

# **Avaliação de Risco Atribuído ao Consumo de Pescado Contaminado por Mercúrio na Amazônia Brasileira: Um Estudo Ecológico**

Resumo:

Palavras-Chave: *Amazônia, pescados, avaliação de risco à saúde, mercúrio, garimpo*

## **1. INTRODUÇÃO**

Devido ao fato de o mercúrio ocupar o terceiro lugar no ranking mundial de toxicidade como poluente ambiental mais perigoso à saúde humana, e de que há estimativas que aproximadamente 19 milhões de pessoas ao redor do mundo encontram-se sob risco de adoecer em decorrência do contato com este contaminante químico, em 2013, a Organização das Nações Unidas promulgou a Convenção de Minamata [1]. A convenção prevê o banimento do mercúrio de todos os processos industriais no planeta e a regulamentação do garimpo informal com vistas a controlar e substituir o uso do mercúrio. O garimpo artesanal de ouro constitui a maior fonte de exposição humana ao mercúrio na América Latina[2,3]. Uma vez que o país signatário admite que o garimpo de ouro não é um problema insignificante, a Convenção exige a elaboração de um plano nacional de ação para o enfrentamento do problema. No Brasil, a Convenção de Minamata foi promulgada pelo Decreto 9.470, em 14/08/2018, mas até o momento o governo federal ainda não apresentou o plano de enfrentamento.

Ao longo do tempo, o mercúrio metálico utilizado no garimpo se acumula no sedimento dos rios onde é convertido em metilmercúrio (a forma química mais perigosa à saúde humana e ao ecossistema) e rapidamente incorporado aos organismos que compõem a biota aquática [4–6]. Grande parte do perigo atribuído ao metilmercúrio deve-se ao seu elevado potencial neurotóxico, e à sua capacidade de bioacumulação e biomagnificação em cadeias tróficas aquáticas, sendo os pescados diretamente afetados pela contaminação. O processo acima descrito resulta em danos à saúde humana e de vários animais que consomem peixes e outros organismos aquáticos contaminados

O metilmercúrio é extremamente lipossolúvel e, devido a esta característica, pode atravessar a barreira hemato encefálica e atingir o sistema nervoso central. Dentre os danos à saúde causados pelo metilmercúrio, destacam-se: alterações na marcha, problemas de equilíbrio e de coordenação motora, diminuição do campo visual e perda sensibilidade na pele[7,8]. Em gestantes, a contaminação é ainda mais grave uma vez que o metilmercúrio é capaz de ultrapassar a barreira placentária e atingir o cérebro do feto ainda em formação, causando danos

irreversíveis, incluindo perda de audição, déficit cognitivo, retardo no desenvolvimento e malformação congênita, em crianças expostas durante o período intrauterino [9–11].

As populações amazônicas apresentam uma das mais altas taxas per capita de consumo de peixes no mundo [12–14]. O peixe é a proteína animal de mais fácil acesso na região amazônica, garantindo desta forma a segurança alimentar e nutricional das populações rurais e urbanas da região. O pescado é um alimento de alto valor nutricional devido ao seu elevado teor proteico e por conter vitaminas e minerais importantes para a manutenção de uma boa saúde [15,16]. Apesar das inúmeras evidências acerca da qualidade nutricional dos peixes, a crescente contaminação de sistemas aquáticos por contaminantes ambientais, como pesticidas e metais pesados, tem gerado preocupações na sociedade e suscitado um debate importante sobre os riscos e benefícios de uma dieta rica neste tipo de proteína animal.

A contaminação dos peixes na Bacia Amazônica pelo garimpo e outras fontes está bem documentada desde a década de 1960. Nos últimos anos, devido ao crescimento da atividade de garimpo, a suspeita de crescimento da contaminação por mercúrio em peixes capturados nos rios formadores da Bacia Amazônica tem aumentado muito e tem gerado uma série de preocupações com a saúde da população que vive na região[6,17,18].

Considerando o avanço da atividade garimpeira nos últimos anos, bem como a gravidade dos danos à saúde que o mercúrio pode causar à população e ao ambiente, esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar o risco atribuído ao consumo de pescado contaminado por mercúrio, proveniente de diferentes localidades da Região Amazônica. Além disso, objetivou-se ampliar o debate junto à sociedade civil acerca dos efeitos deletérios provocados pelo garimpo de ouro não somente as populações rurais, mas também a população que vive em centros urbanos, e que tem o hábito de consumir peixes regularmente na região.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Área e desenho de estudo**

Realizou-se um estudo de abordagem ecológica para avaliação de risco à saúde atribuído ao consumo de pescado em seis unidades federativas da região Amazônica, incluindo pescados obtidos em todas as capitais da Amazônia brasileira (a exceção de Cuiabá) e mais 11 cidades cobrindo dezessete municípios, a saber (Figura 1):

- Acre (AC): **Rio Branco**
- Amapá (AP): **Macapá** e Oiapoque

- Amazonas (AM): Humaitá, **Manaus**, Marañ, Santa Isabel do Rio Negro, São Gabriel da Cachoeira e Tefé
- Pará (PA): Altamira, **Belém**, Itaituba, Oriximiná, Santarém, e São Félix do Xingú
- Rondônia (RO): **Porto Velho**
- Roraima (RR): **Boa Vista**

## 2.2.Coleta de Amostras de Pescado e Análise de Mercúrio

Os peixes amostrados foram adquiridos em mercados públicos, feiras-livres ou diretamente com os pescadores nos pontos em que ocorre o desembarque pesqueiro, no período de março de 2021 a setembro de 2022. Para uma padronização do pescado a ser amostrado foi elaborada uma lista prévia com os peixes mais comumente encontrados nas feiras-livres e mercados baseado em literatura especializada [19–22]. A essa lista foi adicionado o nome científico das espécies de peixes bem como seu hábito alimentar prioritário e guilda trófica baseado em literatura científica[22–24]. Sempre que possível foram amostrados no mínimo três diferentes espécies em cada guilda trófica e no mínimo três indivíduos de cada espécie de diferentes tamanhos. As guildas tróficas foram classificadas de maneira genérica como carnívoro, onívoro, detritívoro e herbívoro.

Após a aquisição, os pescados foram acondicionados em caixas térmicas com gelo e encaminhados para a etapa de caracterização/descrição, seguida da retirada de amostras de tecido muscular para determinação dos níveis de mercúrio. Cada um dos exemplares foi fotografado, sendo registrados os seguintes dados: nome popular, nome científico, data, local da captura do pescado, local de compra do pescado, peso (g) e comprimento padrão (cm).

Cada peixe coletado teve a sua identificação confirmada ao menor nível taxonômico possível utilizando bibliografia especializada, chaves dicotômicas e consulta a especialistas. Posteriormente, foram extraídos cerca de 20 gramas de tecido muscular da parte dorsal de cada indivíduo, que foram armazenados em sacos plásticos do tipo “ziploc” e devidamente identificados com um código que representa a espécie, local e data de coleta.

As amostras foram enviadas para análise dos níveis de mercúrio no Laboratório de Especiação de Mercúrio Ambiental (LEMA, do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), no Rio de Janeiro-RJ. Foram realizadas 3 repetições por amostra, com precisão das análises de 85% (R da Curva de calibração: 0,9949). Utilizou-se como material de referência certificado da curva de calibração o IAEA 461 (0,390 mg/kg). A técnica analítica empregada foi a Espectrometria de Absorção Atômica com forno de grafite (Equipamento: RA-915+ acoplado a Pyro-915+ -

Nº de série 465). O Limite de Detecção de mercúrio (LD) foi 0,0005 mg/kg, e o Limite de Quantificação (LQ) foi 0,009mg/kg.

### **2.3.Avaliação de Risco à Saúde**

O estudo de avaliação do risco à saúde atribuído ao consumo de pescado contaminado por mercúrio foi realizado conforme a metodologia proposta pela Organização Mundial da Saúde [25], considerando as seguintes etapas:

#### **2.3.1. Caracterização da população de estudo**

Esta etapa consiste em definir os estratos populacionais sob investigação (i.e.: sexo e faixa etária), estimar seus respectivos pesos médios (em quilogramas) e a quantidade média de pescado ingerida diariamente (em gramas).

Consideraram-se os seguintes estratos populacionais: i) mulheres em idade fértil (10 a 49 anos); ii) homens adultos ( $\geq 18$  anos); iii) crianças de 5 a 12 anos; e iv) crianças de 2 a 4 anos.

Os dados de peso corporal para cada um dos estratos populacionais foram obtidos por intermédio de consulta à Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF, 2008), organizados pelo Sistema IBGE de Recuperação Automática (dados mais recente disponível para consulta pública). Utilizou-se as seguintes médias de peso corporal: i) 50,95 kg para mulheres em idade fértil; ii) 66,88 kg para homens adultos; iii) 27,92 kg para crianças de 5 a 12 anos; e iv) 14,49 kg para crianças de 2 a 4 anos.

A estimativa de consumo de peixes pela população da Amazônia baseou-se no relatório sobre o consumo de pescado na Região Amazônica do Brasil que aponta o consumo médio *per capita* de aproximadamente 100 gramas de pescado por dia em áreas urbanas [12].

#### **2.3.2. Estimativa da dose diária de ingestão de mercúrio**

Para a segunda etapa foram assumidos como pressupostos: (i) que 100% do mercúrio detectado nas amostras dos pescados encontra-se na forma química de metilmercúrio (MeHg); e (ii) que aproximadamente 80% da quantidade de mercúrio ingerida na alimentação é absorvida pelo trato gastrointestinal humano (dose de absorção).

#### **2.3.3. Cálculo da razão de risco**

A razão de risco (RR) indica o potencial de dano à saúde provocado pelo consumo do pescado contaminado. O cálculo foi realizado a partir da divisão da quantidade média absorvida pelo organismo humano (i.e.: 80% da dose ingerida) pela dose de referência. Para este estudo considerou-se como referência a dose de ingestão diária segura de 0,1  $\mu\text{g}$  MeHg/kg peso corporal/dia proposta pela *Environmental Protection Agency* (U.S.EPA)[26].

Quando a  $RR < 1$ , a dose de mercúrio absorvida é inferior à dose de referência considerada, conseqüentemente, o risco de adoecer é baixo. Por outro lado, quando a  $RR \geq 1$  a dose de mercúrio absorvida ultrapassa a dose de referência considerada, e o risco de adoecer devido à exposição ao mercúrio deve ser considerado. Quanto maior for a  $RR$ , maior o risco potencial de dano à saúde da população.

#### 2.3.4. Indicar o Consumo Máximo Seguro de Pescado (CMS)

Concluindo a avaliação de risco à saúde, foi definido o Consumo Máximo Seguro de Pescado (CMS) para a população dos diferentes estados considerados, multiplicando-se a dose de referência proposta pela U.S.EPA pelo peso corporal dos participantes. Em seguida, dividiu-se o produto desta multiplicação pela concentração média de mercúrio total ( $\mu\text{g/g}$ ) detectada nas diferentes espécies de peixes. Como existem preferências regionais no consumo do pescado, bem como diferentes níveis de acúmulo de mercúrio conforme a dieta de cada espécie de peixe [27,28], padronizou-se o consumo composto em média por 50% de espécies de peixes carnívoro e 50% de peixes não-carnívoro. Com isso, pretende-se fornecer orientações à sociedade local para que o consumo do pescado possa ser realizado de maneira segura.

#### 2.4 Análise estatística

A fim de explorar fatores associados com os níveis de contaminação por mercúrio nos peixes  $\geq 0,5\mu\text{g/g}$  nas localidades estudadas, realizou-se uma regressão de Poison, utilizando-se como medida de associação a Razão de Prevalência (RP), considerando o intervalo de confiança de 95%. Depois da análise bruta inicial, permanecerem no modelo final as variáveis que demonstraram nível de significância ( $p$ -valor)  $< 0,05$ . Os dados foram analisados com o pacote estatístico *Statistical Package for the Social Science* (SPSS), versão 9.0 (SPSS, Chicago Inc).

### 3. RESULTADOS

No total, foram coletados 1010 exemplares de peixes, de 80 espécies distintas, distribuídas em quatro níveis tróficos: herbívoro, detritívoro, onívoro e carnívoro. Cento e cinquenta e nove amostras apresentaram níveis de mercúrio abaixo do limite de detecção, e 38 apresentaram níveis de mercúrio abaixo do limite de quantificação, totalizando, portanto, 197 amostras (19,5%) nas quais não foi possível estimar os níveis de contaminação por mercúrio.

As concentrações de mercúrio nos pescados variaram de 0,0 a 4,73  $\mu\text{g/g}$ , sendo a concentração média de 0,34  $\mu\text{g/g}$  (desvio-padrão: 0,56) e a mediana de 0,13  $\mu\text{g/g}$  (Tabela 1).

Analisando os diferentes níveis tróficos, foram coletados 110 peixes herbívoros, 130 detritívoros, 286 onívoros e 484 carnívoros. A concentração média de mercúrio entre os peixes não-carnívoros (i.e.: herbívoros, detritívoros e onívoros) foi 0,092 µg/g (n= 526) e em peixes carnívoros foi 0,603 µg/g (n= 484) (Tabela 1).

Considerando todos os peixes coletados, 21,3% apresentaram níveis maiores ou iguais a 0,5 microgramas de mercúrio para cada grama de tecido muscular analisado (e.g.  $\geq 0,5\mu\text{g/g}$ ).

Considerando os níveis de contaminação mercurial, a razão de risco e o consumo máximo seguro de pescado de acordo com as Unidades Federativas da região Amazônica os resultados são os seguintes:

No Acre (AC), foram coletados 78 exemplares de peixes, de 25 espécies distintas. A concentração média de mercúrio foi 0,58 µg/g e mediana 0,15 µg/g. Neste estado, 35,9% dos peixes coletados apresentaram níveis de mercúrio superiores a 0,5 µg/g (Tabela 1). A análise do risco atribuível ao consumo de pescado revelou que a ingestão diária de mercúrio excedeu a dose de referência preconizada pela U.S.EPA (0,1 µg/kg pc/dia) em todos os extratos populacionais analisados (Tabela 2). Em síntese, a ingestão de mercúrio foi de 6,9 a 31,5 vezes maior do que a dose de referência preconizada pela U.S.EPA. Analisando os extratos populacionais mais vulneráveis aos efeitos do mercúrio, as mulheres em idade fértil ingerem aproximadamente 9 vezes mais mercúrio do que a dose preconizada e crianças de 2 a 4 anos ingerem 31 vezes mais (Tabela 2). Os peixes mais contaminados por mercúrio foram: a Cachorra (média 1,45 µg/g), o Filhote (média 2,07 µg/g) e a Dourada (média: 3,57 µg/g). Por outro lado, o Pacú, a Pirapitinga e o Tambaqui podem ser consumidos livremente por todos os extratos populacionais analisados, uma vez que apresentaram níveis de mercúrio próximos a zero (i.e.: inferiores a 0,0005 µg/g e, portanto, indetectáveis pelo método analítico). Além disso, a Tilápia, a Jatuarana, o Aracú Cabeça Gorda e o Acará podem ser consumidos com segurança por homens adultos e mulheres em idade fértil em quantidades que variam de 103 a 418 gramas/dia (Tabela 3).

No Amapá (AP), foram coletados 114 exemplares de peixes, de 27 espécies distintas. A concentração média de mercúrio foi 0,18 µg/g e mediana 0,08 µg/g. Neste estado, 11,4% dos peixes coletados apresentaram níveis de mercúrio superiores a 0,5 µg/g (Tabela 1). A análise do risco atribuível ao consumo de pescado revelou que a ingestão diária de mercúrio excedeu a dose de referência preconizada pela U.S.EPA (0,1 µg/kg pc/dia) em todos os extratos populacionais analisados. Em síntese, a ingestão de mercúrio foi de 1,7 a 8 vezes maior do que a dose de referência preconizada pela U.S.EPA. Analisando os extratos populacionais mais vulneráveis aos efeitos do mercúrio, as mulheres em idade fértil ingerem aproximadamente 4 vezes mais mercúrio do que a dose preconizada e crianças de 2 a 4 anos ingerem 8 vezes mais (Tabela 2). Os peixes mais contaminados por mercúrio foram o Uéua (média 0,49 µg/g), a Traíra (média 0,53 µg/g) e o Tucunaré (média: 0,84 µg/g). Por outro lado, o Acari, o

Aracú Cabeça Gorda, a Jatuarana, o Pacú e a Pirapitinga podem ser consumidos livremente por todos os extratos populacionais analisados, uma vez que apresentaram níveis de mercúrio próximos a zero (i.e.: inferiores a 0,0005 µg/g e, portanto, indetectáveis pelo método analítico). Além disso, o Tambaqui, o Aracú e a Pescada Amarela podem ser consumidos com segurança por todos os extratos populacionais em quantidades que variam de 120 a 1.114 gramas/dia (Tabela 4).

No Amazonas (AM), foram coletados 262 exemplares de peixes, de 34 espécies distintas. A concentração média de mercúrio foi 0,34 µg/g e mediana 0,14 µg/g. Neste estado, 22,5% dos peixes coletados apresentaram níveis de mercúrio superiores a 0,5 µg/g (Tabela 1). A análise do risco atribuível ao consumo de pescado revelou que a ingestão diária de mercúrio excedeu a dose de referência preconizada pela U.S.EPA (0,1 µg/kg pcdia) em todos os extratos populacionais analisados (Tabela 2). Em síntese, a ingestão de mercúrio foi de 4,7 a 21 vezes maior do que a dose de referência preconizada pela U.S.EPA. Analisando os extratos populacionais mais vulneráveis aos efeitos do mercúrio, as mulheres em idade fértil ingerem aproximadamente 6 vezes mais mercúrio do que a dose preconizada e crianças de 2 a 4 anos ingerem 21 vezes mais. Os peixes mais contaminados por mercúrio foram Apapá (média 1,49 µg/g), Pirapucu (média 1,61 µg/g) e Filhote (média: 1,70 µg/g). Os peixes com as menores concentrações de mercúrio foram o Jundiá, o Acari, o Pacú, a Pirapitinga e o Tambaqui. Essas espécies revelaram níveis médios de mercúrio inferiores a 0,03 µg/g e, por isso, podem ser consumidos em quantidades que variaram de 107 a 668 g/dia por mulheres em idade fértil, crianças de 5 a 12 anos e homens adultos (Tabela 5).

No Pará (PA), foram coletados 393 exemplares de peixes, de 47 espécies distintas. A concentração média de mercúrio foi 0,27 µg/g e mediana 0,1 µg/g. Neste estado, 15,8% dos peixes coletados apresentaram níveis de mercúrio superiores a 0,5 µg/g (Tabela 1). A análise do risco atribuível ao consumo de pescado revelou que a ingestão diária de mercúrio excedeu a dose de referência preconizada pela U.S.EPA (0,1 µg/kg pcdia) em todos os extratos populacionais analisados (Tabela 2). Em síntese, a ingestão de mercúrio foi de 3,4 a 15,7 vezes maior do que a dose de referência preconizada pela U.S.EPA. Analisando os extratos populacionais mais vulneráveis aos efeitos do mercúrio, as mulheres em idade fértil ingerem aproximadamente 4 vezes mais mercúrio do que a dose preconizada e crianças de 2 a 4 anos ingerem 15 vezes mais. Os peixes mais contaminados por mercúrio foram a Pirarara (média 0,92 µg/g), o Iaú (média 0,95 µg/g) e o Barbado (média: 1,58 µg/g). Por outro lado, o Pacú Branco, a Pirapitinga e a Pratiqueira podem ser consumidos livremente por todos os extratos populacionais analisados, uma vez que apresentaram níveis de mercúrio próximos a zero (i.e.: inferiores a 0,0005 µg/g e, portanto, indetectáveis pelo método analítico). Além disso, o Pacú Manteiga, o Tambaqui, o Pacú, a Tainha e o Aracú podem ser consumidos com segurança por mulheres em idade fértil, crianças de 5 a 12 anos e homens adultos em quantidades que variam de 126 a 2.229 gramas/dia (Tabela 6).

Em Rondônia (RO), foram coletados 88 exemplares de peixes, de 28 espécies distintas. A concentração média de mercúrio foi 0,45 µg/g e mediana 0,16 µg/g. Neste estado, 26,1 % dos peixes coletados apresentaram níveis de mercúrio superiores a 0,5 µg/g (Tabela 1). A análise do risco atribuível ao consumo de pescado revelou que a ingestão diária de mercúrio excedeu a dose de referência preconizada pela U.S.EPA (0,1 µg/kg pc/dia) em todos os extratos populacionais analisados (Tabela 2). Em síntese, a ingestão de mercúrio foi de 5,8 a 26,7 vezes maior do que a dose de referência preconizada pela U.S.EPA. Analisando os extratos populacionais mais vulneráveis aos efeitos do mercúrio, as mulheres em idade fértil ingerem aproximadamente 8 vezes mais mercúrio do que a dose preconizada e crianças de 2 a 4 anos ingerem 27 vezes mais. Os peixes mais contaminados por mercúrio foram a Dourada (média 1,81 µg/g), o Filhote (média 1,84 µg/g) e o Babão (média: 2,87 µg/g). Por outro lado, o Acará, o Bacu e a Pirapitinga podem ser consumidos livremente por todos os extratos populacionais analisados, uma vez que apresentaram níveis de mercúrio próximos a zero (i.e.: inferiores a 0,0005 µg/g e, portanto, indetectáveis pelo método analítico). Além disso, o Pacú pode ser consumido com segurança por mulheres em idade fértil e homens adultos em quantidades que variam de 137 a 180 gramas/dia (Tabela 7).

Em Roraima (RR), foram coletados 75 exemplares de peixes, de 27 espécies distintas. A concentração média de mercúrio foi 0,55 µg/g e mediana 0,41 µg/g. Neste estado, 40% dos peixes coletados apresentaram níveis de mercúrio superiores a 0,5 µg/g (Tabela 1). A análise do risco atribuível ao consumo de pescado revelou que a ingestão diária de mercúrio excedeu a dose de referência preconizada pela U.S.EPA (0,1 µg/kg pc/dia) em todos os extratos populacionais analisados (Tabela 2). Em síntese, a ingestão de mercúrio foi de 5,9 a 27,2 vezes maior do que a dose de referência preconizada pela U.S.EPA. Analisando os extratos populacionais mais vulneráveis aos efeitos do mercúrio, as mulheres em idade fértil ingerem aproximadamente 8 vezes mais mercúrio do que a dose preconizada e crianças de 2 a 4 anos ingerem 27 vezes mais. Os peixes mais contaminados por mercúrio foram o Pindirá (média: 1,07 µg/g), o Filhote (média 1,14 µg/g), a Piracatinga (média: 1,49 µg/g), o Barba Chata (média: 2,00 µg/g) e o Coroatá (média: 2,13 µg/g). Os peixes com as menores concentrações de mercúrio foram Pacu Maria Antônia, Aracú Flamengo, Pacú Meio, Pacú e Jaraqui Escama Grossa. Essas espécies revelaram níveis médios de mercúrio inferiores a 0,05 µg/g e, por isso, podem ser consumidas em quantidades que variaram de 125 a 418 g/dia por mulheres em idade fértil e homens adultos (Tabela 8).

Por fim, a regressão de Poisson revelou que a prevalência de contaminação por mercúrio  $\geq 0,5\mu\text{g/g}$  foi cerca de 14 vezes maior nos peixes carnívoros, em comparação aos não carnívoros (RP 13,8; IC9% 8,4-22,5). Por sua vez, as prevalências de contaminação por mercúrio  $\geq 0,5\mu\text{g/g}$  foram aproximadamente quatro vezes maiores, em Roraima (RP 3,9; IC9% 2,3-6,7), e no Acre (RP 3,9; IC9% 2,3-6,6); três vezes maiores em Rondônia (RP 3,1; IC9% 1,8-5,6) e no



Amazonas (RP 2,9; IC9% 1,7-5,0); e duas vezes maior no Pará (RP 1,9; IC9% 1,1-3,1), quando comparadas ao Amapá (Tabela 9).

#### 4. DISCUSSÃO

Embora diferentes autores tenham conduzido investigações que se dedicaram a analisar os níveis de contaminação por mercúrio em diferentes áreas da Amazônia Legal, em distintos momentos, esta é a primeira vez que uma pesquisa se propõe a realizar uma avaliação de risco à saúde humana, atribuído ao consumo de pescado contaminado por mercúrio, em diversas áreas que compõe a bacia Amazônica, incluindo 17 diferentes centros urbanos, espalhados em seis Unidades Federativas.

A amostragem dos pescados foi realizada em locais onde a maior parte da população que vive em centros urbano da região Amazônica compra seu peixe: mercados públicos, feiras-livres ou diretamente das mãos de pescadores, nos pontos em que ocorre o desembarque pesqueiro. O estudo visou analisar os níveis de contaminação por mercúrio nos peixes que são comercializados diretamente à população local em suas cidades. Dessa maneira, esperamos ampliar o debate junto à sociedade civil acerca dos efeitos deletérios provocados pelo garimpo ilegal de ouro não somente as populações rurais, mas também a população que vive nas cidades da região, e que tem o hábito de consumir peixes com regularidade.

Apesar dos inúmeros benefícios associados ao consumo regular de peixes, que incluem a redução dos níveis de colesterol no sangue, a diminuição do risco de infarto do miocárdio e a melhoria do desenvolvimento cognitivo, a crescente contaminação do pescado por metilmercúrio representa um sinal de alerta importante que não pode ser negligenciado pelas autoridades nacionais. Ressaltamos ainda que políticas públicas devem considerar a importância da cadeia do pescado e seus profissionais (pescadores) que também são fortemente afetados pela crescente contaminação do pescado. Atualmente existem mais de 350 mil pescadores profissionais cadastrados na Secretaria de Aquicultura e Pesca (2022), sendo que a produção pesqueira total estimada é de aproximadamente 200.000 toneladas anuais [20], bem como uma movimentação econômica para a pesca continental no Brasil estimada em U\$D 828 milhões [29], sendo que a maior parte dessas pescarias continentais são oriundas da região Amazônica.

Nossas análises revelam que mais de um quinto (21,3%) dos peixes comercializados nos centros urbanos das áreas estudadas, e que chegam à mesa das famílias, na região Amazônica, têm níveis de mercúrio acima dos limites seguros estabelecidos pela Organização para Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (FAO/WHO)[30] e pela Agência de Vigilância Sanitária brasileira (ANVISA) [31](i.e.,  $\geq 0,5 \mu\text{g/g}$ ).

A análise por Unidade Federativa revelou que o Acre é o estado que apresenta os maiores níveis de contaminação por mercúrio (média=0,58  $\mu\text{g/g}$ ), enquanto a maior prevalência de contaminação (e.g., peixes com níveis mercuriais  $\geq 0,5$

$\mu\text{g/g}$ ) foi detectada no estado de Roraima (40%). No outro extremo, encontra-se o Amapá, local onde foram detectados os menores níveis de contaminação (média=0,18  $\mu\text{g/g}$ ), bem como a menor prevalência de pescados com níveis mercuriais acima de 0,5  $\mu\text{g/g}$  (11,40%).

Quando se consideraram as prevalências de contaminação  $\geq 0,5\mu\text{g/g}$ , a situação fica levemente diferente, com Roraima ultrapassando o Acre e ocupando a primeira posição: Amapá (11,4%) < Pará (15,8%) < Amazonas (22,5%) < Rondônia (26,4%) < Acre (35,9%) < Roraima (40,0%).

A análise comparativa segundo os níveis médios de mercúrio nas amostras de pescados, bem como a análise de regressão de Poisson, indicam uma contaminação crescente nas Unidades Federativas, de acordo com o seguinte ranking: Amapá (0,18  $\mu\text{g/g}$ ) < Pará (0,27  $\mu\text{g/g}$ ) < Amazonas (0,34  $\mu\text{g/g}$ ) < Rondônia (0,45  $\mu\text{g/g}$ ) < Roraima (0,55  $\mu\text{g/g}$ ) < Acre (0,58  $\mu\text{g/g}$ ), e informam que os níveis de contaminação são 14 vezes maiores nos peixes carnívoros, quando comparados aos não carnívoros, e são aproximadamente quatro vezes maiores, em Roraima e no Acre; três vezes maiores em Rondônia e no Amazonas; e duas vezes maior no Pará, quando comparadas ao Amapá.

Considerando as seis Unidades Federativas investigadas, os resultados aqui apresentados revelam que a situação mais grave de contaminação por mercúrio nos pescados está concentrada em Roraima, em Rondônia e no Acre. Conforme vem sendo amplamente denunciado por diversos autores[28,32–34], não restam dúvidas que o avanço das atividades ilegais de garimpos de ouro em Roraima e Rondônia tem relação direta com os elevados níveis de mercúrio detectados nos pescados provenientes daquelas regiões.

Todavia, a situação revelada no Acre nos intriga. De um lado, os relatos de garimpo ilegal de ouro na região são raros, de outro alguns estudos[35–38] apontam para presença de níveis elevados de mercúrio em amostras de pescado, e outros produtos alimentares sugerindo que a disponibilidade de mercúrio na região está associada a ações antrópicas que incidem sobre o meio ambiente. Ademais, parte expressiva dos pescados comercializados em Rio Branco (capital do estado), sobretudo no Mercado Elias Mansou, são provenientes do município de Boca do Acre. Ou seja, são capturados na bacia do rio Juruá, no estado do Amazonas.

A despeito das diferenças observadas nos níveis médios de mercúrio ou nas prevalências de contaminação acima de 0,5  $\mu\text{g/g}$ , segundo as Unidades Federativas investigadas, a análise do risco atribuível ao consumo de pescado por estado revela que a ingestão diária de mercúrio excede a dose de referência preconizada pela U.S.EPA (0,1  $\mu\text{g/kg pc/dia}$ ) em todos os extratos populacionais analisados e em todas os estados da região Amazônica estudados.

Todavia, os riscos atribuídos ao consumo de pescados contaminados são variados, e devem ser considerados a fim de formular orientações nutricionais

adequadas para o consumo seguro do pescado pela sociedade local. Como exemplo de orientações nutricionais à população local, utilizaremos os dados referentes às três Unidades Federativas, nas quais a situação está mais grave.

Em síntese, no Acre, a ingestão de mercúrio via consumo de pescado contaminado revelou-se de 7 a 31 vezes maior do que a dose segura preconizada pela U.S.EPA. No estado, a Cachorra, o Filhote e a Dourada são peixes que devem ser evitados ou consumidos excepcionalmente. Por outro lado, o Pacú, a Pirapitinga e o Tambaqui podem ser consumidos livremente. Além disso, o Acará, o Aracú Cabeça Gorda, a Jatuarana e a Tilápia podem ser consumidos com segurança por homens adultos e mulheres em idade fértil em quantidades que variam de 103 a 418 gramas/dia, entretanto, esses peixes não são recomendados para crianças.

Em Roraima, a ingestão de mercúrio via consumo de pescado contaminado revelou-se de 6 a 27 vezes maior do que a dose segura preconizada pela U.S.EPA. Segundo os resultados de nossas análises, recomenda-se evitar o consumo de Barba Chata, de Coroataí, de Filhote, de Pindirá, e de Piracatinga por todos os estratos populacionais. Por sua vez, Aracú Flamengo, Pacu Maria Antônia, Pacú Meião, Pacú e Jaraqui Escama Grossa podem ser consumidas em quantidades que variaram de 125 a 418 g/dia por mulheres em idade fértil e homens adultos. Todavia, o consumo desses peixes por crianças deve ser feito com moderação, não ultrapassando 44, 36, 38, 91 e 44 gramas por dia na faixa etária dos 2 aos 4 anos, e 85, 69, 73, 175 e 86 gramas por dia na faixa etária de 5 a 12 anos, para cada espécie, respectivamente.

Em Rondônia, igualmente a ingestão de mercúrio via consumo de pescado contaminado atingiu níveis 6 a 27 vezes maiores do que a dose segura preconizada pela U.S.EPA. Sendo assim, recomenda-se restringir o consumo de Babão, Dourada e Filhote. Por outro lado, o Acará, o Bacu e a Pirapitinga podem ser consumidos livremente por todos os extratos populacionais analisados. Ademais, o Pacú pode ser consumido com segurança por mulheres em idade fértil e homens adultos em quantidades que variam de 137 a 180 gramas/dia.

Sem perder de vista os achados ilustrativos desta investigação, é importante considerar algumas limitações inerentes aos desenhos de estudo com abordagem ecológica.

Embora tenham sido incluídos 1.010 espécimes de peixes, representantes de 80 espécies distintas, distribuídas em diferentes níveis tróficos (herbívoro, detritívoro, onívoro e carnívoro), provenientes de ao menos seis bacias hidrográficas, na Amazônia brasileira, os dados aqui analisados não têm a capacidade de representar a biodiversidade de pescados disponíveis para o consumo humano na região. Outro ponto a ser considerado foi a dificuldade de coletar amostras em diferentes estações do ano, considerando os períodos de

chuva e estiagem na Amazônia, e sua influência sobre a disponibilidade peixes e outros alimentos. Portanto, é possível que, apesar das estimativas conservadoras, nossos achados tenham estado sujeitos a viés de seleção e, com isso, podem não revelar o verdadeiro impacto da exposição ao mercúrio para a maioria da população que vive hoje em centros urbanos da Amazônia.

As razões de risco aqui estimadas indicam que para um consumo seguro de pescado são necessárias orientações dietéticas rigorosas. Comparando as doses de ingestão de mercúrio nas diferentes Unidades Federativas, observamos que os riscos são variados e são mais elevados com o consumo de espécies carnívoras de peixes, sobretudo no Acre, em Roraima e em Rondônia.

De acordo com os parâmetros de segurança estabelecidos pela agência de proteção ambiental norte-americana (U.S.EPA), praticamente em todas as localidades estudadas o risco de adoecer devido ao consumo de peixe contaminado com metilmercúrio é elevado, notadamente entre as crianças.

Entretanto, vale lembrar que a dose de ingestão considerada como segura pela U.S.EPA foi estimada a partir de dados produzidos em estudos longitudinais realizados nas Ilhas Faroe, na Dinamarca. Ou seja, esse parâmetro foi estimado a partir da observação de populações que residem em outra parte do planeta, têm hábitos alimentares distintos, e estão sujeitos a condições diversas das vivenciadas na região Amazônica, tanto sob o ponto de vista socioeconômico, como do ponto de vista cultural e de acesso a serviços de saúde.

O uso deste parâmetro de referência pode ter produzido resultados distorcidos (com estimativas de risco atenuadas), uma vez que no ecossistema amazônico outros fatores de risco podem ampliar a exposição humana ao mercúrio. Alguns estudos apontam que além da presença de mercúrio natural no solo da Amazônia [27,39,40], a expansão do agronegócio, a construção de barragens e hidrelétricas, a grilagem, as queimadas e outras atividades que promovem o desmatamento da floresta alteram significativamente o ciclo biogeoquímico do mercúrio no meio ambiente [4], favorecendo o ingresso do metilmercúrio na cadeia alimentar, ampliando assim a exposição humana e os consequentes riscos à saúde do contato com este contaminante ambiental. A essas atividades antrópicas se combinam o garimpo ilegal de ouro e o uso indiscriminado do mercúrio, produzindo uma situação de risco singular à população local.

Isto posto, fica evidente que o desenvolvimento de estudos longitudinais envolvendo diferentes grupos populacionais na Amazônia (incluindo indígenas, ribeirinhos, quilombolas, além de pessoas que vivem em centros urbanos), é especialmente importante. Somente com a realização de um estudo de longo prazo será possível estimar com mais precisão os riscos atribuíveis ao consumo de pescado, bem como as doses seguras de ingestão de mercúrio para a população amazônica.

Por outro lado, os pontos fortes deste estudo concentram-se na abrangência geográfica dos pontos de coleta dos peixes incluídos nas análises de risco (17 localidades, seis Unidades Federativas, diversas bacias hidrográficas), nas razões de prevalência empregadas nas análises multivariadas, no rigor metodológico utilizado na coleta dos pescados e nas análises dos níveis de mercúrio terem sido realizadas em um único laboratório de referência nacional, e no pressuposto que somente 80% da quantidade de mercúrio ingerida na alimentação é absorvida pelo trato gastrointestinal humano.

Diante do exposto, acreditamos que, em conjunto, nossos achados estabelecem uma base sólida para o planejamento de intervenções oportunas, uma vez que fornece informações pertinentes para orientar o consumo seguro de pescados na área de estudo, e contribui com evidências científicas robustas para esclarecer um tema candente no campo da saúde pública nacional.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Coulter, M.A. Minamata Convention on Mercury. *Int. Leg. Mater.* **2016**, *55*, 582–616.
2. Bernhoft, R.A. Mercury Toxicity and Treatment: A Review of the Literature. *J. Environ. Public Health* **2012**, *2012*, 1–10, doi:10.1155/2012/460508.
3. Hacon, S.; Barrocas, P.R.G.; Vasconcellos, A.C.S. de; Barcellos, C.; Wasserman, J.C.; Campos, R.C.; Ribeiro, C.; Azevedo-Carlioni, F.B. An Overview of Mercury Contamination Research in the Amazon Basin with an Emphasis on Brazil. *Cad. Saúde Pública* **2008**, *24*, 1479–1492, doi:10.1590/S0102-311X2008000700003.
4. Crespo-Lopez, M.E.; Augusto-Oliveira, M.; Lopes-Araújo, A.; Santos-Sacramento, L.; Yuki Takeda, P.; Macchi, B. de M.; do Nascimento, J.L.M.; Maia, C.S.F.; Lima, R.R.; Arrifano, G.P. Mercury: What Can We Learn from the Amazon? *Environ. Int.* **2021**, *146*, 106223, doi:10.1016/j.envint.2020.106223.
5. Hacon, S. de S.; Oliveira-da-Costa, M.; Gama, C. de S.; Ferreira, R.; Basta, P.C.; Schramm, A.; Yokota, D. Mercury Exposure through Fish Consumption in Traditional Communities in the Brazilian Northern Amazon. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 5269, doi:10.3390/ijerph17155269.
6. de Vasconcellos, A.C.S.; Ferreira, S.R.B.; de Sousa, C.C.; de Oliveira, M.W.; de Oliveira Lima, M.; Basta, P.C. Health Risk Assessment Attributed to Consumption of Fish Contaminated with Mercury in the Rio Branco Basin, Roraima, Amazon, Brazil. *Toxics* **2022**, *10*, 516, doi:10.3390/toxics10090516.
7. Costa Junior, J.M.F.; Lima, A.A. da S.; Rodrigues Junior, D.; Khoury, E.D.T.; Souza, G. da S.; Silveira, L.C. de L.; Pinheiro, M. da C.N. Manifestações Emocionais e Motoras de Ribeirinhos Expostos Ao Mercúrio Na Amazônia. *Rev. Bras. Epidemiol.* **2017**, *20*, 212–224, doi:10.1590/1980-5497201700020003.
8. Ekino, S.; Susa, M.; Ninomiya, T.; Imamura, K.; Kitamura, T. Minamata Disease Revisited: An Update on the Acute and Chronic Manifestations of Methyl Mercury Poisoning. *J. Neurol. Sci.* **2007**, *262*, 131–144, doi:10.1016/j.jns.2007.06.036.
9. Dack, K.; Fell, M.; Taylor, C.M.; Havdahl, A.; Lewis, S.J. Prenatal Mercury Exposure and Neurodevelopment up to the Age of 5 Years: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 1976, doi:10.3390/ijerph19041976.
10. Petit, C.; Chevrier, C.; Durand, G.; Monfort, C.; Rouget, F.; Garlantezec, R.; Cordier, S. Impact on Fetal Growth of Prenatal Exposure to Pesticides Due to Agricultural Activities: A Prospective Cohort Study in Brittany, France.

*Environ. Health Glob. Access Sci. Source* **2010**, 9, 71, doi:10.1186/1476-069X-9-71.

11. Kim, B.; Shah, S.; Park, H.-S.; Hong, Y.-C.; Ha, M.; Kim, Y.; Kim, B.-N.; Kim, Y.; Ha, E.-H. Adverse Effects of Prenatal Mercury Exposure on Neurodevelopment during the First 3 Years of Life Modified by Early Growth Velocity and Prenatal Maternal Folate Level. *Environ. Res.* **2020**, *191*, 109909, doi:10.1016/j.envres.2020.109909.
12. Isaac, V.J.; De Almeida, M.C. El Consumo de Pescado En La Amazonía Brasileña. *COPESCAL Doc. Ocas.* **2011**, I.
13. Isaac, V.J.; Almeida, M.C.; Giarrizzo, T.; Deus, C.P.; Vale, R.; Klein, G.; Begossi, A. Food Consumption as an Indicator of the Conservation of Natural Resources in Riverine Communities of the Brazilian Amazon. *An. Acad. Bras. Ciênc.* **2015**, *87*, 2229–2242.
14. Begossi, A.; Salivonchyk, S.V.; Hallwass, G.; Hanazaki, N.; Lopes, P.F.M.; Silvano, R.A.M.; Dumaresq, D.; Pittock, J. Fish Consumption on the Amazon: A Review of Biodiversity, Hydropower and Food Security Issues. *Braz. J. Biol.* **2018**, *79*, 345–357.
15. Kawarazuka, N.; Béné, C. Linking Small-Scale Fisheries and Aquaculture to Household Nutritional Security: An Overview. *Food Secur.* **2010**, *2*, 343–357.
16. Hicks, C.C.; Cohen, P.J.; Graham, N.A.; Nash, K.L.; Allison, E.H.; D’Lima, C.; Mills, D.J.; Roscher, M.; Thilsted, S.H.; Thorne-Lyman, A.L. Harnessing Global Fisheries to Tackle Micronutrient Deficiencies. *Nature* **2019**, *574*, 95–98.
17. Basta, P.C.; Viana, P.V. de S.; Vasconcellos, A.C.S. de; Périssé, A.R.S.; Hofer, C.B.; Paiva, N.S.; Kempton, J.W.; Ciampi de Andrade, D.; Oliveira, R.A.A. de; Achatz, R.W.; et al. Mercury Exposure in Munduruku Indigenous Communities from Brazilian Amazon: Methodological Background and an Overview of the Principal Results. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 9222, doi:10.3390/ijerph18179222.
18. Meneses, H. do N. de M.; Oliveira-da-Costa, M.; Basta, P.C.; Morais, C.G.; Pereira, R.J.B.; de Souza, S.M.S.; Hacon, S. de S. Mercury Contamination: A Growing Threat to Riverine and Urban Communities in the Brazilian Amazon. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 2816, doi:10.3390/ijerph19052816.
19. de Mérona, B.; Juras, A.A.; dos Santos, G.M.; Cintra, I.H.A. *Os Peixes Ea Pesca No Baixo Rio Tocantins: Vinte Anos Depois Da UHE Tecuruí*; Eletrobrás, 2010; ISBN 85-87775-08-1.
20. Batista, V. da S.; Isaac, V.J.; Fabr e, N.N.; Alonso, J.C.; Almeida, O.T.; Rivero, S.; Júnior, J.N.O.; Ruffino, M.L.; Silva, C.O.; Saint-Paul, U. Peixes e Pesca No



- Solimões-Amazonas: Uma Avaliação Integrada. *Brasília IbamaProVárzea* **2012**.
21. Silvano, R.A. *Fish and Fisheries in the Brazilian Amazon: People, Ecology and Conservation in Black and Clear Water Rivers*; Springer Nature, 2020; ISBN 3-030-49146-3.
  22. Mérona, B. de; Rankin-de-Mérona, J. Food Resource Partitioning in a Fish Community of the Central Amazon Floodplain. *Neotropical Ichthyol.* **2004**, *2*, 75–84.
  23. Santos, G.M. dos; Juras, A.A.; Mérona, B. de; Jégue, M. Peixes Do Baixo Rio Tocantins. 20 Anos Depois Da Usina Hidrelétrica Tucuruí. **2004**.
  24. Santos, G.; Ferreira, E.; Zuanon, J. Peixes Comerciais De Manaus. *Ed. Pr-Vrzea Ibama Manaus Bras.* **2006**.
  25. Organization, W.H. Guidance for Identifying Populations at Risk from Mercury Exposure. **2008**.
  26. Rice, D.C. The US EPA Reference Dose for Methylmercury: Sources of Uncertainty. *Environ. Res.* **2004**, *95*, 406–413.
  27. Lino, A.S.; Kasper, D.; Guida, Y.S.; Thomaz, J.R.; Malm, O. Total and Methyl Mercury Distribution in Water, Sediment, Plankton and Fish along the Tapajós River Basin in the Brazilian Amazon. *Chemosphere* **2019**, *235*, 690–700.
  28. Azevedo, L.S.; Pestana, I.A.; da Costa Nery, A.F.; Bastos, W.R.; Souza, C.M.M. Mercury Concentration in Six Fish Guilds from a Floodplain Lake in Western Amazonia: Interaction between Seasonality and Feeding Habits. *Ecol. Indic.* **2020**, *111*, 106056.
  29. Funge-Smith, S.; Bennett, A. A Fresh Look at Inland Fisheries and Their Role in Food Security and Livelihoods. *Fish Fish.* **2019**, *20*, 1176–1195.
  30. FAO/WHO Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), Report of the Tenth Session, Rotterdam, The Netherlands 4 to 8 April 2016.
  31. Brasil Dispõe Sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL Sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos Em Alimentos (Resolução RDC N° 42, de 29 de Agosto de 2013). *Diário Of. Repúb. Fed. Bras.* **2013**.
  32. Bastos, W.R.; de Freitas Fonseca, M.; Pinto, F.N.; de Freitas Rebelo, M.; Silva dos Santos, S.; Glória da Silveira, E.; Torres, J.P.M.; Malm, O.; Pfeiffer, W.C. Mercury Persistence in Indoor Environments in the Amazon Region, Brazil. *Environ. Res.* **2004**, *96*, 235–238, doi:10.1016/j.envres.2004.01.008.
  33. Sing, K.A.; Hryhorczuk, D.; Saffirio, G.; Sinks, T.; Paschal, D.C.; Sorensen, J.; Chen, E.H. Organic Mercury Levels among the Yanomama of the Brazilian

- Amazon Basin. *AMBIO J. Hum. Environ.* **2003**, 32, 434–439, doi:10.1579/0044-7447-32.7.434.
34. Vega, C.; Orellana, J.; Oliveira, M.; Hacon, S.; Basta, P. Human Mercury Exposure in Yanomami Indigenous Villages from the Brazilian Amazon. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, 15, 1051, doi:10.3390/ijerph15061051.
  35. Mascarenhas, A.F.S.; Brabo, E. da S.; Silva, A.P. da; Fayal, K. de F.; Jesus, I.M. de; Santos, E.C. Avaliação Da Concentração de Mercúrio Em Sedimentos e Material Particulado No Rio Acre, Estado Do Acre, Brasil. *Acta Amaz.* **2004**, 34, 61–68.
  36. Castro, N.S.S. de; Braga, C.M.; Trindade, P.A. de A.; Giarrizzo, T.; Lima, M. de O. Mercúrio Em Peixe e Em Sedimento Do Rio Purus, Estado Do Acre, Amazônia. *Cad. Saúde Coletiva* **2016**, 24, 294–300.
  37. Santos Serrão de Castro, N.; de Oliveira Lima, M. Hair as a Biomarker of Long Term Mercury Exposure in Brazilian Amazon: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, 15, 500, doi:10.3390/ijerph15030500.
  38. de Oliveira, D.F.; de Castro, B.S.; do Nascimento Recktenvald, M.C.N.; da Costa Júnior, W.A.; da Silva, F.X.; de Menezes Alves, C.L.; Froehlich, J.D.; Bastos, W.R.; Ott, A.M.T. Mercury in Wild Animals and Fish and Health Risk for Indigenous Amazonians. *Food Addit. Contam. Part B Surveill.* **2021**, 14, 161–169, doi:10.1080/19393210.2020.1849410.
  39. Malm, O. Gold Mining as a Source of Mercury Exposure in the Brazilian Amazon. *Environ. Res.* **1998**, 77, 73–78, doi:10.1006/enrs.1998.3828.
  40. Roulet, M.; Lucotte, M.; Canuel, R.; Farella, N.; Courcelles, M.; Guimarães, J.-R.D.; Mergler, D.; Amorim, M. Increase in Mercury Contamination Recorded in Lacustrine Sediments Following Deforestation in the Central Amazon<sup>1</sup>The Present Investigation Is Part of an Ongoing Study, the CARUSO Project (CRDI-UFPa-UQAM), Initiated to Determine the Sources, Fate and Health Effects of the Presence of MeHg in the Area of the Lower Tapajós.1. *Chem. Geol.* **2000**, 165, 243–266, doi:10.1016/S0009-2541(99)00172-2.