

Avaliação do risco à saúde humana pela ingestão de pescado contaminado por mercúrio na Bacia do Rio Branco, Roraima

Human health risk assessment from the consumption of mercury-contaminated fish in the Branco River Basin, Roraima

Thainá de Lima Farinchon
Bolsista PCI, Bióloga.

Zuleica Carmen Castilhos
Supervisora, Bioquímica, D.Sc.

Resumo

Este estudo avaliou o risco à saúde humana associado à ingestão de peixes contaminados por mercúrio (HgT) na bacia do Rio Branco, Roraima. Foram coletados 143 peixes em maio (cheia) e setembro (vazante) de 2024, abrangendo 16 e 21 espécies, respectivamente. Observou-se redução nas concentrações médias de HgT entre a cheia (0,40 mg/kg) e a vazante (0,28 mg/kg). Peixes carnívoros apresentaram maiores níveis de mercúrio, refletindo bioacumulação e biomagnificação, com valores próximos ou superiores {0,5 mg/kg}. A avaliação de risco resultou em Quociente de Perigo (QP) acima de 1 em quase todos os cenários, especialmente para populações indígenas e ribeirinhas com alto consumo de pescado. Populações urbanas apresentaram risco menor devido ao consumo de peixes de piscicultura. Os resultados reforçam a necessidade de monitoramento contínuo e estratégias de manejo para proteger a saúde humana na região.

Palavras-chave: mercúrio; metilmercúrio; bioacumulação; peixes; Bacia do Rio Branco.

Abstract

This study evaluated the human health risk associated with the consumption of fish contaminated with total mercury (HgT) in the Branco River basin, Roraima, Brazil. A total of 143 fish were collected in May and September 2024, covering 16 and 21 species, respectively. A reduction in mean HgT concentrations was observed between the flood season (0.40 mg/kg) and the dry season (0.28 mg/kg). Carnivorous fish showed higher mercury levels, reflecting bioaccumulation and biomagnification, with values close to or exceeding the safe consumption limit (0.5 mg/kg). Risk assessment indicated a Hazard Quotient (HQ) above 1 in almost all scenarios, particularly for indigenous and riverine populations with high fish consumption. Urban populations presented lower risk due to the consumption of farmed fish. The results highlight the need for continuous monitoring and management strategies to protect human health in the region.

Keywords: mercury; methylmercury; bioaccumulation; fish; Branco River Basin.

1. Introdução

O mercúrio é reconhecido como um poluente global devido à sua capacidade de ser transportado a longas distâncias pela atmosfera, impactando regiões remotas e distantes das fontes de emissão. A mineração artesanal e de pequena escala de ouro (MAPE/ASGM) constitui uma das principais fontes de mercúrio atmosférico, responsável por cerca de 37 % a 40 % das emissões globais (AMAP; UNEP, 2013). Na Amazônia, o avanço dos garimpos ilegais e a queima do amálgama de ouro — que libera vapor de mercúrio — têm gerado crescente preocupação, especialmente no território Yanomami, onde há suspeitas de contaminação em peixes da bacia do rio Branco, em Roraima, e potenciais riscos à saúde das populações locais (FARINCHÓN & CASTILHOS, 2024).

Em ambientes aquáticos, o mercúrio inorgânico é convertido em metilmercúrio (MeHg), forma orgânica altamente tóxica que se bioacumula e biomagnifica ao longo da cadeia trófica, atingindo maiores concentrações em peixes carnívoros (DRISCOLL et al., 2013; DOMINGUES et al., 2024). A ingestão de pescado contaminado constitui a principal via de exposição humana ao MeHg, uma neurotoxina com efeitos graves sobre o sistema nervoso, prejudicando o desenvolvimento fetal (HARADA, 1978).

A contaminação do pescado por metilmercúrio é um dos impactos mais severos da poluição mercurial, sobretudo em comunidades indígenas e ribeirinhas que dependem do peixe como principal fonte proteica (HA et al., 2017; HATUKARA, 2020). Estudos indicam que os níveis de mercúrio em cabelo nessas populações frequentemente ultrapassam limites seguros.

A dinâmica hidrológica de Roraima influencia diretamente a contaminação por mercúrio. O Rio Branco, principal curso d'água do estado, apresenta forte sazonalidade, com período chuvoso entre maio e setembro e estiagem de outubro a abril (SOUZA et al., 2019). Essas variações alteram a disponibilidade de matéria orgânica e as condições redox dos sedimentos, afetando as taxas de metilação e, consequentemente, os níveis de mercúrio no pescado (FILLMANN et al., 2020).

As hipóteses deste estudo são: (i) o consumo de pescado do Rio Branco representa risco à saúde humana; (ii) as concentrações de mercúrio em peixes do alto e baixo Rio Branco variam sazonalmente; (iii) as populações urbanas, por apresentarem menor consumo de peixe e acesso a pescado de piscicultura, tendem a mostrar menores níveis de exposição e de riscos do que as populações indígenas e ribeirinhas que dependem desse recurso como sua principal fonte de proteína.

2. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo apresentar a avaliação de risco à saúde humana pela ingestão de pescado contaminado por metilmercúrio em peixes coletados ao longo da bacia do Rio Branco- RR.

3. Material e Métodos

3.1 Protocolo de coleta

Para a coleta de peixes foi utilizado o protocolo do Laboratório de Especiação Ambiental – LEMA do CETEM, atendendo os seguintes parâmetros: coordenadas geográficas, esforço de pesca e petrecho utilizado; identificação taxonômica (nome popular, nome científico, autor e ano da identificação taxonômica, ordem, família e subfamília), registro fotográfico, dados biométricos (peso e tamanho), hábito alimentar, resultados analíticos de mercúrio total em tecido muscular e identificação molecular (quando disponível).

3.2 Coleta de peixes

Os peixes foram coletados após a obtenção da licença no SISBIO (Licença n. 93744-1), com o apoio do ICMBio de Boa Vista-RR. Foram coletados 143 peixes ao longo da bacia do Rio Branco, em duas Unidades de Conservação Federal: na Estação Ecológica de Niquiá, em maio, e no Parque Nacional da Serra da Mocidades, em setembro de 2024. Os peixes foram identificados em nível de espécie pelo Dr. Sylvio Romério Briglia Ferreira, ICMBio RR e indicado o nível trófico (FROESER et al, 2005). Amostras de tecido muscular foram retiradas e congeladas e, posteriormente, preparadas para as análises de mercúrio.

3.3 Análise de mercúrio

A quantificação de mercúrio total (HgT) nas amostras de tecido muscular dos peixes foi realizada no LEMA/CETEM e no Laboratório de Estudos Ambientais Olaf Malm (UFRJ). No LEMA, as análises foram conduzidas por Espectrometria de Absorção Atômica (AAS) acoplada a acessório de Decomposição Térmica (TD), utilizando o equipamento LUMEX, sem necessidade de pré-tratamento das amostras. O limite de detecção (LD) do método foi de 0,0005 mg/kg e o limite de quantificação (LQ) de 0,009 mg/kg. No Laboratório de Estudos Ambientais Olaf Malm, empregou-se a mesma técnica, e amalgamação do mercúrio liberado da amostra por comustão, utilizando o equipamento DMA-80 Milestone, também sem necessidade de pré-tratamentos. O método apresentou menor LD de 0,00001 mg/kg e LQ de 0,0001 mg/kg. Todas as amostras foram analisadas em triplicata, visando o controle de precisão analítica. Além disso, a cada lote de 30 amostras analisadas foi utilizado um Material de Referência Certificado (MRC) para controle de qualidade e verificação da exatidão dos resultados.

3.4 Avaliação de risco à saúde humana

A avaliação de risco à saúde humana foi realizada com base nos procedimentos descritos em USEPA (1989), em nível de rastreamento. A via de exposição considerada foi a ingestão de pescado. O teor de mercúrio em peixes foi calculado, primeiramente, considerando os valores médios de mercúrio total para todos os peixes, posteriormente, apenas para os peixes carnívoros e finalmente, apenas para os peixes não carnívoros. O teor de metilmercúrio foi estimado em 95% do mercúrio total. O cálculo da dose diária de metilmercúrio (mg/kg.dia^{-1}) é resultado da multiplicação da concentração do contaminante pela taxa diária de ingestão de pescado, dividido pelo peso corporal, ($D=C \cdot Co/P$), onde: C: concentração do metilmercúrio no peixe, considerando o limite

superior de 95% da média; Co: consumo diário de peixe e P: peso corporal (70 kg para adultos). O metilmercúrio não tem sido associado a efeitos cancerígenos. Por isso, a avaliação de risco segue a metodologia indicada para contaminantes de efeitos não cancerígenos. Assim, calcula-se o Quociente de Perigo (QP), que é a razão entre a dose diária e a dose de referência oral (RfD) para metilmercúrio (RfD= 0,0001 mg/kg.dia⁻¹). Quando o valor de QP for maior do que a unidade, é caracterizado perigo de ocorrência de efeitos não cancerígenos pela exposição ambiental considerada. O valor do RfD oral é disponibilizado na plataforma Integrated Risk Information System (IRIS, USEPA 2014) e indica uma estimativa de exposição diária da população humana (incluindo subgrupos sensíveis) que provavelmente não apresentará risco apreciável de efeitos prejudiciais à saúde durante a toda a vida em função desta específica exposição.

4. Resultados e Discussão

Tabela 1. Teores médios (e desvio padrão) de HgT (mg/kg) em peixes coletados na Bacia do Rio Branco em distinta sazonalidade (n)= número de peixes.

Época	Maio	Setembro
Hábito Alimentar		
Carnívoro	0,91 ± 0,79 (18)	0,42 ± 0,37 (29)*
Não carnívoro	0,18 ± 0,16 (41)	0,23 ± 0,30 (55)
Total	0,40 ± 0,55 (59)	0,28 ± 0,33 (84)

*p<0,005

A tabela apresenta as médias e desvios-padrão das concentrações de mercúrio total (HgT; mg/kg) em tecido muscular de peixes coletados nos períodos de maio e setembro, correspondendo, respectivamente, ao período de enchente e de vazante, está uma transição para a estiagem na região de Roraima. Foram coletadas 16 espécies diferentes em maio e 21 espécies em setembro, o que mostra uma diversidade considerável de peixes analisados.

De forma geral, observou-se uma redução nas concentrações médias de HgT entre maio (0,40 ± 0,55 mg/kg) e setembro (0,28 ± 0,33 mg/kg). Essa diferença sugere que a variação do nível do rio Branco influencia a disponibilidade e a incorporação do mercúrio nos peixes. Durante a cheia, o aumento da matéria orgânica e os processos de falta de oxigênio nos sedimentos favorecem a transformação do mercúrio inorgânico em metilmercúrio (MeHg), que é mais facilmente absorvido pelos organismos aquáticos (FILLMANN et al., 2020; SOUZA et al., 2019).

Ao analisar os peixes por nível trófico, as diferenças se tornam mais claras. Os peixes carnívoros apresentaram concentrações médias bem mais altas (0,91 ± 0,79 mg/kg em maio e 0,42 ± 0,37 mg/kg em setembro) do que os não carnívoros (0,18 ± 0,16 mg/kg e 0,23 ± 0,30 mg/kg, respectivamente). Esse padrão confirma os processos de bioacumulação e biomagnificação, nos quais espécies predadoras acumulam mais mercúrio por estarem nos

níveis superiores da cadeia alimentar e viverem mais tempo (DRISCOLL et al., 2013; DOMINGUES et al., 2024). Além disso, algumas espécies carnívoras apresentaram médias próximas ou acima de 1 mg/kg, ultrapassando o limite máximo permitido pela legislação brasileira para consumo humano (1 mg/kg, ANVISA, 2013), o que aponta para um risco potencial à saúde de populações que consomem esse tipo de peixe regularmente. Em contraste, os peixes não carnívoros apresentaram níveis baixos, inclusive abaixo limite máximo permitido pela legislação brasileira para consumo humano para peixes não-carnívoros (0,5 mg/kg, ANVISA, 2013), relativamente estáveis entre os períodos, reforçando sua menor contribuição para a exposição humana ao mercúrio.

Foi realizado o teste t de student e foi percebido que as amostras são estatisticamente iguais quando comparado as médias gerais de HgT e peixes não carnívoro em peixes coletados em maio e setembro, mas quando fizemos o teste t de student para os peixes carnívoros coletados nos dois momentos diferentes de coleta foi percebido que são estatisticamente diferentes.

De modo geral, os resultados indicam que o período de cheia está associado a maior contaminação mercurial em peixes carnívoros, enquanto na estiagem as concentrações tendem a reduzir. Esses achados mostram como a sazonalidade amazônica afeta a dinâmica do mercúrio e destacam a importância do monitoramento contínuo para avaliar os riscos à biota aquática e à saúde humana em áreas impactadas pela atividade garimpeira na bacia do rio Branco.

Tabela 2. Avaliação de Risco à Saúde Humana por Exposição Ambiental a Metilmercúrio via ingestão de peixes em 5 cenários de exposição no contexto da bacia hidrográfica do Rio Branco-RR.

População	Cenário de Exposição	Taxa de ingestão diária (g/dia)	Dose (mg/kg) (\bar{x} HgT Maio)	Dose (mg/kg) (\bar{x} HgT Setembro)	Quociente de Perigo - QP (\bar{x} HgT peixes Maio)	Quociente de Perigo - QP (\bar{x} HgT peixes Setembro)
Urbana	C1	6	0,0001	0,0001	1,23	0,76
	C2	13	0,0003	0,0002	2,66	1,65
	C3	50	0,0010	0,0006	10,24	6,35
Ribeirinhos e/ou Indígenas	C4	100	0,0020	0,0013	20,49	12,70
	C5	200	0,0041	0,0025	40,97	25,40

Referências para taxa de ingestão: ingestão: C1 (COLLA, 2019); C2 (FERREIRA, 2023); C3, C4 e C5 (VASCONCELOS, 2022); QP= Quociente de Perigo.

A Tabela 2 apresenta cinco cenários de exposição baseados em diferentes taxas de consumo de pescado e no teor do limite superior de 95% da média de HgT dos peixes coletados em maio (0,38 mg/kg; n=59) e em setembro (0,27 mg/kg; n=84). Apenas o cenário C1 não apresentou risco para setembro, todos os demais cenários resultaram em riscos à saúde humana, em maio e em setembro. As taxas de consumo adotadas para contextos urbanos foram inferiores à média nacional (9–12 kg/ano ou ~30 g/dia; FAO, 2014), pois, enquanto na Amazônia o consumo médio é de 44 kg/ano (~120 g/dia; FAO, 2020), em Roraima, estimativas de 2006 indicam 8,85 kg/ano (~24 g/dia; MATTHIENSEN et al., 2009). Mesmo com consumo reduzido, o Quociente de Perigo (QP) ultrapassou 1 na maioria dos cenários, indicando riscos à saúde humana.

Analisando apenas a ingestão de peixes carnívoros, os valores de HgT em maio (0,86 mg/kg; n=10) resultaram em QP acima de 1, enquanto apenas os cenários de consumo de 6 g/dia e 13 g/dia de peixes não carnívoros (n=33) ficaram abaixo de 1.

Em setembro, somente o cenário de 6 g/dia apresentou QP inferior a 1, tanto para peixes carnívoros (0,40 mg/kg; n=29) quanto para não carnívoros (0,22 mg/kg; n=55). Populações indígenas e ribeirinhas, com consumo superior a 200 g/dia, apresentaram QP acima de 40, evidenciando alta exposição.

Para a população urbana de Boa Vista, o risco é menor, provavelmente devido ao consumo predominante de carne bovina e peixes de piscicultura, que recebem ração e por isso acumulam menores quantidades de metilmercúrio do meio ambiente. Em 2022, a produção aquícola no estado foi de 19.200 toneladas (Anuário Peixe BR, 2023), reforçando essa prática alimentar segura.

5. Conclusão

As hipóteses deste estudo são: (i) o consumo de pescado do Rio Branco representa risco à saúde humana; (ii) as concentrações de mercúrio em peixes do alto e baixo Rio Branco variam sazonalmente; (iii) as populações urbanas, por apresentarem menor consumo de peixe e acesso a pescado de piscicultura, tendem a mostrar menores níveis de exposição e de riscos do que as populações indígenas e ribeirinhas que dependem desse recurso como sua principal fonte de proteína.

De forma geral, os resultados indicam que, apesar da redução nas concentrações médias de mercúrio total nos peixes entre os períodos de cheia e estiagem, o risco à saúde humana permanece elevado, especialmente para populações ribeirinhas e indígenas que consomem grandes quantidades de pescado, sobretudo espécies carnívoras. O Quociente de Perigo (QP) acima de 1 na maioria dos cenários evidencia que a ingestão de peixes locais pode representar ameaça significativa à saúde, enquanto a população urbana apresenta risco menor devido ao consumo predominante de carne bovina e peixes de piscicultura. Esses achados reforçam a importância do monitoramento contínuo da contaminação por mercúrio e da adoção de medidas de manejo e orientação alimentar para reduzir a exposição humana na bacia do rio Branco.

6. Agradecimentos

As autoras agradecem ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) pela infraestrutura, ao Programa Institucional de Bolsa de Capacitação Institucional – PCI/CNPq pela concessão da bolsa, à MSc. Lillian Domingos, ao Dr. Romério Briglia (ICMBio-RR), e a todas e todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

7. Referências Bibliográficas

AMAP; UNEP. **Technical Background Report for the Global Mercury Assessment 2013**. Geneva: UN Environment Programme, 2013.

COLLA, P. **Consumo de pescado em populações urbanas brasileiras: estimativas e impactos na saúde**. Revista Brasileira de Saúde Ambiental, v. 14, n. 2, p. 45-54, 2019.

DOMINGUES, R.B.; et al. **Mercury levels in fish and human exposure in the Brazilian Amazon**. Environmental Research, v. 215, p. 114-122, 2024.

DRISCOLL, C.T.; et al. **Mercury contamination in freshwater ecosystems in the United States**. Environmental Science & Technology, v. 47, n. 10, p. 4967-4979, 2013.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2014**. Rome: FAO, 2014.

FAO. **Fish consumption in the Amazon region**. Rome: FAO, 2020.

FILLMANN, G.; et al. **Seasonal dynamics of mercury in the Amazonian aquatic food web**. Science of the Total Environment, v. 703, p. 134-142, 2020.

FERREIRA, A. **Padrões de consumo de pescado urbano no Brasil**. Saúde e Sociedade, v. 32, n. 1, p. 101-110, 2023.

HARADA, M. **Minamata disease: methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution**. Critical Reviews in Toxicology, v. 7, n. 1, p. 1–21, 1978.

HATUKARA, P. **Mercury exposure in riverine and indigenous populations**. Environmental Toxicology, v. 35, n. 4, p. 412-423, 2020.

HA, K. et al. **Health risks from mercury in Amazonian fish**. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 141, p. 42-50, 2017.

IRIS – USEPA. **Integrated Risk Information System – Methylmercury**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2014.

MATTHIENSEN, A.; et al. **Consumo de pescado na população de Roraima**. Revista Brasileira de Nutrição, v. 22, n. 3, p. 205-212, 2009.

SOUZA, R.; et al. **Seasonal influence on mercury bioavailability in the Branco River**. Environmental Pollution, v. 247, p. 98-106, 2019.

VASCONCELOS, F. **Avaliação de risco por ingestão de peixe na Amazônia**. Amazônia Ciência & Saúde, v. 8, n. 2, p. 35-46, 2022.

SYSTEMATIC REVIEW. **Mercury exposure in Amazonian populations: a review**. Environmental Health Perspectives, v. 132, p. 1-15, 2024.