistema nervoso central e periférico.

Registros históricos dão conta de intoxicações em minas de cinábrio há pelo menos dois (2) mil anos, com relevantes efeitos sobre a saúde humana, corriqueiramente associados com quadros de inquietação, depressão, falta de concentração, taquicardia e o tremor característico nas mãos, presumivelmente atrelados aos sais de mercúrio inorgânicos e ao mercúrio líquido (elementar) e seus vapores. Não havendo, desta forma, relatos sobre possíveis repercussões negativas da exposição ao toxicante pela via alimentar, até o século XIX da era cristã.

Entretanto, em meados do século XX, teve lugar o desastre de Minamata, no Japão, entre 1932 e 1968. A *Chisso Corporation* (*Chin Nihon Chisso Fertilizer Corporation*), uma importante fábrica japonesa de acetaldeído (substância necessária à produção de material plástico), descartou centenas de toneladas de efluentes industriais, praticamente sem tratamento, nas águas fluviais e marítimas da cidade de Minamata, contaminando peixes e frutos do mar com altas concentrações de metilmercúrio, a mais relevante via de exposição humana ao toxicante.

Aliás, em relação aos danos do plástico à saúde do planeta, recente revisão de literatura revelou extensa e crescente contaminação por plásticos (nano, meso e macroplásticos) na Amazônia. O estudo enfatizou seus riscos não somente em ambientes aquáticos e terrestres como seus potenciais danos à saúde humana, especialmente de populações vulneráveis como indígenas e ribeirinhos. O fato é que foi detectada uma gama de relatos sobre lixo e fragmentos de plástico em ambientes terrestres e aquáticos do bioma amazônico, o que indica um impacto muito maior do que a maioria das pessoas imagina, uma vez que esse material já foi isolado em sêmen humano, no leite materno e até mesmo nos tecidos cerebral, cardíaco e pulmonar de seres humanos, para citar alguns exemplos.



Apesar de a *Chisso Corporation* ter começado a operar em 1932, o primeiro registro de disfunção nervosa, presumivelmente associado ao metilmercúrio proveniente de peixe e frutos do mar, foi em uma criança de cinco (5) anos, em 1953. Ademais, à época, tornou-se relativamente comum aves se comportarem estranhamente pelos céus, com movimentos atípicos, até caírem mortas. Gatos também andavam cambaleantes pelas ruas e até nasciam com deformações bizarras. Aos poucos, a população de Minamata passou a apresentar sintomas como perda de visão e sérios comprometimentos na coordenação motora e muscular, ao ponto de não conseguirem segurar seus hashis (talheres tradicionais de países do Leste Asiático), sentirem-se repentina e involuntariamente desequilibradas ou até mesmo com fala arrastada.

Além disso, de forma surpreendente e inédita, observou-se um número não usual de nascimentos de crianças com danos neurológicos irreversíveis. O fato é que cinco (5) mortes foram associadas ao metilmercúrio em 1954, e mais 20 entre 1955 e 1958, 10 delas em 1956, ano em que há indícios de que essas emissões de efluentes tóxicos, parecem ter se agravado. Devido à grande mobilização popular, em 1959, a própria *Chisso Corporation* fez um experimento com gatos e descobriu que, de fato, a causa provável da doença eram mesmo os efluentes industriais despejados na Baía e no Rio Minamata. Apesar da gravidade da crise sanitária, foi somente em 1968 que o Ministério da Saúde do Japão reconheceu que a doença era causada pelo metilmercúrio produzido pela *Chisso Corporation*.

Em 1970, 17 anos depois do primeiro caso, havia 46 óbitos conhecidos, um número amplamente subnotificado. Até 30 de abril de 1997, um pouco menos de 18.000 pessoas residentes nas prefeituras de Kumamoto e Kagoshima, área mais fortemente impactada pelo desastre ambiental de Minamata, haviam solicitado certificação ao Governo japonês como vítimas da Doença de Minamata. No entanto, somente 2.265 obtiveram êxito no pleito de certificação pelo governo, dentre as quais 1.484 haviam falecido até 31 de janeiro de 2003.

Portanto, o número total de pessoas que foram afetados pela Doença de Minamata, durante o desastre que se arrastou até 1997, quando as obras de despoluição da baía foram concluídas e a pesca para consumo humano considerada segura, é certamente incerto. Ainda assim, estimativas para 2001 sugerem que cerca de dois (2) milhões de pessoas podem ter se alimentado com peixes e frutos do mar contaminados com metilmercúrio, em quantidade suficiente para terem apresentado sintomas mais leves da exposição ao toxicante, como dores de cabeça, perda de acuidade auditiva e problemas de sensibilidade para diferenciar fontes de calor.

É oportuno pontuar que, em estudo com amostra de 973 afetados da região de Minamata, em torno de 65% dos indivíduos avaliados manifestaram o primeiro sintoma de intoxicação crônica ao metilmercúrio, nos 10 anos subsequentes à interrupção do descarte de efluentes na baía de Minamata e no Rio de mesmo nome. Ademais, outros sintomas foram se proliferando com o passar dos anos, evidenciando algo crucial em relação ao efeito tardio e residual da intoxicação

crônica ao metilmercúrio em populações humanas. Portanto, significa que o fato de comer peixe contaminado com metilmercúrio por anos, não implica em ausência de risco, mas que seu efeito latente pode estar em patamares subclínicos, o que evidencia a importância de monitoramentos frequentes em pessoas expostas e potencialmente expostas ao metilmercúrio.

Apesar da devastadora experiência na Baía de Minamata, em 1964, na província de Niigata, Japão, moradores do rio Agano, começaram a relatar sintomas neurológicos compatíveis com intoxicação mercurial. Desta vez, o Ministério da Saúde e Bem-Estar do Japão reconheceu que a causa das intoxicações também era devido ao mercúrio, especificamente dos efluentes da indústria Showa Denko, situada 65 km rio acima do rio Agano, levando milhares de pessoas ao padecimento incurável, bem como a discriminação por terem sido expostas ao metilmercúrio. Essas pessoas costumavam ser menosprezadas e tratadas como seres com dificuldades de concentração no trabalho e desprovidas de vigor físico ou laboral. Importante observar que tanto a experiência de Minamata como a de Niigata, tem em comum a fonte alimentar do metilmercúrio, em particular o peixe, evidenciando não apenas a vulnerabilidade dos ecossistemas aquáticos ao toxicante mercúrio, como também o necessário paralelo que precisamos fazer com as possíveis consequências do garimpo ilegal na Amazônia, especialmente entre vulneráveis como indígenas, principalmente crianças e gestantes.

Já na década de 1970, entre os anos de 1971 e 1972, novo desastre teve lugar em pequenos povoados do Iraque, levando cerca de 7.000 pessoas a serem internadas em hospitais do país, em razão de exposição alimentar epidêmica. Estimativas indicam que cerca de 200 mil pessoas foram expostas ao metilmercúrio, ao longo da epidemia. O país já havia documentado surtos devido ao etilmercúrio em 1956 e 1960, com 14 óbitos conhecidos em 1960. Mas, desta vez, mediante pães produzidos com farinha de trigo contaminada com metilmercúrio empregado como fungicida por exportadores do EUA e México. Apesar de a exposição não ter durado anos ou décadas como no caso de Minamata, centenas de pessoas perderam suas vidas e apenas 459 óbitos foram associadas a essa exposição, a qual, de modo geral, parece ter sido do tipo aguda.

As manifestações clínicas comumente observadas em uma coorte de pacientes internados em um Hospital Escola de Bagdá, nos primeiros quatro (4) meses de 1972, incluíram sinais e sintomas e neurológicos como fraqueza muscular, dormência, marcha instável, parestesia, disartria, distúrbios mentais e, excepcionalmente, em casos mais graves, redução das acuidades visual e auditiva, estupor, coma e até mesmo óbitos, evidenciando os severos efeitos do metilmercúrio sobre a saúde humana.

Com a finalidade analítica, alguns autores japoneses dividiram os casos de pacientes de Minamata em 4 grupos principais, em termos de forma clínica da doença, paciente com a forma comum, com a forma aguda fulminante, com a forma



crônica com fenômeno irritativo e com forma crônica com contraturas. Usando esse cenário como referência os casos de pacientes internados no Iraque foram também agrupados, sendo que a maioria se enquadrou na forma comum.

Os casos considerados como moribundos, no contexto da série iraquiana, acabaram sendo enquadrados na forma aguda fulminante. Já os pacientes com sintomatologia muito grave e que não foram a óbito, apresentaram uma recuperação surpreendentemente gradual. A descrição “forma crônica com fenômeno irritativo” foi aplicada aos casos que começaram com a forma comum, mas que posteriormente desenvolveram excitação psíquica e irritabilidade motora. É importante frisar que nenhum caso avaliado no estudo do Iraque apresentou sintomatologia compatível com a forma crônica com contratura muscular, a qual produziu imagens e experiências chocantes à humanidade (Figura 7).

Figura 7



Representação de criança com contraturas musculares graves, decorrentes da Doença de Minamata.

Ademais, chamou atenção que o estudo aponta para a reversibilidade de sinais e sintomas como fraqueza motora, ataxia, redução das acuidades visual e auditiva, bem como de sintomas relacionados à saúde mental, em caso de remoção oportuna da fonte da exposição ao metilmercúrio. Esta informação é de grande valia para a prevenção das graves consequências da intoxicação crônica ao metilmercúrio na Amazônia, pois evidencia a possibilidade não apenas de atenuação dos efeitos negativos de “pesada” exposição aguda ao mercúrio, como também da sua reversão.

Também na década de 1960, entre 1962 e 1975, uma fábrica de cloro e soda (indústria álcalis-cloro) do Canadá, despejou mais de 9 toneladas métricas de mercúrio inorgânico em um rio que atravessava a Terra Indígena dos Grassy Narrows, situado ao norte de Ontário. Como seria de se esperar, a forma química do mercúrio se alterou, passando a contaminar uma das mais importantes fontes de proteína das comunidades, apesar das sequenciais reduções nas concentrações

de mercúrio nos peixes da região, após a implementação de controles de emissão desses efluentes no ano de 1970.

A partir de mais este exemplo de negligência da indústria química, estudos começaram a ser efetuados, no intuito de avaliar esperados efeitos negativos da exposição crônica ao metilmercúrio sobre os *Grassy Narrows*. Neste caso, foi efetuada avaliação longitudinal da prevalência e progressão de sintomas relacionados a prejuízos no sistema nervoso, em indivíduos cronicamente expostos ao metilmercúrio. Em suma, não apenas foi confirmada a persistência dos sintomas relatados por esses indivíduos avaliados longitudinalmente, como também se observaram significativos aumentos na frequência desses eventos, em uma janela temporal de cinco (5) anos. Interessante frisar que o impacto progressivo do metilmercúrio sobre a disfunção do sistema nervoso, em indivíduos maiores de 40 anos, onde se supõe que os níveis de exposição crônica ao toxicante estariam refletindo a exposição dos últimos 28 anos, reforçam o possível efeito negativo da exposição, em um subgrupo ainda pouco avaliado no planeta, indígenas ou povos ancestrais.

No Brasil, apesar do pioneiro estudo de coorte prospectiva entre indígenas Munduruku do estado do Pará, iniciado em 2019 (linha de base), ainda não há resultados sobre as avaliações longitudinais que avaliem a possível relação entre exposição ao metilmercúrio e desfechos em saúde, em amostras de cabelo na população geral de oito (8) aldeias, em particular em crianças e mulheres em idade reprodutiva (Figura 8). No entanto, como seria de se esperar, resultados preliminares, apontaram que cerca de 60% da amostra avaliada apresentou níveis de mercúrio no cabelo acima de 5,9 µg/g, evidenciando o preocupante e possivelmente crônico processo de exposição ao metilmercúrio na região do Médio Rio Tapajós. Foram encontradas associações transversais de mercúrio capilar em mulheres em idade reprodutiva (12–49 anos) com níveis pressóricos e situação gestacional.

Figura 8



Representação de uma mulher indígena com filho, enquanto cede uma amostra de cabelo para análise laboratorial de metilmercúrio.



Todavia, estudo junto a coorte Munduruku do Médio Rio Tapajós, com crianças menores de dois (2) anos e mulheres de 12-49 anos, apontou um quadro de substancial vulnerabilidade entre as crianças, com taxa de mortalidade infantil de 86,7 para cada mil nascidos vivos. No ano de 2020, a taxa de mortalidade infantil, no Brasil, foi de 13,2 para cada mil nascidos vivos, não deixando dúvidas quanto a precariedade das condições de vida e saúde dessas crianças, na medida em que a taxa Munduruku foi cerca de seis (6) vezes maior que a mesma taxa de mortalidade infantil em nível nacional. Outro dado que despertou preocupação, foi o diferencial de contaminação entre as comunidades avaliadas e o fato de que 62% das mulheres de 12-49 apresentaram níveis de mercúrio no cabelo acima de 5,9 µg/g.

Estes dados dos Munduruku do Pará, em conjunto com àqueles do Canadá, parecem ser indícios de substancial acometimento de povos indígenas pelos possíveis efeitos negativos do metilmercúrio na Amazônia, uma vez que há mais de três (3) décadas e em distintos momentos do tempo, diversos estudos na bacia do Rio Madeira, do Rio Solimões, Negro, Tapajós e Xingú, têm evidenciado elevadas exposições de indígenas, muito provavelmente alimentares e crônicas, além da presença em níveis não seguros do toxicante em outros seres vivos e compartimentos, como solo e ar.

Importante clarificar que apesar da conhecida contaminação mercurial do bioma amazônico, sobretudo por ação antrópica, em especial dos seus rios e peixes, ela não se assemelha em intensidade aos níveis de exposição ao metilmercúrio observados no desastre de Minamata, o que sob nenhuma hipótese pode ser interpretado como algo de menor importância ambiental ou sanitária, pois até mesmo baixas doses de exposição ao toxicante por longos períodos (anos ou décadas), têm sido corriqueiramente relacionados a efeitos negativos desse toxicante sobre a saúde humana, apesar de clinicamente mais brandos, em geral.

Infelizmente, esta parece ser uma realidade negligenciada por diferentes atores da sociedade, incluindo uma parcela dos próprios indígenas de diferentes regiões do país que não apenas parecem ignorar as dezenas de experiências negativas decorrentes da exposição alimentar ao metilmercúrio mundo afora, como também parecem ser parte dessa engrenagem que degrada ainda mais o meio ambiente e piora o sabidamente precário e, muitas vezes, crítico estado de saúde desses povos, como se observa entre os Yanomami do Amazonas e Roraima.

A Doença de Minamata é uma condição cujos sintomas variam desde distúrbios sensoriais nas mãos e pés até casos extremos com paralisia e morte. Grosso modo, entre os casos agudos de intoxicação por metilmercúrio, em adultos, destacam-se as seguintes manifestações neuro motoras: visão turva; redução da acuidade auditiva; distúrbios olfativos e gustativos; marcha atáxica (falta de coordenação motora, de equilíbrio e de controle muscular); falta de coordenação motora das mãos; disartria (distúrbio na fala); distúrbios somatossensoriais (prejuízos em processar

sensações como toque, dor, temperatura, vibração e da própria posição corporal); e psiquiátricos (como transtornos de personalidade, incluindo apatia, instabilidade emocional, falta de interesse com contato interpessoal e egocentrismo). Cabe destacar que os casos agudos mais graves do desastre deixaram de ser detectados com mais frequência a partir de 1960, em razão de um boicote, em 1959, direcionado à associação de pescadores da Baía de Minamata, fazendo com que os residentes da região deixassem de consumir peixes altamente contaminados.

Por outro lado, no que tange aos casos crônicos de intoxicação por metilmercúrio, em adultos, destacam-se as seguintes manifestações neuro motoras, nos pacientes com a Doença de Minamata: redução da sensibilidade nas extremidades distais (neuropatia periférica); aumentos sistêmicos nos limiares de tato; apraxia da cinética dos membros (afeta a capacidade de planejar e executar movimentos motores voluntários e aprendidos como vestir-se ou falar); astereognosia (incapacidade de reconhecer objetos comuns como chaves ou moedas apenas pelo tato e sem o auxílio da visão, mesmo com a sensibilidade tátil e motora preservadas); distúrbio da sensação ativa (estado de agitação, inquietação e necessidade de movimentação constante); ataxia (é um sinal neurológico, e não uma doença única, caracterizado pela falta de coordenação motora, equilíbrio e controle muscular); com tendência à melhora após a cessação da exposição, sendo difícil de observá-la 30 anos após a exposição; e fenômenos de deficiência nos sistemas somatossensorial, visual, auditivo, gustativo e olfativo. É importante frisar que não foi descoberta a cura para a doença de Minamata, portanto, o tratamento consiste em tentativas de aliviar os sintomas, em terapia de reabilitação neuro motora, bem como os efeitos negativos da discriminação relacionada à doença.

Outro ponto importante a ser destacado em contexto amazônico, diz respeito a inalação de vapor de mercúrio em contexto de garimpo, cujos sintomas variam de acordo com intensidade da exposição e características individuais como idade, mas que costumam incluir, em caso de exposição aguda, tremores, perda de memória, insuficiência respiratória e até mesmo a morte. Por outro lado, a exposição crônica ao vapor de mercúrio pode levar à insuficiência renal, tremores, distúrbios de movimento e várias psicoses e comprometimento da memória.

Em relação aos sais de mercúrio, cabe destacar que eles podem desencadear bolhas e úlceras nos lábios e língua, erupções cutâneas, sudorese excessiva, irritabilidade, espasmos musculares, fraqueza e pressão, em caso de exposições elevadas, além de insuficiência renal e danos gastrointestinais, apesar de ser pouco relevante em contexto amazônico, onde mais pesa a exposição ocupacional, sobretudo em atividades de garimpo ilegal e, principalmente, o consumo de peixe contaminado.



Perguntas e respostas mais comuns (debate e chuva de ideias):

Por que é difícil imaginar um desastre como o de Minamata em território indígena?



Presumivelmente, quais manifestações clínicas predominaram na tragédia do Iraque, em comparação à de Minamata? Quais seriam os motivos?



Por que abundaram relatos de aves e gatos que adoeceram e morreram em Minamata e não se observa esse padrão em aldeias indígenas hipotéticas, onde mais da metade da população está com os níveis de mercúrio acima do recomendado?



A idade pode modificar a chance de um indígena ter maiores ou menores repercussões negativas associadas à ingestão de peixe com metilmercúrio? Justifique.



Há um limite seguro ou tolerável de mercúrio para indígenas, especialmente no longo prazo? Justifique.

Bibliografia de referência da Seção 4:



AL-DAMLUJI, S. F. Intoxication due to alkylmercury-treated seed--1971-72 outbreak in Iraq: clinical aspects. **Bulletin of the World Health Organization**, [s. l.], v. 53 Suppl, n. Suppl, p. 65–81, 1976.

ARRIFANO, Gabriela P.F. et al. Large-scale projects in the amazon and human exposure to mercury: The case-study of the Tucuruí Dam. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s. l.], v. 147, p. 299–305, jan. 2018.

BAKIR, F. et al. Methylmercury Poisoning in Iraq: An interuniversity report. **Science**, [s. l.], v. 181, n. 4096, p. 230–241, 20 jul. 1973.

BASTA, Paulo Cesar et al. Mercury Exposure in Munduruku Indigenous Communities from Brazilian Amazon: Methodological Background and an Overview of the Principal Results. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 18, n. 17, p. 9222, 1 set. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde; Fundação Oswaldo Cruz; Ministério dos Povos Indígenas. **Manual técnico para o atendimento de indígenas expostos ao mercúrio no Brasil**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2025. 288 p. il. ISBN 978-65-5993-759-2.

DE MELO, Jéssica Fernandes et al. Plastic pollution in the Amazon: The first comprehensive and structured scoping review. **Ambio**, [s. l.], v. 55, n. 2, p. 211–226, fev. 2026.

FARIA, Marcília De Araújo Medrado. Mercuralismo metálico crônico ocupacional. **Revista de Saúde Pública**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 116–127, fev. 2003.

GIBB, Herman; O'LEARY, Keri Grace. Mercury Exposure and Health Impacts among Individuals in the Artisanal and Small-Scale Gold Mining Community: A Comprehensive Review. **Environmental Health Perspectives**, [s. l.], v. 122, n. 7, p. 667–672, jul. 2014.

GOETZ, C.G. Mercury. **Encyclopedia of Movement Disorders**. [S. l.]: Elsevier, 2010. p. 171–173. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123741059000435>. Acesso em: 9 mar. 2026.

GREENWOOD, Michael R. Methylmercury poisoning in Iraq. An epidemiological study of the 1971–1972 outbreak. **Journal of Applied Toxicology**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 148–159, jun. 1985.

INOUE, Sachiko et al. Short-term effect of severe exposure to methylmercury on atherosclerotic heart disease and hypertension mortality in Minamata. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 417–418, p. 291–293, fev. 2012.

KEMPTON, Joeseeph William et al. An Assessment of Health Outcomes and Methylmercury Exposure in Munduruku Indigenous Women of Childbearing Age and Their Children under 2 Years Old. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 18, n. 19, p. 10091, 25 set. 2021.



LUCCHINI, Roberto G et al. Mercury Contamination and Co-exposures in the Amazon Basin: At the Center of the Planetary Environmental Crisis. **Annals of Global Health**, [s. l.], v. 91, n. 1, p. 42, 29 jul. 2025.

McCURRY, Justin. Japan remembers Minamata. **The Lancet**, [s. l.], v. 367, n. 9505, p. 99–100, jan. 2006.

OKPALA, Charles Odilichukwu R. et al. Hazardous properties and toxicological update of mercury: From fish food to human health safety perspective. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 58, n. 12, p. 1986–2001, 13 ago. 2018.

PHILIBERT, Aline et al. The evolution of symptoms of nervous system dysfunction in a First Nation community with a history of mercury exposure: a longitudinal study. **Environmental Health**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 50, 2024.

SANTOS, Elisabeth C. Oliveira et al. Avaliação dos níveis de exposição ao mercúrio entre índios Pakaanóva, Amazônia, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 199–206, fev. 2003.

SOUSA, Luciana Azevedo De; ZAITUNE, Maria Paula Do Amaral. Uma revisão de escopo de revisões sistemáticas sobre exposição humana ao mercúrio. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, [s. l.], v. 47, p. e18, 2022.

TAKAOKA, Shigeru et al. Survey of the Extent of the Persisting Effects of Methylmercury Pollution on the Inhabitants around the Shiranui Sea, Japan. **Toxics**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 39, 20 jul. 2018.

URASAKI, Sadako et al. Methyl mercury exposure in Niigata: case studies illustrating adult outcomes. **NeuroToxicology**, [s. l.], v. 81, p. 373–375, dez. 2020.

Fonte Figura 7:

Referência em <https://culturacientifica.com/2018/03/04/caso-los-enfermos-minamata/>

Fonte Figura 8:

<https://informe.ensp.fiocruz.br/noticias/46979>

SEÇÃO 5

Desafios da vigilância do mercúrio em indígenas da Amazônia



CONCEITOS CHAVE:

Intoxicação exógena

Conjunto de efeitos nocivos representados por manifestações clínicas ou laboratoriais que revelam o desequilíbrio orgânico produzido pela interação de um ou mais agentes tóxicos com o sistema biológico, incluindo agrotóxicos, gases tóxicos, substâncias de abuso, plantas e metais pesados, por exemplo.

Caso exposto (caso suspeito)

Indivíduo com provável ou conhecida história pregressa ou atual de exposição a substâncias químicas que apresenta, ou não, algum sinal ou sintoma clínico ou alterações laboratoriais.

Caso confirmado

No Brasil, a confirmação do caso de intoxicação exógena pode ocorrer por critério laboratorial, com confirmação por meio de exames diagnósticos. Clínico-epidemiológico, quando a confirmação ocorre mediante provável ou conhecida história pregressa ou atual, incluindo sinais ou sintomas de exposição. Além do critério clínico, o qual depende de confirmação da presumida intoxicação exógena por meio de sinais ou de sintomas.

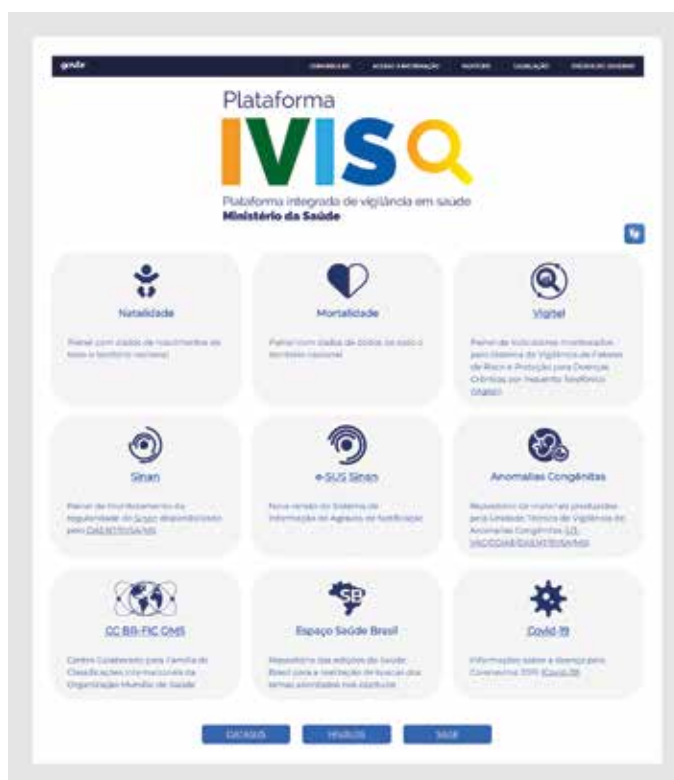
Até chegarmos no atual modelo de vigilância em saúde e ambiental no Brasil, marcado pelo protagonismo da Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente (SVSA) do Ministério da Saúde e seus sete (7) departamentos, além do Instituto Evandro Chagas e do Centro Nacional de Primatas, foram necessários cerca de 150 anos. Esta rica trajetória foi marcada por esforços como o da brilhante geração de sanitaristas da primeira metade do século XX, incluindo nomes como o de Oswaldo Cruz, Carlos Chagas, Emílio Ribas, Vital Brasil e Adolfo Lutz. O Instituto Oswaldo Cruz (Rio de Janeiro) e o Instituto Bacteriológico (São Paulo), os quais abriram passo para a criação da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) e do Instituto Butantã, inegáveis pilares institucionais da saúde pública brasileira contemporânea, também são parte dessa trajetória. Foi nesse período, também, que ganharam vida os primeiros códigos sanitários e estratégias voltadas para a notificação compulsória de doenças e agravos.



Nas décadas seguintes, a saúde pública brasileira seguiu progredindo, dando maior capilaridade e complexidade às suas ações, entre elas a promulgação da Lei Federal n.º 6.529, em 1975, viabilizando a Lista Nacional de Doenças de Notificação Compulsória, a formalização e a obrigatoriedade da notificação de enfermidades infecciosas comuns à época como sarampo, tuberculose, varíola, poliomielite, febre amarela e cólera, além de endemias rurais de considerável impacto sanitário como a esquistossomose mansônica, a doença de Chagas e a malária, por exemplo.

Em 1976 foi criado o Sistema Nacional de Vigilância Epidemiológica (SNVE), mediante o Decreto N.º 78.231. Na década de 1980, foi a vez da criação do Centro Nacional de Epidemiologia-CENEPI e, como consequência direta da criação do Sistema Único de Saúde (SUS), oficializado pela Lei nº 8.080 em 19 de setembro de 1990, foi possível a criação do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (Sinan), em 1993. Em 2005, foi criado o Centro de Informações Estratégicas em Vigilância em Saúde (CIEVS) e, em 2017, a estruturação do atual Sistema Nacional de Vigilância em Saúde (SNVS), composto pelo Sistema Nacional de Vigilância Epidemiológica (SNVE), Sistema Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental (SNVSA) e pelo Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), permitindo que fosse possível não apenas notificar e monitorar doenças infecciosas, como também intoxicações por substâncias químicas como o mercúrio, em uma perspectiva integradora.

Figura 9



Representação da Plataforma Integrada de Vigilância em Saúde, Ministério da Saúde, 2026.



Foi com esse pano de fundo que as diferentes vigilâncias foram evoluindo no Brasil, ao ponto de, na atualidade, o Ministério da Saúde contar a Vigilância em Saúde das Populações Expostas a Contaminantes e Substâncias Químicas (VIGIPEQ), voltado à promoção da qualidade de vida, redução, controle ou eliminação da vulnerabilidade e dos riscos à saúde de populações expostas ou potencialmente expostas a substâncias químicas. A VIGIPEQ se propõe a realizar atividades rotineiras nas três esferas de gestão do setor saúde (municipal, estadual e federal), visando a implementação de ações que atreladas às especificidades dos territórios e, sobretudo, aos princípios e diretrizes do SUS.

Atualmente, a VIGIPEQ está sob a gestão da Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental (CGVAM), vinculada ao Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e do Trabalhador (DSAST) da SVSA. Entre as cinco (5) substâncias químicas priorizados pela VIGIPEQ, em nível nacional, estão os agrotóxicos, o amianto (asbesto), o benzeno, o chumbo e, também, o mercúrio, um toxicante amplamente disseminado na Amazônia, incluindo dezenas de rios e milhares de hectares de terra. As principais fontes de dados da VIGIPEQ são o Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) e o Sistema de Informação de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Solo Contaminado (SISSOLO). Este último, foi criado em 2004, mediante a Portaria 2.607.

A entrada de dados no SINAN, por exemplo, conta com uma Ficha de Investigação de Intoxicação Exógena, com detalhadas [instruções de preenchimento](#) e uso, pois trata-se de agravo que é parte da lista nacional de doenças de notificação compulsória e semanal. O rito de notificação, em caso de suspeita ou confirmação, cabe à autoridade de saúde da localidade, incluindo médicos, enfermeiros, outros profissionais de saúde e responsáveis pelos estabelecimentos de saúde, sejam eles públicos ou privados. A Portaria N.º 6.734, de 2025, estabelece que casos suspeitos ou confirmados de intoxicação por mercúrio, devem ser registrados no SINAN, seguindo as diretrizes do documento [Orientações Para a Notificação de Intoxicações por Mercúrio](#), considerando as definições de caso e as recomendações vigentes relativas à notificação de casos de intoxicação exógenas.

Cabe salientar que em caso de ocorrências suspeitas ou confirmadas de indígenas potencialmente expostos ou expostos ao mercúrio, há um [Manual Técnico](#) lançado em 2025, conjuntamente, pelo Ministério da Saúde, Fundação Oswaldo Cruz e Ministério dos Povos Indígenas, o qual visa instrumentalizar os trabalhadores de saúde da atenção primária à saúde, em relação à avaliação clínica, dosagem do mercúrio em diferentes tipos de amostras biológicas, tratamento, fluxos de atendimento e notificação dos casos. O referido manual, não apenas compila diretrizes clínicas para o diagnóstico e tratamento de indivíduos intoxicados, mas também estabelece fluxos de atendimento adequados às especificidades das populações indígenas, garantindo que a prestação de serviços de saúde ocorra com

respeito aos princípios da autodeterminação, da dignidade da pessoa humana e do direito à consulta prévia, livre e informada.

O conteúdo armazenado no SINAN, não apenas tem o potencial de auxiliar em investigações clínico-epidemiológicas e na análise desses dados, como também pode auxiliar a direcionar e a qualificar a tomada de decisão das autoridades sanitárias, assim como para o planejamento em saúde. Embora conhecidos problemas de cobertura, completitude e fidedignidade/inconsistência afetem a maioria dos agravos contidos no SINAN, permanece o desafio de ampliar o seu adequado, responsável e oportuno gerenciamento, especialmente quando se trata de intoxicações exógenas devido ao mercúrio, um tipo de problema pouco ou quase nunca explorado durante a formação de trabalhadores de saúde no Brasil.

Em recente estudo que avaliou a VIGIPEQ e, conseqüentemente, a vigilância em saúde ambiental (VSA) no Brasil, destacou-se históricos desafios, como a não obrigatoriedade do uso da VIGIPEQ e do SISOLO, a dificuldade ou mesmo impossibilidade de agentes das vigilâncias acessarem dados para execução e implementação de ações em VSA em seus territórios, bem como a falta de estudos avaliativos da VSA. A avaliação efetuada pelos pesquisadores indicou a VIGIPEQ como complexo, pouco flexível e com baixa aceitabilidade. Apesar da sua sensibilidade para reconhecer exposição ter sido elevada a VIGIPEQ carece de aperfeiçoamento, sobretudo no que diz respeito a aspectos operacionais de uso e direcionamento dos dados obtidos.

Em Boletim Epidemiológico de 2023 sobre o comportamento e características das Intoxicações por mercúrio no Brasil, entre 2006 e 2021, o próprio Ministério da Saúde, não usou a codificação esperada da CID-10 (Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados com a Saúde) ou o código T56.1 (efeito tóxico do mercúrio e seus compostos), lançando mão de uma espécie de varredura na base de dados, com base em descritores temáticos que fariam referência à exposição mercurial.

Muito provavelmente, essa estratégia foi usada em razão da dificuldade prática de se operacionalizar, a contento, o algoritmo à classificação final de um caso (intoxicação confirmada; só exposição; outro diagnóstico; síndrome de abstinência; e ignorado). As características da amostra, com aproximadamente mil registros, sendo quase metade de crianças menores de cinco (5) anos, apontaram para sérios indícios de sub-representação de garimpeiros e populações sabidamente expostas ao mercúrio pela via alimentar, principalmente àquelas residentes na região amazônica, como indígenas e ribeirinhos.

Este é um aspecto de notada importância e que evidencia a dimensão do desafio, pois a extensa subnotificação, a incompletitude e as inconsistências de dados nacionais que remetem à ficha de intoxicação exógena, sem dúvida, comprometem



o necessário e adequado delineamento epidemiológico de milhares de indivíduos sabidamente expostos ou intoxicados pelo mercúrio no Brasil, tornando a tomada de decisão, nos diferentes níveis de gestão, um caminho perigoso ou propenso à perpetuação de iniquidades em saúde e da histórica privação de políticas públicas que assegurem a integralidade da saúde aos povos indígenas.

Dados mais atuais do próprio SINAN sobre intoxicações exógenas no Brasil, entre 2007 e 2024, mas filtrando apenas para notificações em que foi assinalada a opção mercúrio, mostram um total de 2.347 casos, com discreto sinal de aumento na notificação desses registros nos últimos dois (2) anos. Chamou atenção o número de 581 registros na região norte, pois esse total estava massivamente concentrado em apenas três (3) anos de uma série com 18 anos de extensão, evidenciando, de um lado, comportamentos anômalos e, de outro, a notável subnotificação do problema na região mais exposta ao metilmercúrio pela via alimentar (peixe) do Brasil. Como esses “picos” de notificação estão quase que exclusivamente associados a indígenas, muito provavelmente, se devem ao registro de diagnósticos comunitários efetuados por pesquisadores da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca (ENSP), da FIOCRUZ do Rio de Janeiro, conforme já apontado previamente.

A segunda fonte de dados da VIGIPEQ no Brasil é o SISOLO, cujo objetivo é identificar populações expostas ou potencialmente expostas a áreas ou territórios contaminados por substâncias químicas, no intuito de fomentar a tomada de decisão pelos gestores e orientar ações de vigilância em saúde e ambiente. A ferramenta foi concebida para proporcionar o monitoramento contínuo das áreas contaminadas ou potencialmente contaminadas, a partir das Secretarias Municipais e Estaduais de Saúde. Portanto, é uma promissora ferramenta, pois também é acessível nos três níveis de gestão do SUS, possibilitando a caracterização do território, da população residente, dos tipos de contaminações, dos níveis e a extensão das contaminações, bem como a proximidade de corpos d'água e padrões de abastecimento de água para consumo humano, impactados pela exposição a substâncias químicas.

Ainda em termos de vigilância de toxicantes no Brasil, há de se considerar os Centros de Informação e Assistência Toxicológica (CIAtox), composto por profissionais de saúde especializados em toxicologia humana, visam prestar informação e assessorar, tanto profissionais de saúde quanto para o público em geral, acerca do diagnóstico, prognóstico, tratamento e prevenção das intoxicações, sendo que alguns dos poucos CIAtox do país possuem laboratório de análises toxicológicas de urgência. Atualmente, estão presentes apenas em 18 estados e no DF, não havendo unidades em quase todos os estados da região norte (Roraima, Acre, Rondônia, Amapá e Tocantins). Em geral, os cerca de 32 Centros existentes no Brasil, funcionam em hospitais universitários, secretarias estaduais e municipais de saúde e fundações estaduais.

Recentemente, cerca de meio século depois das sequências tragédias ocorridas com o mercúrio mundo afora, o Ministério da Saúde publicou a Portaria N.º 1.925, em 20 de novembro de 2023, criando e implementando o GT-mercúrio com a

finalidade de elaborar o [Plano Estratégico para Medidas de Atenção, Vigilância e Promoção Integral à Saúde das Populações Expostas e Potencialmente Expostas ao Mercúrio](#), o qual está em plena vigência do Brasil. O “Plano mercúrio” tem como objetivo promover o desenvolvimento, a implementação e o fortalecimento de ações integradas de vigilância, promoção e atenção integral à saúde das populações expostas e potencialmente expostas ao mercúrio no Brasil, principalmente dos grupos populacionais em situação de vulnerabilidade, visando à redução das iniquidades em saúde no País e tendo gestantes e crianças como foco principal.

O “Plano mercúrio” tem previsão para ser executado, entre 2025 e 2030, com base em uma matriz de ações e responsabilidades complexa e surpreendentemente audaz, pois inclui a instalação de capacidades altamente desafiadoras, sobretudo em territórios indígenas, como o dimensionamento ou estimativa de populações expostas e potencialmente expostas ao mercúrio, bem como a promoção e qualificação das informações dos Sistemas de Informações em Saúde, o que inclui o SINAN e o SISOLO, por exemplo.

É realmente uma tarefa complexa obter dados e gerar informações robustas e oportunas, acerca do mercúrio e seus diferentes efeitos sobre a saúde humana e animal, bem como das suas diferentes formas de apresentação no solo, na água e no ar, mas também das populações potencialmente expostas e expostas ao toxicante, especialmente fetos, recém nascidos e mulheres gestantes, além dos garimpeiros e pessoas que residem próximo às áreas de queima da amálgama e funcionários de lojas que comercializam o ouro, além da população ocupacionalmente exposta em atividades laborais legais e as dezenas de milhares de pessoas que consomem peixe no país, sobretudo na Amazônia, em quase boa parte do ano ou com seus solos e rios revoltos por atividades de garimpo ilegal. Tudo isso, alinhado a planos de mitigação e de enfrentamento do problema que ataquem a raiz do problema, as iniquidades sociais em saúde e o racismo ambiental.

Figura 10



Representação de profissional da vigilância ambiental fazendo o monitoramento de sedimentos em rio contaminado com mercúrio.



Perguntas e respostas mais comuns (debate e chuva de ideias):

A vigilância em saúde e ambiental é necessária em seu DSEI, mesmo sabendo que não há notificações de intoxicação por metilmercúrio? Justifique



Caso a SESAI determine a implementação imediata do “Plano mercúrio” no polo base que você atua, qual seria a composição ideal da e-EMSI?



Suponha que o polo base em que atua, está sob invasão do garimpo de ouro ilegal. Quais parceiros do estado e município poderiam ajudar a aprimorar o acompanhamento clínico e laboratorial de pacientes com suspeita de intoxicação mercurial?



Acredita ser importante receber treinamento específico para o preenchimento da Ficha de Investigação de Intoxicação Exógena do SINAN em área sem garimpo ilegal de ouro? Justifique.



Seria válido repensar as atividades de vigilância alimentar e nutricional de gestantes e crianças potencialmente expostas ao mercúrio, considerando a vigência do “Plano mercúrio” (2025–2030)?

Bibliografia de referência da Seção 5:



BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Instruções para preenchimento da Ficha de Investigação de Intoxicação Exógena Sinan – Sistema de Informação de Agravos de Notificação**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2018. 42 p. il. ISBN 978-85-334-2674-0.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e de Vigilância das Emergências em Saúde Pública **Orientações para a Notificação de Intoxicações por Mercúrio**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2021. 14 p. il.

BRASIL. Ministério da Saúde; Fundação Oswaldo Cruz; Ministério dos Povos Indígenas. **Manual técnico para o atendimento de indígenas expostos ao mercúrio no Brasil**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2025. 288 p. il. ISBN 978-65-5993-759-2.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Plano estratégico para medidas de atenção, vigilância e promoção à saúde de populações expostas e potencialmente expostas ao mercúrio**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2025. 84 p. il. ISBN 978-65-5993-910-7.

CÂMARA, Volney M. Vigilância e meio ambiente: aspectos conceituais e metodológicos para áreas de mineração de ouro. In: VERAS, Renato P., et al., orgs. **Epidemiologia: contextos e pluralidade** [s.l.]. EpidemioLógica series, nº4. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1998. p. 67-78. ISBN 85-85676-54-X.

DA SILVA, Ana Paula Betaressi et al. Avaliação do sistema de Vigilância em Saúde das Populações Expostas a Substâncias Químicas, Brasil, 2011 a 2021. **Revista Panamericana de Salud Pública**, [s. l.], v. 49, p. 1, 13 fev. 2025.

SOUSA, Luciana Azevedo De; ZAITUNE, Maria Paula Do Amaral. Uma revisão de escopo de revisões sistemáticas sobre exposição humana ao mercúrio. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, [s. l.], v. 47, p. e18, 2022.

WALDMAN, Eliseu Alves. Os 110 anos de Vigilância em Saúde no Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 365-366, set. 2012.

Fonte Figura 9:

<http://plataforma.saude.gov.br/>

Fonte Figura 10:

Referência em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/noticias/2025/controle-mais-rigorous-do-mercúrio-ibama-estabelece-fim-de-importacao-para-industria-ate-o-fim-de-2025>





CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em pleno século XXI e em tempos de explícita crise climática, é inegável a necessidade de medidas pragmáticas e estruturantes que visem, ao menos, controlar o conhecido e extenso problema da contaminação mercurial antrópica na Amazônia, sobretudo entre as populações indígenas, pois abundam estudos, publicados há mais de 40 anos, mostrando não apenas a vulnerabilidade social, econômica e territorial desse subgrupo populacional, como também suas condições de saúde e bem-estar altamente comprometidas.

Quem sabe este não seja o primeiro de muitos outros passos que visam o desenvolvimento de ações articuladas e intersetoriais para o fortalecimento das capacidades técnicas e institucionais dos Distritos Sanitários Especiais Indígenas (DSEIs) Porto Velho e Vilhena para robusta e pioneira atuação local, fundamentais em face da complexidade do desafio do setor de saúde e parceiros na implementação do Plano Estratégico para Medidas de Atenção, Vigilância e Promoção Integral à Saúde das Populações Expostas e Potencialmente Expostas ao Mercúrio, entre 2025 e 2030, essencial para o cumprimento da agenda 2030 e do compromisso do Brasil com a Convenção de Minamata sobre Mercúrio.

Esperamos, com este curso introdutório de 20 horas, ter contribuído para a qualificação profissional orientada aos riscos da exposição mercurial sobre a saúde humana, bem como de importantes tópicos relativos à implementação de estratégias voltadas à sua vigilância, monitoramento e mitigação, junto a trabalhadores de saúde, atuantes na Atenção Primária à Saúde (APS) dos DSEIs de Porto Velho e Vilhena.





ILMD INSTITUTO LEÔNIDAS
& MARIA DEANE
Fiocruz Amazônia



FIOCRUZ

