



A INFLUÊNCIA DO MERCÚRIO NA SAÚDE GENÉTICA DE MULHERES E CRIANÇAS YANOMAMIS

LEANDRA NASCIMENTO FONSECA

RESUMO

A contaminação por mercúrio é um problema grave que afeta a saúde humana devido a sua alta toxicidade e capacidade de biomagnificação trófica na cadeia alimentar. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a exposição ao mercúrio mesmo em pequenas quantidades oferece riscos, principalmente ao desenvolvimento da criança no útero e nas fases iniciais da vida. Em janeiro de 2023, foi declarada emergência de saúde pública nas Terras Indígenas Yanomami, onde algumas aldeias apresentam alto índice de contaminação por mercúrio, tendo como base de sua alimentação o peixe dos rios contaminados pela mineração artesanal na Amazônia. O objetivo geral deste trabalho é entender os efeitos genotóxicos e mutagênicos do mercúrio em populações vulneráveis, como as comunidades Yanomami na Amazônia Brasileira. O método inclui revisão bibliográfica sistemática em bases de dados como "Google Scholar", "SciElo", "MedLine" e "PubMed", utilizando termos como "Mercúrio", "Contaminação por Mercúrio", "Mutagenicidade do Mercúrio" e "Genotoxicidade do Mercúrio" em múltiplos idiomas. Os resultados apontam que a genotoxicidade do mercúrio afeta a proliferação celular e a integridade do DNA, estimulando radicais livres causadores de danos celulares e processos carcinogênicos. Além disso, os resultados mostram que a exposição ao mercúrio em mulheres e crianças em idade reprodutiva pode causar alterações cromossômicas, mutações genéticas, defeitos congênitos, abortos espontâneos, infertilidade e câncer. A conclusão é que a contaminação por mercúrio representa uma grave ameaça à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo medidas urgentes de prevenção, monitoramento e tratamento. Este trabalho busca contribuir para o avanço do conhecimento sobre os impactos do mercúrio na saúde humana e na biodiversidade, auxiliando na formulação de estratégias de saúde pública para populações vulneráveis.

Palavras-chave: Mercúrio; Contaminação por Mercúrio; Mutagenicidade do Mercúrio; Genotoxicidade do Mercúrio; Populações Vulneráveis.

1 INTRODUÇÃO

O mercúrio, é um poluente ambiental relevante, apresentando várias formas, incluindo mercúrio elementar, inorgânico e orgânico. O mercúrio elementar é um líquido incolor e inodoro que evapora facilmente, enquanto o mercúrio inorgânico é formado pela combinação do mercúrio com outros elementos. Segundo Azevedo mercúrio orgânico, que inclui o metilmercúrio e o dimetilmercúrio, é formado pela ligação do mercúrio com átomos de carbono, sendo utilizado na mineração artesanal acaba contaminar os rios e a vida aquática, incluindo os peixes. A contaminação das águas e dos peixes hoje é maiores causas da exposição humana ao mercúrio devido ao consumo de peixes contaminados, o que é uma preocupação particular para as populações vulneráveis que vivem em região de mineração artesanal ilegal, como os indígenas Yanomami que possuem o peixe como fonte principal de proteína de sua dieta. Desde

o incidente de Minamata no Japão a contaminação por mercúrio é um problema de saúde pública global, afetando milhões de pessoas, especialmente em países em desenvolvimento (OMS, 2018). A exposição ao mercúrio pode causar uma série de problemas de saúde, incluindo distúrbios neurológicos, renais, cardiovasculares, imunológicos, reprodutivos e endócrinos. É particularmente perigoso para mulheres grávidas e crianças em idade reprodutiva, pois pode afetar o desenvolvimento fetal e infantil.

Este trabalho tem como objetivo investigar os efeitos mutagênicos e genotóxicos do mercúrio em mulheres e crianças em idade reprodutiva da etnia Yanomami, que estão expostas ao mercúrio devido à mineração artesanal. A hipótese é que a exposição ao mercúrio causa danos ao material genético das células sanguíneas desses indivíduos, aumentando o risco de mutações, alterações cromossômicas, instabilidade genômica e câncer.

Para efeitos de conceituação, Magdolenova define a genotoxicidade refere-se à capacidade que alguns xenobióticos tem em alterar ou danificar a informação genética no interior de uma célula, induzindo modificações na sequência nucleotídica, ou da estrutura em dupla hélice do DNA, quando o dano no material se instala na célula driblando as defesas do organismo ocorrem mutações que podem ou não ser passadas aos indivíduos da geração seguinte, já a mutagenicidade se refere a mutações que afetam a sequência dos nucleotídeos do material genético de um organismo, podem tanto ser causadas por erros de cópia do material durante a divisão celular. Em geral, as mutações são fontes de variabilidade genética indispensáveis para manutenção da espécie, contudo dependendo de onde, e do tipo de alteração genética podem ocorrer doenças, e a morte do indivíduo afetado, como a maioria das mutações são causadas por processos genotóxicos estudos que demonstram efeitos genotóxicos e mutagênicos diante da exposição de xenobióticos são extremamente relevantes para sociedade, pois seus efeitos são passados as gerações futuras, podendo ser um fator de adaptabilidade, ou o causador de uma de patologias, ou morte.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar a pesquisa, usamos dados epidemiológicos de relatórios de órgãos governamentais e de associações de grupos indígenas. Nos meses de maio, junho e julho de 2023, localizando 78 artigos de interesse, utilizamos os termos de busca “Mercúrio”, “Contaminação por Mercúrio”, “Mutagenicidade do Mercúrio” e “Genotoxicidade do Mercúrio” em português, inglês e espanhol, para assegurar uma abrangência ampla da literatura disponível. Dos 78 artigos escolhidos, somente nove mencionam especificamente os povos indígenas Yanomami ou povos que habitam na região das Terras Indígenas Yanomami e compartilham recursos alimentares e hídricos.

Focamos nossa seleção em artigos de revisão sistemática, estudos experimentais e epidemiológicos. As informações extraídas incluíram dados sobre o desenho do estudo, a população estudada, a localização geográfica dessa população, os métodos de coleta e análise de dados, os resultados e conclusões principais.

Para assegurar uma coleta de dados mais relevante e precisa, descartamos artigos anteriores aos anos de 1980, período no qual a atividade mineradora na região foi pouco observada.

Com relação a formatos de publicação excluímos cartas, editoriais, resumos em anais de eventos e estudos que focavam em dados populacionais urbanos afetados por atividades fabris individuais ou coletivas. Isso nos possibilitou concentrar a nossa revisão nos estudos mais atuais e relevantes sobre a contaminação por mercúrio nas Terras Indígenas Yanomami.

Ademais, para obter uma imagem mais exata da situação de contaminação por mercúrio entre as mulheres e crianças Yanomami, cruzamos dados com relatórios de organizações que atuam diretamente com a saúde desses povos, tanto entidades não governamentais quanto governamentais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A técnica de análise de micronúcleos é uma ferramenta capaz de identificar danos genotóxicos causados por agentes químicos ou físicos nas células. Os micronúcleos, que são fragmentos de DNA encapsulados originados do fuso mitótico durante a divisão celular, podem ser formados por alterações genéticas espontâneas ou induzidas por agentes genotóxicos. A presença desses micronúcleos é um indicativo de lesões genéticas, tornando essa análise uma ferramenta valiosa para avaliar o dano genético resultante da exposição ao mercúrio.

Com base nos dados da nossa pesquisa, indivíduos que vivem nas Terras Indígenas Yanomami estão expostos a efeitos genotóxicos e mutagênicos devido à contaminação por mercúrio (Hg). Nove estudos que mencionam especificamente os Yanomami abordam tanto os níveis de contaminação quanto os experimentos *in vitro* para detecção de efeitos mutagênicos nas células. Esses estudos evidenciaram que a exposição ao mercúrio (Hg), mesmo em pequenas doses, tem o potencial de afetar diversos sistemas biológicos. O cérebro é o principal órgão-alvo desse xenobiótico, resultando em alterações psicomotoras, danos visuais, tremores e genotoxicidade.

É fundamental ressaltar que indivíduos em desenvolvimento, como fetos e crianças, são particularmente suscetíveis aos efeitos nocivos do mercúrio. Isso ocorre porque o mercúrio tem a capacidade de atravessar a barreira hematoencefálica e a barreira placentária. Além disso, estudos indicam que a exposição crônica ao metilmercúrio (MeHg), mesmo em doses baixas, pode resultar em problemas imunológicos e hematológicos (Santos et al., 2017).

Estudos em modelos animais mostraram alterações significativas no córtex motor e no hipocampo, causando disfunção neuroquímica em ratos expostos cronicamente ao mercúrio inorgânico. Isso resultou em alterações comportamentais (Teixeira et al., 2019). Outro estudo identificou um aumento na migração do DNA em ratos expostos a peixes contaminados com mercúrio. As análises histopatológicas mostraram uma infiltração leucocitária fraca, mas significativa (Teixeira et al., 2019).

Em estudos *in vitro* com linfócitos sanguíneos de indivíduos amazônicos, (Crespo, 2023) usou a análise de micronúcleo e aberrações cromossômicas para exposição de baixos níveis (1–500 µg/l ou 0,004–2 µM) de metilmercúrio. Os resultados apontaram o metal como o principal responsável pela inibição do ciclo celular e/ou pela perda da capacidade proliferativa das células. Esses resultados demonstraram efeitos de genotoxicidade do mercúrio em humanos e, especialmente, em populações amazônicas.

Com relação à exposição ao mercúrio em adultos, (Crespo; 2007) cita a indução de diferentes padrões de alterações no Sistema Nervoso Central (SNC) caracterizado por danos de áreas anatômicas localizadas do córtex visual e perda neuronal da camada de grânulos do cerebelo. Já o SNC imaturo, que é considerado extremamente sensível à neurotoxicidade do mercúrio, mostrou uma desorganização difusa e generalizada das estruturas citológicas do córtex cerebral com desaparecimento das células granulares. Segundo a autora, essas alterações podem ser associadas a falhas no padrão normal de divisão celular induzidas pela exposição ao mercúrio durante o desenvolvimento do SNC. Em outro estudo, (Crespo; 2007) estudou células de origem cerebral e cada linhagem celular mostrou-se sensível de forma diferente a cada biomarcador de danos genotóxicos, indicando a existência de diferentes mecanismos de toxicidade, porém é evidenciado papel crucial do mercúrio na geração de espécies de radicais livres, Gallacher, experienciou que o cloreto de Mercúrio possui afinidade com a região de interfase da molécula Na-k-ATPase que atua no transporte de íons de potássio através da membrana plasmática para iniciar seu processo mitogênico a associação do Mercúrio com as Na-k-ATPases possivelmente inibe a atividade proliferativa de células, o autor observou a interação do mercúrio sobre os células linfóides B.

Analisando ainda a interação do mercúrio com células imunológicas e seu papel no processo de apoptose, (Schenker et al. 2000) verificou que as células T ao serem expostas ao

Mercúrio, seja em sua forma orgânica, ou inorgânica sofrem mudança de permeabilidade da membrana mitocondrial, sendo esse um evento crítico das atividades em cascata que levaram à perda de potencial transmembranar na geração de espécies reativas de oxigênio (radicais livres) e o extravasamento do citocromo C, os radicais livres desempenham um papel crucial no processo de mutagenicidade e genotoxicidade, causando danos ao DNA.

Os radicais superóxido, hidroperóxila e hidroxila, formados durante vários processos celulares, são altamente reativos e podem causar lesões biológicas secundárias, podendo modificar as bases purínicas e pirimidínicas do DNA, levando à inativação ou mutação do DNA, essas espécies podem também inativar proteínas e iniciar a oxidação de ácidos graxos polinsaturados nas membranas celulares. O peróxido de hidrogênio, embora não seja um radical livre, é um metabólito do oxigênio extremamente deletério que participa da reação que produz o radical hidroxila. Sua toxicidade é alta para as células e pode ser aumentada em determinadas condições. Portanto, os radicais livres estão intimamente relacionados a várias doenças e ao processo de envelhecimento. (Ferreira; 1997)

4 CONCLUSÃO

Com base nos dados coletados, podemos concluir que a exposição ao mercúrio, mesmo em doses mínimas, tem potencial para causar efeitos genotóxicos e mutagênicos. Isso é especialmente alarmante para as mulheres Yanomami em idade reprodutiva que residem em áreas próximas à exploração artesanal de ouro, onde a contaminação por mercúrio é prevalente.

Os estudos de Crespo revelam que a exposição ao mercúrio pode causar danos significativos ao Sistema Nervoso Central (SNC), resultando em alterações psicomotoras, danos visuais e tremores. A exposição durante o desenvolvimento do SNC pode levar a uma desorganização ampla das estruturas citológicas do córtex cerebral, os indivíduos em desenvolvimento são especialmente suscetíveis aos efeitos prejudiciais do mercúrio, pois este pode atravessar a barreira hematoencefálica e a barreira placentária, causando danos ao organismo em desenvolvimento. Um dos mecanismos pelos quais o mercúrio pode causar danos genotóxicos e mutagênicos é através da geração de radicais livres. Essas moléculas instáveis, quando em excesso, podem interagir com proteínas, lipídios e DNA de células saudáveis, causando estresse oxidativo e danos celulares. A exposição crônica pode resultar em Genotoxicidade, e mutagenicidade.

Portanto, a pesquisa conclui que a exposição ao mercúrio tem implicações profundas para a saúde dos povos Yanomami, particularmente para mulheres em idade reprodutiva e crianças. Esses resultados sublinham a necessidade de medidas eficazes para mitigar a contaminação por mercúrio nessas áreas.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, F. A. **Toxicologia do Mercúrio**. São Carlos, SP: Rima; São Paulo: InterTox, 2013. 292 p. ISBN: 85-86552-63-1 – Rima. ISBN: 85-89843-02-5

BAHIA, Marcelo de Oliveira et al. **Environmental biomonitoring using cytogenetic endpoints in a population exposed to mercury in the Brazilian Amazon**. *Environmental Mutagenesis and Genomics Society*, Pará, v. 44, n. 4, p. 346-349, mai. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1002/em.20054>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/em.20054>>. Acesso em: 02 ago. 2023.

BASTA, P.C; HACON, S.S. **Impacto do mercúrio em áreas protegidas e povos da floresta na Amazônia Oriental – Uma abordagem integrada saúde-ambiente Aspectos Metodológicos e Resultados Preliminares**. Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP-

FIOCRUZ), Rio de Janeiro, p. 1-140, out. 2020. Disponível em:
<<http://ds.saudeindigena.icict.fiocruz.br/handle/bvs/6421>>. Acesso em: 02 ago. 2023.

CAMARGO, Marcelo. Quem são os yanomami e qual é o território que eles ocupam na Amazônia. **National Geographic**, 2023. Disponível em:<
<https://www.nationalgeographicbrasil.com/historia/2023/01/quem-sao-os-yanomami-e-qual-e-o-territorio-que-eles-ocupam-na-amazonia>> Acesso em: 02 ago.2023.

CARDOSO, Plínio Cerqueira dos Santos. et al. Pag. 51-58 **Efeitos biológicos do mercúrio e seus derivados em seres humanos: uma revisão bibliográfica**. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/237339012_EFEITOS_BIOLOGICOS_DO_MERCURIO_E_SEUS_DERIVADOS_EM_SERES_HUMANOS_-UMA_REVISAO_BIBLIOGRAFICA_BIOLOGICAL_EFFECTS_OF_MERCURY_AND_ITS_COMPOUNDS_IN_HUMAN_BEINGS_-_A_MINI-REVIEW . Acesso em: 15 ago. 2023.

CRESPO, Maria Helena Lopez. **Methylmercury genotoxicity: A novel effect in human cell lines of the central nervous system**. Environment International, USA, v. 33, p. Pages 141-146, fev. 2007. DOI <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.08.005> . Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016041200600130>. Acesso em: 2 ago. 2023.

Elevados níveis de contaminação por mercúrio preocupam comunidade indígena Yanomami. **Fiocruz**, 2016. Disponível em: < <https://informe.ensp.fiocruz.br/noticias/39388>> Acesso em: 02 ago. 2023.

FAGUNDES, Beatriz Helena Fernandes et al, **Methylmercury exposure during prenatal and postnatal neurodevelopment promotes oxidative stress associated with motor and cognitive damages in rats: an environmental- experimental toxicology study**, Toxicology Reports, v 9, p. 563-574, fev. 2022, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.02.014>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214750022000269> Acesso em: 02 set. 2023.

FARINA, M; ASCHENER, M; ROCHA J.B. **Oxidative stress in MeHg-induced neurotoxicity**. **Environment International**, USA, v. 256, p. 405-417, nov. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.taap.2011.05.001>.
em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0041008X11001700#pre-view-section-cited-by>>. Acesso em: 02 ago. 2023.

FERREIRA, A. L. A.; MATSUBARA, L. S. **Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo**. Revista da Associação Médica Brasileira, v. 43, n. 1, p. 61-8, jan. 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-42301997000100014>.

GALLAGHER, J. D.; NOELLE, R. J.; MCCANN, F. V. **Mercury suppression of a potassium current in human B lymphocytes**. Cellular Signalling, v. 7, n. 1, p. 31- 38, 1995. Disponível em: Mercury suppression of a potassium current in human Blymphocytes - ScienceDirect
Acesso em: 02 set. 2023.

GROTTO, Denise et al. **Evaluation of toxic effects of a diet containing fish contaminated with methylmercury in rats mimicking the exposure in the Amazon riverside population**, SP, v. 111, p. 1074-1082, set. 2011. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.09.013>.
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935111002386>> . Acesso em: 02 set.

2023.

JUNIOR, José Maria et al. **Teores de mercúrio em cabelo e consumo do pescado de comunidades ribeirinhas na Amazônia brasileira, região do Tapajós. Ciência & Saúde Coletiva**, Belém, v. 23, n. 3, p. 1-8, mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232018233.09492016>. em: <<https://www.scielo.org/article/csc/2018.v23n3/805-812>>. Acesso em: 02 ago. 2023.

LOPEZ, Maria Elena et al. **Genotoxicity of mercury: Contributing for the analysis of Amazonian populations. Environment International**, Belém, v. 37, n. 1, p. 136- 141, jan. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.08.009>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412010001595>>. Acesso em: 02 ago. 2023.

MAGDOLENOVA, Z.; COLLINS, A.; KUMAR, A.; DHAWAN, A.; STONE, V.; DUSINSKA, M. **Mechanisms of genotoxicity. A review of in vitro and in vivo studies with engineered nanoparticles. Nanotoxicology**, v. 8, n. 3, p. 233-78, maio 2014. doi: <10.3109/17435390.2013.773464> Mechanisms of genotoxicity. A review of in vitro and in vivo studies with engineered nanoparticles - PubMed (nih.gov) Epub 2013 Mar 20. PMID: 23379603.

MERCURY and health. **World Health Organization**, 31 mar. 2017. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/mercury-and-health>>. Acesso em: 02 ago. 2023.

OGA, Seizi; CAMARGO, Márcia Maria de Almeida; BATISTUZZO, José Antonio de Oliveira. **Fundamentos de toxicologia**. São Paulo: Atheneu, 2021.

RAMOS, Alcida Rita; SENRA, Estêvão Benfica; OLIVEIRA, Marcos Wesley. **Terra indígena Yanomami 30 anos: o futuro é indígena**. Instituto Socioambiental Hutukara Associação Yanomami, São Paulo, 2022.

Rios na terra yanomami têm 8600% de contaminação por mercúrio, revela laudo da PF. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2022. Disponível em: <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=39&campo=17680> Acesso em: 02 ago. 2023.

SANTOS, et. al. **Exposição ao mercúrio e ao arsênio em Estados da Amazônia: síntese dos estudos do Instituto Evandro Chagas/FUNASA**. Brasil, Vol. 6, Nº 2, 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbepid/a/3PmZtFcYhht3nLRS8T9BFgK/?format=pdf&lang=pt>> Acesso em: 02 ago. 2023

SHENKER, B. J.; GUO, T. L.; SHAPIRO, I. M. **Low-level methylmercury exposure causes human T-cells to undergo apoptosis: evidence of mitochondrial dysfunction. Environmental Research**, v. 77, n. 2, p. 149-159, maio 1998. DOI: <10.1006/enrs.1997.3816.> Em: Low-Level Methylmercury Exposure Causes Human T-Cells to Undergo Apoptosis: Evidence of Mitochondrial Dysfunction - ScienceDirect PMID: 9600808. Acesso em: 15 ago. 2023.

SILVA, et. al. **Convenção de Minamata: análise dos impactos socioambientais de uma**

solução em longo prazo. Rio de Janeiro, v. 41, p. 50-62, jun. 2017. DOI: 10.1590/0103-11042017S205. Acesso em: 02 ago. 2023.

TEIXEIRA, Francisco Bruno et al. **Neurochemical dysfunction in motor cortex and hippocampus impairs the behavioral performance of rats chronically exposed to inorganic mercury.** *Journal of Trace Elements in Medicine in Biology*, Pará, v. 52, p. 143-150, mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.12.008>.
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0946672X1830542X?via%3Dihub>>. Acesso em: 04 ago. 2023.