

# NÍVEIS DE MERCÚRIO EM PEIXES DISPONÍVEIS PARA CONSUMO DAS POPULAÇÕES RIBEIRINHAS DO ESTADO DO PARÁ, REGIÃO AMAZÔNICA

## *MERCURY LEVELS IN FISH AVAILABLE FOR CONSUMPTION BY RIVERINE POPULATIONS IN THE STATE OF PARÁ, AMAZON REGION*

Laura dos Santos Barros, Fabiana Costa Cardoso, Leonardo Breno do Nascimento de Aviz, Maria da Conceição Nascimento Pinheiro

Programa de Pós-Graduação em Doenças Tropicais, Núcleo de Medicina Tropical. Universidade Federal do Pará. nutbarrosl@gmail.com

### **RESUMO**

Objetivo do estudo é sintetizar a literatura pertinente a estudos sobre níveis de contaminação por mercúrio em peixes disponíveis para consumo de populações ribeirinhas, no Estado do Pará. Estudo descritivo, de revisão de escopo, cujos dados foram coletados das bases acadêmicas, PubMed, Scielo, Bireme, Lilacs e Periódicos Capes. A revisão incluiu oito artigos publicados de 2000 a 2024, realizados nas localidades, Xingu, Tapajós e Tucuruí. Cinco estudos identificaram concentrações de mercúrio acima e dois observaram valores abaixo do permitido pelas normas nacionais, e um estudo registrou concentrações com potencial de riscos à saúde. Um autor analisou a influência das marés sobre os níveis de mercúrio nos peixes. As espécies que apresentaram as concentrações mais elevadas foram: *Cichla ocellaris* (tucunaré) e *Serrasalmus rhombeus* (piranha preta) oriundos da bacia do Tapajós, e *Hydrolycus armatus* (cachorra), *Pseudoplatystoma punctifer* (tigre Malhado) e *Hydrolycus scomberoides* (peixe Cachorro) na bacia do Xingu. Há várias espécies que apresentam níveis impróprios para um consumo frequente na dieta, sendo as espécies predadoras da região do Tapajós que apresentam maiores níveis de contaminação, por isso, devem ser divulgados e a população orientada para reduzir o consumo. Os estudos analisados mostraram diferentes graus de contaminação por mercúrio, na dependência da região estudada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poluentes do Solo; Ecossistema Amazônico; Exposição Dietética.

### **ABSTRACT**

To synthesize the literature relevant to studies of mercury contamination levels in fish available for consumption by riverine populations in the State of Pará. Descriptive, scoping review study, whose data were collected from academic databases, PubMed, Scielo, Bireme, Lilacs and Periódicos Capes. The review included eight articles published between 2000 and 2024 and conducted in the Xingu, Tapajós and Tucuruí sites. Five studies found mercury concentrations above

the allowable level, two studies found concentrations below the allowable level, and one study found concentrations potentially harmful to health. One author analyzed the influence of tides on mercury levels in fish. The species with the highest concentrations were *Cichla ocellaris* (Peacock Bass) and *Serrasalmus rhombeus* (Piranha preta) from the Tapajós Basin, and *Hydrolycus armatus* (Cachorra), *Pseudoplatystoma punctifer* (Tigre malhado) and *Hydrolycus scomberoides* (Peixe cachorro) in the Xingu Basin. There are several species that present levels that are inappropriate for frequent consumption in the diet, and the predatory species in the Tapajós region have the highest levels of contamination. Therefore, they must be publicized and the population advised to reduce consumption. All the studies analyzed showed different levels of mercury contamination depending on the region studied.

**KEYWORD:** Soil Pollutants, Amazon Ecosystem, Dietary Exposure.

## INTRODUÇÃO

O mercúrio é um metal, presente naturalmente no meio ambiente em uma variedade de formas químicas. O mais conhecido deles é o metilmercúrio (MgHg), que ganhou especial destaque devido ao seu papel em acidentes ambientais. O acidente de Minamata, ocorrido no Japão entre 1953 e 1960, é um dos mais conhecidos, mas não foi apenas de causas naturais; as indústrias locais foram a principal causa da contaminação de peixes e frutos do mar nos afluentes, o que adoeceu a população. Existem mais de dois mil registros oficiais de pessoas infectadas pelo MeHg<sup>1,2</sup>.

A ocorrência no meio ambiente tem origem tanto em fontes naturais quanto antrópicas. A primeira inclui atividades vulcânicas e a desgasificação da crosta terrestre, enquanto a segunda abrange atividades ocupacionais, incluindo as da indústria de equipamentos eletrônicos e da mineração de ouro<sup>3</sup>. Na Amazônia, as fontes de contaminação ambiental podem ser divididas em duas categorias: fontes naturais (Hg Rio Negro) e fontes antrópicas. Este último inclui atividades como mineração artesanal de ouro, queimadas de florestas e construção de barragens e hidrelétricas<sup>4</sup>.

Quanto à relação entre mercúrio e construção de barragens seu papel ocorre a partir do momento em que aumenta a concentração de sedimentos de Hg e

macrófitas, plantas aquáticas essenciais para a atividade microbiana e fonte de radical metila utilizada durante o processo de metilação, em reservatórios da Amazônia. o aumento de bactérias metilação em determinado local pode favorecer a biotransformação do Hg de forma mais extensa e em maior quantidade sendo transferido pela água, solo e seres vivos. Por fim, fechar o ecossistema com barragem evita a migração dos peixes, o que favorece o acúmulo de Hg e sua biomagnificação<sup>5</sup>.

O ciclo do mercúrio no ambiente amazônico ocorre seguindo a evaporação do mercúrio metálico (Hg0) na temperatura ambiente e dispersão na atmosfera, onde sofre oxidação e retorna ao meio aquático junto com a água da chuva em sua forma iônica (Hg2+). No sedimento aquático o mercúrio sofre processo de metilação, por meio da ação de bactérias anaeróbias, processo conhecido como de biometilação. Partículas contaminadas por metilmercúrio são absorvidas por algas e plânctons e vegetação submersa, esse processo é visto como um fator biótico determinante para os níveis de concentração de mercúrio nos peixes cujo teor aumenta com o tamanho e a idade dos peixes<sup>6,7</sup>.

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é responsável por estabelecer os níveis de mercúrio em peixes destinados ao consumo humano. A ANVISA considera limite máximo de 0,5 mg/kg de mercúrio em peixes não predadores e 1,0 mg/kg para peixes predadores. Esses limites são baseados na Resolução nº 42 de 2013, que dispõe sobre o Regulamento Técnico do MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos<sup>8</sup>.

Porém, a referida resolução refere-se apenas a contaminantes inorgânicos, por isso foi de extrema importância a publicação da Instrução Normativa nº 160, de 1º de julho de 2022, que estabelece os Limites Máximos Tolerados (LMT) para contaminantes em alimentos, no que diz respeito a: Para o contaminante mercúrio total na seção “Alimentos ou categoria de alimentos”, o limite máximo tolerado é de 1,0 mg/kg para peixes predadores e 0,5 mg/kg para peixes que não sejam peixes predadores, em ambos os casos as características do alimento são: produto inteiro,

se o produto se destina a ser consumido inteiro. Nos restantes casos, o produto é eviscerado sem cabeça e tórax<sup>9</sup>.

Estudos realizados na Amazônia sobre a contaminação em peixes, identificaram diferentes espécies com elevadas concentrações de mercúrio (HgTotal) no tecido muscular, e algumas sendo consideradas impróprias para consumo humano nos rios Tapajós e Xingu. Na região do Tapajós as espécies não predadoras *Pimelodus blochii* (Bagre de Bloch) e *Hemicetopsis candiru* (Peixe vampiro) apresentaram respectivamente as concentrações de 0,98 µg/g e 0,73 µg/g HgTotal e, nas espécies predadoras *Hoplias malabaricus* (traíra) foi encontrado 6,11 µg/g, na espécie *Pseudoplatystoma fasciatum* (surumbim) 1,20 µg/g, *Cichlasoma spectabile* (cará) 2,21 µg/g, *Plagioscion squamosissimus* (pescada branca) 1,51 µg/g. Enquanto que no rio Xingu, as espécies apontadas com elevados níveis de mercúrio foram: *Phractocephalus hemiolopterus* (pirarara) com 1,82 µg/g e *Boulengerella cuvieri* (bicuda) 1,42 µg/g<sup>10</sup>.

A população urbana do Estado do Pará é também grande consumidora de pescado, particularmente, de peixes dos rios da Amazônia, tais como, dourada, tucunaré, filhote, pescada branca, mapará entre outras espécies. Estudo realizado por Amaro<sup>11</sup> em peixes comercializados no mercado do Ver-o-Peso, em Belém do Pará, maior feira a céu aberto da América Latina, registraram concentrações de HgTotal em três espécies, diferentes, em dois períodos sazonais (estiagem e chuvoso).

As espécies *Brachyplatystoma rousseauxii* (dourada) e *Brachyplatystoma filamentosum* (filhote) apresentaram no período da estiagem a média de 0,4 µg/g de HgTotal; enquanto que, *Schizodon fasciatum* (aracu) apresentou 0,1 µg/g. Durante o período chuvoso, a concentração média apresentada por *Brachyplatystoma rousseauxii* (dourada) foi de 0,1 µg/g; a espécie *Brachyplatystoma filamentosum* (filhote) obteve a média de 0,3 µg/g e a espécie *Schizodon fasciatum* (aracu) auferiu a menor média de 0,01 µg/g. Nesse estudo não há informações sobre a procedência dos peixes, admite-se que sejam oriundos de áreas não contaminadas por mercúrio.

É de conhecimento que várias espécies de peixes consumidas com frequência pela população da Amazônia encontram-se com níveis elevados de mercúrio, porém pouco se sabe, sobre quais são as espécies capturadas em bacias hidrográficas no Estado do Pará que estão disponíveis para consumo na dieta pelas comunidades ribeirinhas, deste estado.

Como justificativa, o Pará é um dos estados brasileiros situados na região norte que apresenta características ambientais peculiares, formado por diferentes bacias hidrográficas e extensas áreas florestais, que se destaca pelas atividades econômicas representadas pela mineração, pesca e agropecuária.

Nesse estado, existem centenas de vilas de pescadores e/ou de ribeirinhos que possuem tradicionalmente uma dieta à base de peixes da região onde vivem, cuja segurança alimentar referente a contaminação de peixes por mercúrio ainda não foi estabelecida oficialmente. Nesse contexto, a revisão aqui proposta permitirá uma análise da situação da contaminação dos peixes disponíveis para o consumo através da dieta dessas populações e assim, contribuir para medidas de prevenção de exposição ao mercúrio pelas populações consideradas mais vulneráveis aos danos causados pelo metilmercúrio como, as residentes em áreas ribeirinhas.

A presente revisão tem como objetivo sintetizar a literatura sobre os níveis de contaminação por mercúrio em peixes frequentemente consumidos pelas populações ribeirinhas deste Estado, na expectativa de contribuir para a vigilância da segurança alimentar e prevenir danos que possam associar-se à exposição ao mercúrio pelo consumo inadequado de peixes.

## METODOLOGIA

Estudo de caráter descritivo, de revisão de escopo da literatura sobre níveis de contaminação por mercúrio em peixes oriundos de bacias hidrográficas (Tapajós, Tocantins, Xingu e Caeté) disponíveis para consumo, no Estado do Pará, publicados no período de 2000 a 2024 (Figura 1).

A pesquisa seguiu as seguintes etapas: 1) elaboração da pergunta norteadora; 2) busca de estudos na literatura pertinente sobre níveis de contaminação de peixes por mercúrio; 3) seleção dos estudos incluídos e excluídos; 4) coleta efetiva dos dados; 5) registro das informações em banco de dados; 6) análise crítica dos estudos selecionados; 7) discussão dos resultados e 8) apresentação da revisão.

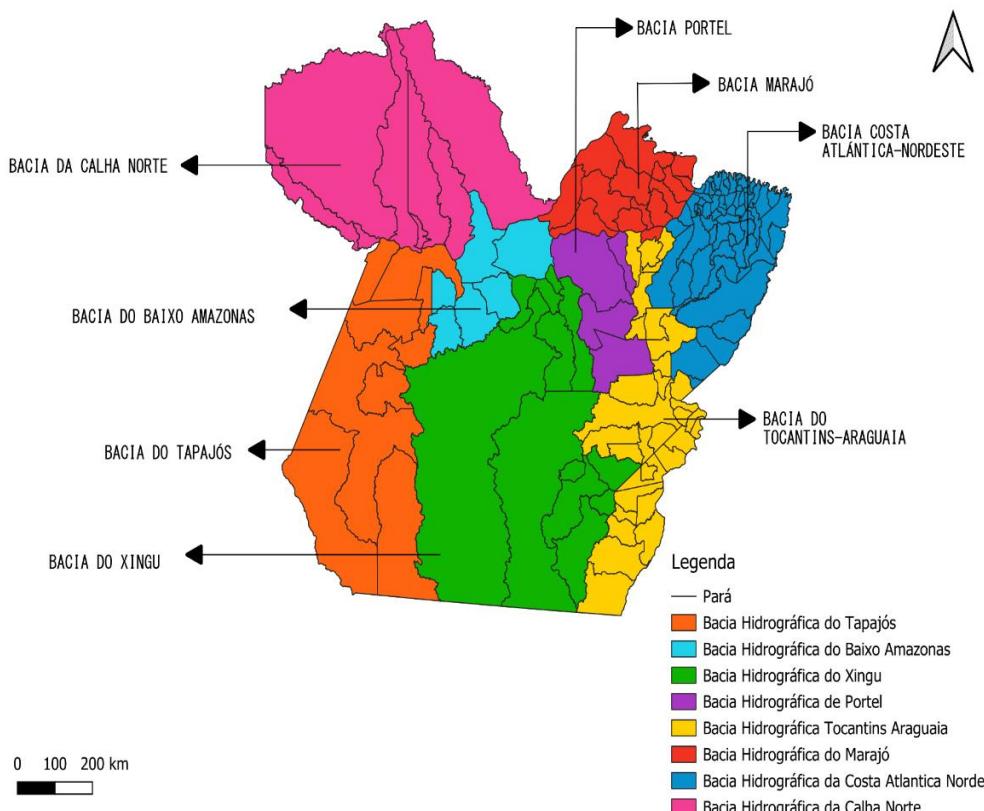
Os estudos que compõem a pesquisa estão de acordo com a pergunta de pesquisa pré-estabelecida e indicada pelo acrônimo PCC onde P significa população de peixes, C contaminação de peixes por mercúrio/ metilmercúrio, C contexto do Estado do Pará. Ficando a pergunta assim formulada “Quais os níveis de contaminação em peixes disponíveis para consumo por populações ribeirinhas, no Estado do Pará?”

Os artigos que compõem o estudo foram coletados nas bases de dados acadêmicos PubMed Central (PMC), Periódicos da ordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Sietific Eletronic Library Online (SCIELO), Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) e Centro Latino Americano e do Caribe de informação em Ciência da Saúde (BIREME). Os descritores da língua portuguesa utilizados na pesquisa foram: peixe, Estado do Pará, mercúrio/metilmercúrio e contaminação; e no idioma inglês foram aplicados os seguintes descritores: fish, Para State, Mercury/ methylmercury e contamination, com a utilização do conectivo AND entre os descritores. A coleta de dados foi realizada entre fevereiro e março de 2024.

A busca na literatura foi realizada por um autor, a princípio os artigos foram pré-selecionados a partir da leitura prévia do título e resumo, de acordo com, a temática que mais se adequava a pergunta norteadora da pesquisa, em seguida, foi realizada um processo de triagem e elegibilidade dos trabalhos de acordo com os critérios de inclusão e exclusão pré-estabelecidos, por fim, foi feita a leitura na íntegra de todos os artigos classificados como incluídos, após tal leitura os artigos classificados como incluídos foram determinados entre excluídos e artigos finais.

A seleção final dos oito artigos presentes na revisão de escopo foi realizada em conjunto por dois autores. Na figura 1 que apresenta o Estado do Pará e sua bacias hidrográficas, a bacia hidrográfica do Caeté está representada pela Bacia Costa Atlântica do Nordeste.

Figura 1. Bacias hidrográficas presentes no Estado do Pará

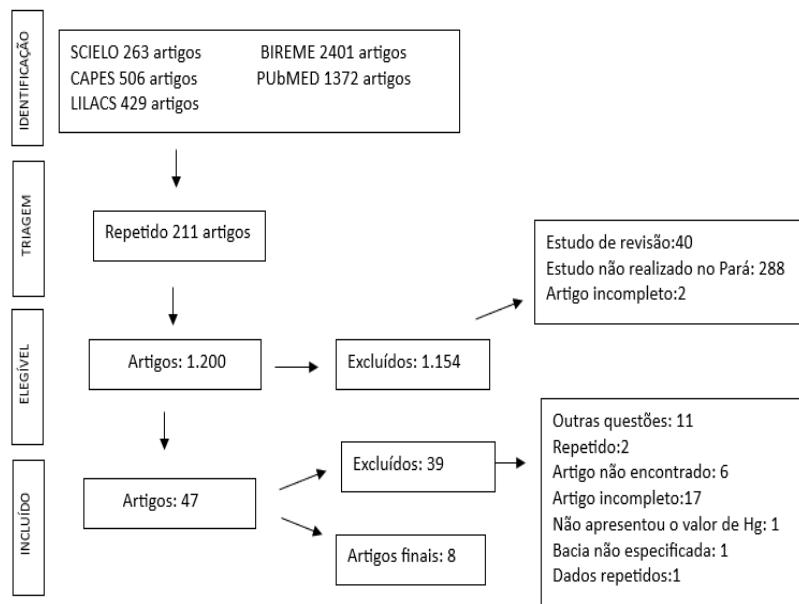


Foram selecionados os estudos originais com peixes capturados em bacias hidrográficas do Pará, com textos disponíveis e completos em português ou inglês, que avaliaram níveis de mercúrio total e/ou metilmercúrio no tecido muscular.

Os critérios de exclusão foram: trabalhos classificados como monografias, dissertações, tese, artigos incompletos, estudos de revisão, sem indexação, anais de congressos, e duplicados, assim como, os trabalhos duplicados foram considerados apenas uma vez, tendo origem na base de dados em que primeiro foram identificados.

Foram encontrados 263 artigos da Scielo, 506 da Capes, 429 da Lilacs, 1372 da PubMed, e 2401 da Bireme. Em seguida foram excluídos 3901 que não cumpriram os critérios de elegibilidade e 1365 que atenderam os critérios de exclusão, na etapa seguinte foram analisados 47 artigos, destes 39 não atenderam aos critérios de inclusão, ao final oito artigos foram mantidos na versão final da revisão de escopo. O processo de seleção dos artigos selecionados está descrito na Figura 2.

Figura 2. Prisma do processo de seleção dos artigos acerca do tema mercúrio e peixes no estado do Pará.



## RESULTADOS

Neste estudo de revisão foram analisados oito (8) artigos publicados no período de 2000 a 2024, dentre os quais, cinco realizados em peixes da bacia do Tapajós<sup>12,13,14,15,16,17</sup>; dois realizados em peixes do Tocantins<sup>14,16</sup>; um estudo no baixo Amazonas /Tucuruí<sup>18</sup>; um estudo em peixes do Rio Bacajá/ região do

Xingu<sup>19</sup>; um estudo no rio Caeté / Bragança<sup>15</sup> e um estudo oriundo de igarapé de água gelada, no Nordeste paraense<sup>20</sup> (Tabelas 1 a 3).

Vera e colaboradores<sup>12</sup> analisaram 138 exemplares de duas espécies (*Cichla ocellaris* e *Cichla monoculus*) no lago Maicá e Rio Tapajós em dois períodos distintos. No lago Maicá as concentrações encontradas em 1992 foram de 0,12 µg/g e em 2001 foi 0,24 µg/g. No Rio Tapajós, a média de HgTotal em 1992 foi de 0,42 µg/g, e em 2001 foi 0,73 µg/g. Foram analisados 98 exemplares de diferentes espécies, sendo 48 de *Cichla ocellaris* do Rio Tapajós em 2011 cujo teor médio foi 0,73 µg/g e 50 exemplares de *Collossoma macropomum* do rio Carnapijó, em Barcarena na bacia hidrográfica Tocantins, cujo os valores de HgTotal variaram de 0,18-0,1 µg/g<sup>14</sup>. Vasconcellos e colaboradores<sup>14</sup> analisaram as concentrações de HgT em 88 exemplares de 17 espécies de peixes na região do médio Tapajós, dentre as quais, as espécies predadoras piranha preta, surubim, tucunaré, barbado, peixe cachorro e mandubé apresentaram respectivamente, as seguintes variações nas concentrações de HgTotal: 0,33-1,95 µg/g; 0,13-0,45 µg/g; 0,31-0,75 µg/g; 0,31-0,75 µg/g; 0,32-1 µg/g e 0,6 µg/g (Tabela 1).

Determinado estudo analisou diferentes espécies de peixes em três bacias hidrográficas (Tapajós, Tocantins e Caeté)<sup>16</sup>. Dos 113 exemplares analisados incluiu-se as espécies (*Semaprochilodus spp*, *Mylossoma spp*, *Leporinus spp*, *Leporinus affinis*, *Leporinus friderici*, *Brachyplatystoma*, *Cynoscion acoupa*, *Arius couma*). Na bacia hidrográfica do Tapajós as maiores concentrações de HgTotal foram encontradas na espécie *Leoponimus frideci*, cuja média foi  $0.5319 \pm 1.1680$  µg/g. Na bacia do Caeté foram analisados 12 exemplares que incluiu 5 *Brachyplatystoma flavicans*, de hábito predador, cujo os níveis variaram de  $0.1218 \pm 0.1021$  µg/g à  $0.0397 \pm 0.0187$  µg/g<sup>16</sup>.

Oliveira<sup>16</sup> analisaram 120 exemplares de duas espécies (Tucunaré e Pescada branca) que foram comparadas de acordo com a estação sazonal. Na estação seca *Cichla spp* apresentou concentração média de HgTotal foi de 0,62 µg/g e *Plagioscion squamosissimus* 0,73 µg/g. Na estação chuvosa *Cichla spp* o valor apresentado foi de 0,39 µg/g e *Plagioscion squamosissimus* 0,54 µg/g.

Tabela 1. Concentração de mercúrio em peixes no estado do Pará; nas localidades: Lago Maíca; Tucuruí; Amazônia; Itaituba/Barcarena; Itaituba/Barcarena e Rio Bacajá, Xingu.

Localização/ bacia	Nº	Hábito alimentar	Espécie/nome popular	HgTotal µg/g
Lago Maíca	31	Predador	<i>Cichla ocellaris</i> (Tucunaré)	0,12
	30	Predador	<i>Cichla monoculus</i> (Tucunaré)	0,24
Tucuruí	95	Predador	<i>Cichla ocellaris</i> (Tucunaré)	0,06 a 3,18
Amazônia	130	Predador	<i>Geophagus surinamensis</i> (Acará-tinga)	0,01 a 0,16
			<i>Cichla ocellaris</i>	0,07 a 3,35
			<i>Geophagus surinamensis</i>	0,01 a 0,17
Itaituba/Barc arena	48	Predador	<i>Cichla ocellaris</i>	0,36-0,11
			<i>Cichla ocellaris</i>	0,25-0,07
Itaituba/Barc arena	50	Predador	<i>Collossoma macropomum</i> (Tambaqui)	0,26-0,05
			<i>Collossoma macropomum</i>	0,18-0,1
Rio Bacajá, Xingu	35	Predador	<i>Ageneiosus inermis</i> (Manduba)	0,76 e 0,53
	4	Predador	<i>Boulengerella cuvieri</i> (Bicuda)	1,42 e 1,11
	8	Predador	<i>Hemisorubim platirinchus</i> (Escotilha)	0,61 e 0,40
	3	Predador	<i>Hoplias aimara</i> (Traírão)	0,85 e 0,62
	3	Predador	<i>Hoplias malabaricus</i> (Traíra)	0,49 e 0,34
	1	Predador	<i>Hoplierytrinus unitaeniatus</i> (Jaju)	0,23 e 0,14
	8	Predador	<i>Hydrolycus armatus</i> (Cachorra)	1,08 e 0,86
	4	Predador	<i>Hydrolycus scomberoides</i> (Payara)	0,52 e 0,28
	2	Predador	<i>Hydrolycus tatauaia</i> (Cachorra)	0,40 e 0,39
	3	Não predador	<i>Myloplus rhomboidalis</i> (Pacu)	0,06 e 0,03
	6	Não predador	<i>Myloplus rubripinnis</i> (Redhook myleus)	0,01 e 0,01
	18	Predador	<i>Phractocephalus hemiolopterus</i> (Pirara)	0,83 e 0,55
	25	Predador	<i>Pimelodus blochii</i> (Bagre de Bloch)	0,26 e 0,24
	26	Predador	<i>Pimelodus ornatus</i> (Mandi)	0,57 e 0,43
	6	Predador	<i>Pinirampus pirinampu</i> (Bigode chato)	0,68 e 0,43
	20	Predador	<i>Plagioscion squamosissimus</i> (Pescada branca)	0,54 e 0,39

Na região do Tocantins (Tabela 2) foram analisados dois estudos, um realizado em peixes capturados no lago de Tucuruí avaliando duas espécies predadoras com níveis de MeHg e HgTotal variando de 0,06 a 3,18 µg/g e 0,07 a 3,35 µg/g, respectivamente. Os níveis de MeHg na espécie acará-tinga variaram de 0,01 a 0,16 µg/g e os valores de HgTotal 0,01 a 0,17 µg/g<sup>18</sup>. O outro estudo realizado na bacia do Tocantins, onde, analisaram 50 exemplares incluindo 23 *Hypophthalmidae spp*, 15 *Macrodon ancylodon* e 12 *Plagioscion squamosissimus*, todos os exemplares apresentaram concentrações que variaram respectivamente de 0.0449±0.0193 µg/g, 0043±0.0033 µg/g e 0.0486±0.0163 µg/g<sup>15</sup>.

Na região do rio Caeté (estuário) localizado em Bragança, nordeste do Pará analisou-se quatro espécies de peixes, sendo três espécies predadoras (*Brachyplatystoma flavicans*, *Cynoscion acoupa*, *Arius couma*) e uma não predadora (*Genyatremus luteus*) (Tabela 2). Independente de hábito alimentar, todos os exemplares analisados apresentaram concentrações de HgTotal abaixo de 0,5 µg/g<sup>15</sup>. Compararam-se exemplares da espécie predadora (tambaqui) de acordo com o habitat, peixes de cativeiro e peixes de igarapé, na região do nordeste do Pará. A metade dos exemplares de cativeiro (controle) e a outra metade de ambiente livre apresentaram concentrações 0,03 µg/g e 0,15 µg/g respectivamente<sup>20</sup>.

Na bacia do Rio Xingu (Tabelas 1 e 2), analisaram MeHg e HgTotal de 284 exemplares de 21 espécies predadoras, sendo *Ageneiosus inermis*, *Boulengerella cuvieri*, *Hemisorubim platirinchus*, *Hoplias aimara*, *Hoplias malabaricus*, *Hoplierytrinus unitaeniatus*, *Hydrolycus armatus*, *Hydrolycus scomberoides*, *Hydrolycus tatauaia*, *Phractocephalus hemiolopterus*, *Pimelodus blochii*, *Pimelodus ornatus*, *Pinirampus pirinampu*, *Plagioscion squamosissimus*, *Pseudoplatystoma punctifer*, *Serrasalmus manueli*, *Serrasalmus rhombeus* e *Tocantinsia piresi* e quatro não predadoras, *Myloplus rhomboidalis*, *Myloplus rubripinnis*, *Semaprochilodus brama* e *Prochilodus nigricans*<sup>18</sup>.

Tabela 2. Concentração de mercúrio em peixes no estado do Pará, nas localidades Rio Bacajá, Xingu; Região do médio Tapajós; Muduruku Community; Tapajós; Itaituba/Tapajós; Tocantins e Caeté.

Localização/ bacia	Nº	Hábito alimentar	Espécie/nome popular	HgTotal µg/g
Rio Bacajá, Xingu	3	Predador	<i>Pseudoplatystoma punctifer</i> (Tigre malhado)	1,03 e 0,722
	14	Não predador	<i>Semaprochilodus brama</i> (Jaraqui)	0,1 e 0,06
	3	Predador	<i>Serrasalmus manueli</i> (Piranha mururinga)	0,25 e 0,20
	4	Predador	<i>Serrasalmus rhombeus</i> (Piranha olho vermelha)	0,67 e 0,54
	78	Predador	<i>Tocantinsia piresi</i> (Pocomão)	0,28 e 0,22
	10	Não predador	<i>Prochilodus nigricans</i> (Proquilonodus preto)	0,19 e 0,12
Região do médio Tapajós	6	Predador	<i>Serrasalmus rhombeus</i> (Piranha preta)	0,33–1,95
Muduruku Community	6	Predador	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (Surubim)	0,13–0,45
	8	Predador	<i>Pinirampus pirinampu</i> (Barbado)	0,31–0,75
	6	Predador	<i>Cichla ocellaris</i> (Tucunaré)	0,31–0,75
	2	Predador	<i>Rhaphiodon vulpinus</i> (Peixe cachorro)	0,32–1,00
	10	Predador	<i>Geophagus Proximus</i> (Caratinga)	0,03–0,10
	7	Predador	<i>Pimelodus blochii</i> (Mandii)	0,13–0,28
	5	Predador	<i>Leporinus fasciatus</i> (Aracu Flamengo)	0,05–0,11
	6	Predador	<i>Caenotropus labyrinthicus</i> (João duro)	0,17–0,39
	4	Não predador	<i>Schizodon vittatus</i> (Aracu)	0,02–0,04
	7	Não predador	<i>Myloplus rubripinnis</i> (Pacu branco)	0,01–0,07
	6	Não predador	<i>Semaprochilodus insignis</i> (Jaraqui escama grossa)	0,05–0,16
	6	Não predador	<i>Prochilodus nigricans</i> (Curimatá)	0,04–0,10
	6	Não predador	<i>Curimata sp.</i> (Branquinha)	0,06–0,13
Tapajós	38	Não predador	<i>Semaprochilodus spp</i> (Jaraqui)	0,1218

	25	Não predador	<i>Mylossoma spp.</i> (Pacu)	0.0539
	30	Predador	<i>Leporinus spp.</i> (Aracu piau)	0.0524
	11	Predador	<i>Leporinus affinis</i> (Aracu pinima)	0.0866
	9	Predador	<i>Leporinus friderici</i> (Aracu cabeça gorda)	0.5319
	30	Predador	<i>Plagioscion squamosissimus</i> (Pescada branca)	0,73
	39	Predador	<i>Cichla monoculus</i> (Tucunaré)	0,42
	39	Predador	<i>Cichla ocellaris</i> (Tucunaré)	0,73
Itaituba/Tapa jós	30	Predador	<i>Cichla spp.</i> (Tucunaré)	0,62
	30	Predador	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	0,54
	30	Predador	<i>Cichla spp.</i>	0,39
Tocantins	23	Não predador	<i>Hypophthalmidae spp.</i> , (Mapará)	0.0449
	15	Não predador	<i>Macrodon ancylodon</i> (Pratiqueira)	0.0043
	12	Predador	<i>Plagioscion squamosissimus</i> (Pescada branca)	0.0486
Caeté	5	Predador	<i>Brachyplatystoma flavicans</i> (Dourada)	0.0614
	3	Predador	<i>Cynoscion acoupa</i> (Pescada amarela)	0.0397
	4	Predador	<i>Arius couma</i> (Bagre)	0.0518
	14	Não predador	<i>Genyatremus luteus</i> (Peixe pedra)	0.0981

Tabela 3. Concentração de mercúrio em peixes no estado do Pará, nas localidades Criadouro da UFRA (Castanhal) e Igarapé Gelado (Castanhal).

Localização/bacia	N	Hábito alimentar	Espécie/nome popular	HgTotal µg/g
Criadouro da UFRA (Castanhal)	2	Predador	<i>Colossoma macropomum</i>	0,03
Igarapé Gelado (Castanhal)	2	Predador	<i>Colossoma macropomum</i>	0,15

Entre as espécies predadoras os níveis de HgTotal variaram de 0,23 µg/g a 1,42 µg/g. Nas espécies não predadoras as concentrações variaram de 0,01 µg/g a 0,19 µg/g. A maioria das espécies analisadas no Xingu apresentaram níveis de

HgTotal e MeHg acima de 0,5 µg/g, valor de referência de segurança para o consumo humano.

## DISCUSSÃO

Neste estudo foram analisados oito artigos, dos quais cinco (62,5%) investigaram os níveis de Hg Total em peixes na bacia do Tapajós (um dos quais analisou também peixes do Tocantins e Caeté), um no lago Tucuruí, um estudo controle com peixes em cativeiro, e um da bacia do Rio Xingu. Todos utilizaram a matriz muscular para medir a concentração de HgTotal e/ou MeHg.

A bacia do rio Tapajós é de suma importância para o ecossistema amazônico, respondendo por cerca de 25% do potencial hidrelétrico da Amazônia e 70% do potencial nacional, e é essencial para o abastecimento de água para consumo humano e animal<sup>22</sup>. Além disso, a região do Tapajós apresenta características de contaminação por mercúrio devido ao histórico de práticas de mineração 2010 para 68.351 ha em 2020, um aumento de 46.914 hectáres<sup>23</sup>. Desde 1992, existem programas interessados em identificar a relação entre as atividades de mineração e a contaminação por mercúrio na bacia do Tapajós, um deles foi a Coordenadoria de Ecologia Humana e Meio Ambiente - COEHMA, hoje Seção de Meio Ambiente da SAMAM<sup>24</sup>.

Entre os peixes capturados na bacia do Tucuruí (Tabela 1), a espécie *Cichla ocellaris* foi a mais estudada e que apresentou as maiores concentrações de HgTotal, a maioria dos exemplares ultrapassando níveis de 0,5 µg/g e um desses mostrou nível máximo de 3,35 µg/g<sup>17</sup>. A variação sazonal dessa espécie foi demonstrada por Oliveira<sup>16</sup> onde os níveis médios de 0,62 µg/g foram encontrados na estação seca em detrimento da estação chuvosa com 0,39 µg/g. Apontam que No período de cheia das marés o excesso de água pode contribuir para a diluição do Hg e consequentemente a redução das concentrações de mercúrio nas amostras avaliadas<sup>14</sup>.

Ocorre maior deposição atmosférica de metais pesados como: Hg, Cu, Cr e Zn no período do verão quando comparados ao inverno<sup>25</sup>. Períodos de chuvas mais escassos devido as mudanças climáticas globais influenciam no período de massa de água continental nas regiões estuarinas, o que favorece a contaminação e maior biodisponibilidade de mercúrio nos organismos presentes<sup>26</sup>. Além disso, fatores como o desflorestamento, criações de barragens e usinas hidrelétricas são determinantes nos níveis de contaminação por mercúrio na população amazônica<sup>6</sup>.

O estudo realizado em peixes na região do Tapajós que analisou as concentrações de mercúrio em dois períodos e locais distintos, 1992 e 2001, mostrou que as concentrações de HgTotal aumentaram no lago Maíca (Tabela 1) (Santarém-Pará), no ano de 1992, quando a média de HgTotal foi 0,12 µg/g e no Rio Tapajós a média foi 0,42 µg/g. Em 2001, a média de HgTotal no lago Maíca foi de 0,24 µg/g e no Rio Tapajós, (região influenciada por atividade garimpeira de ouro) a média de Hgtotal foi 0,73 µg/g. Esses resultados sugerem um incremento da contaminação por mercúrio no decorrer do tempo, em locais próximos ou/e distantes de áreas de garimpos de ouro. No entanto, um estudo no Mato Grosso, que também avaliou a concentração de mercúrio em dois períodos, observou uma redução dos níveis, no primeiro momento em 2000, quando a média encontrada foi 0,437 µg/g, no segundo momento em 2005 quando a média foi 0,127 µg/g, fato que foi explicado pela redução da utilização do metal na região<sup>20</sup>. Atividades industriais, emissão de gases de efeito estufa e queima de combustíveis fósseis também estão relacionados à contaminação de mercúrio na água e peixes<sup>27</sup>; porém, faltam estudos que demonstrem essa associação, na Amazônia

Outras espécies predadoras analisadas no Tapajós (Tabela 2) apresentaram níveis acima do limite aceitável para consumo humano, tais como a piranha preta com níveis variando de 0,33-1,95 µg/g, surubim 0,13-0,45 µg/g, barbado 0,31-0,75 µg/g, tucunaré 0,31-0,75 µg/g, peixe cachorro com 0,32-1,0 µg/g e mandubé com 0,6 µg/g<sup>15</sup>. Essas espécies oferecem riscos de danos neurológicos tanto para adultos como crianças, risco ainda é maior para as mulheres grávidas e seus conceptos se forem consumidas com frequência na dieta, durante a gestação. O metilmercúrio

contido nessas espécies é absorvido pelo organismo, atravessa a barreira feto placentária e alcança os tecidos vulneráveis do feto, dentre os quais, o sistema nervoso<sup>1</sup>.

Espécies não predadoras da bacia do Tapajós (Tabela 2) incluindo caratinga, mandii, uruaçu, flamengo, joão duro, charuto, pacu branco, jaraqui escama grossa, curimatã e branquinha apresentaram concentração de 0,01 à 0,28 µg/g<sup>14</sup>. Essas espécies apresentaram as menores concentrações de mercúrio, algumas das quais, já tinham se reveladas com baixos níveis de mercúrio no tecido muscular<sup>15</sup> por isso devem ser recomendadas para consumo regular por ribeirinhos dessa região.

Por outro lado, analisaram 113 exemplares de cinco espécies predadoras na região do Tapajós, e 63 não predadoras. Concentração de HgTotal impróprio para o consumo humano foi encontrada apenas na espécie *Leporinus friderici* ( $0,5319 \pm 1,1680$  µg/g), nas demais espécies incluindo predadores e não predadores as concentrações variaram de  $0,0043 \pm 0,0033$  µg/g a  $0,0524 \pm 0,0195$  µg/g<sup>14</sup>.

A Bacia Tocantins-Araguaia representa a maior bacia hidrográfica exclusivamente brasileira. A bacia abastece municípios de três regiões do país e abriga a Usina Tucuruí. Além disso, é o segundo maior em termos de disponibilidade de água<sup>28</sup>. No entanto, a usina hidrelétrica causou impactos negativos como inundação de áreas florestais, redução dos estoques pesqueiros locais, erosão de leitos e margens de rios<sup>29</sup>. Mudanças nos solos próximos aos rios podem causar distúrbios que favorecem a contaminação por mercúrio nos rios e nos peixes. Pois as formas iônicas do Hg são formadas por complexos de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e outras moléculas orgânicas presentes naturalmente nos ecossistemas, no solo esses complexos são facilmente absorvidos pelas zonas argilosas e pela matriz sólida (formada principalmente por óxidos de ferro, alumínio e manganês e substâncias húmicas). Solos argilosos têm alta capacidade de retenção de mercúrio e podem acumular Hg durante anos; portanto, solos ricos em materiais húmicos e sujeitos a inundações apresentam maiores concentrações de Hg, independentemente do processo de mineração, pois as altas precipitações na região amazônica interferem no processo redox na interface solo/atmosfera<sup>30</sup>.

Dois estudos analisaram os níveis de HgTotal em peixes da bacia do Tocantins (Tabela 2). Investigaram 50 exemplares de três espécies (*Hypophthalmidae spp*, *Macrodon ancylodon*, e *Plagioscion squamosissimus*), todas as espécies inclusive de hábito predador apresentaram baixas concentrações de HgTotal, sugerindo que as populações que consomem os peixes dessa bacia, podem manter o consumo regular dessas espécies em sua alimentação<sup>16</sup>. Outro estudo nessa região analisou 50 exemplares da espécie *Colossoma macropomum* e 48 da espécie *Cichla ocellaris*, cujas concentrações de HgTotal no tecido muscular variaram respectivamente de 0,18-0,1 µg/g e 0,25-0,07 µg/g<sup>15</sup>. Os baixos níveis de Hg encontrados na região do Tocantins podem ser explicados pela ausência de atividade antropogênica de mineração artesanal (garimpo de ouro) ou atividade industrial, situações diferentes da bacia do Tapajós.

O Rio Xingu é o quarto maior afluente do Rio Amazonas. Com uma área de bacia aproximada de 504 mil km<sup>2</sup>, o Xingu é comparável em extensão territorial a França. Dois terços da bacia estão situados no estado do Pará, com o terço restante localizado no estado do Mato Grosso. O Rio Xingu tem aproximadamente 2.500 km de extensão e contribui com aproximadamente 4% da vazão anual do Rio Amazonas. A confluência do Rio Xingu com o Rio Amazonas está situada a aproximadamente 420 quilômetros do Oceano Atlântico. A influência das marés oceânicas foi observada até 100 km no rio Xingu<sup>31</sup>.

Na região do Xingu, analisaram 284 exemplares envolvendo 14 espécies predadoras e oito espécies não predadoras capturadas no Rio Bacajá (Tabela 1 e 2). Entre as espécies predadoras três apresentaram concentrações de HgTotal e MeHg respectivamente abaixo de 0,5 µg/g (nível de segurança para o consumo humano), incluindo as espécies *Hoplias malabaricus* (traíra), com concentrações variando de 0,34 µg/g e 0,49 µg/g, *Hydrolycus tatauaia* 0,40 µg/g e 0,39 µg/g e 0,34 µg/g to 0,49 µg/g, *Hydrolycus tatauaia* (cachorra), com concentrações variando de 0,34 µg/g e 0,49 µg/g, *Hydrolycus tatauaia* 0,40 µg/g e 0,39 µg/g, e *Serrasalmus manueli* (piranha murutinga), com concentrações de 0,25 µg/g e 0,20 µg/g. As demais espécies predadoras apresentaram níveis acima de 0,5 µg/g, dentre as quais,

três espécies apresentaram concentrações acima de 1 µg/g, sendo as espécies *Pseudoplatystoma punctifer* (tigre malhado) com 1,03 µg/g e 0,722 µg/g, *Boulengerella cuvieri* (bicuda) com 1,42 µg/g e 1,11 µg/g, e *Hydrolycus armatus* (cachorro) com 1.08 µg/g e 0.86 µg/g<sup>18</sup>. Os resultados encontrados nas espécies predadoras na região do Xingu sugerem a existência de atividades antropogênicas, provavelmente, decorrentes da mineração artesanal de ouro que faz uso de grande quantidade de mercúrio elementar, além de áreas de devastação florestal evidenciadas nos últimos anos.

Uma nota técnica<sup>22</sup> de 2023, que buscou analisar os níveis de mercúrio em peixes consumidos pela população amazônica, mostra que na região de São Félix do Xingu a concentração média de mercúrio do HgTotal foi de 0,50 µg/g, valor acima da média do estado do Pará, que foi de 0,27 µg/g.

As descobertas em espécies predadoras na região do Xingu indicam a potencial influência das atividades antrópicas, particularmente a mineração artesanal de ouro, que é conhecida por envolver o uso de quantidades significativas de mercúrio elementar, e o impacto do desmatamento, conforme evidenciado por observações recentes. Isso porque as concentrações de Hg total encontradas estão acima da média do Estado do Pará para esse contaminante.

As espécies predadoras *Ageneiosus inermis*, *Hermisorubim platirinchus*, *Hoplias aimara*, *Hoplierytrinus unitaeniatus*, *Hydrolycus scomberoides*, *Pimelodus ornatus*, *Pinirampus pirinampu*, *Plagioscion squamosissimus* e *Serrasalmus rhombeus* apresentaram níveis de HgTotal e MeHg maior que 0,5 µg/g e < 1,0 µg/g em tecido muscular de peixes. Todas as espécies não predadoras da região do Xingu analisadas apresentaram concentrações de HgTotal e MeHg que variaram de 0,01 µg/g a 0,39 µg/g (Tabela 1 e 2). Essas espécies devem ser recomendadas para consumo na dieta das populações ribeirinhas e indígenas dessa região.

A bacia do rio Caeté tem área total de 2.235,14 km<sup>2</sup> e atravessa sete municípios do Pará: Augusto Corrêa, Bonito, Bragança, Capanema, Ourém,

Tracuateua e Santa Luzia do Pará, tendo sua nascente no município de Bonito desaguando no Oceano Atlântico<sup>31</sup>.

Peixes do rio Caeté foram analisados em dois estudos (28,5%) os quais observaram concentrações de HgTotal abaixo dos valores permitidos para consumo humano em espécies predadoras (Tabela 2). Pinheiro<sup>15</sup> encontraram nesta região as seguintes espécies e valores correspondentes: *Brachyplatystoma flavicans* (dourada) apresentou média das concentrações de  $0.0614 \pm 0.0320 \mu\text{g/g}$ , *Cynoscion covers* (pescada amarela) apresentou  $0.0397 \pm 0.0187 \mu\text{g/g}$ , *Catfish* (bagre) ( $0.0518 \pm 0.0082 \mu\text{g/g}$ ), e na espécie não predadora *Genyatremus luteus* (peixe pedra) ( $0.0981 \pm 0.1383 \mu\text{g/g}$ ). No entanto, o estudo realizado por Marques<sup>10</sup> foram identificadas as espécies *Brachyplatystoma filamentosum* (filhote) e *Brachyplatystoma platynemum* (piraíba) entre as 14 espécies mais contaminadas por mercúrio na região amazônica, e que apresentaram respectivamente as seguintes médias de HgTotal  $1,65 \mu\text{g/g}$  e  $1,99 \mu\text{g/g}$ . São dados relevantes, pois essas são espécies de grande importância comercial para o estuário Amazônico, em especial para a região do Tocantins<sup>31</sup>. O tamanho dos exemplares e o período sazonal de captura das espécies podem explicar as diferenças encontradas nos dois estudos que envolveram espécies predadoras.

Particularmente na região do Tocantins<sup>31</sup>. A discrepância nos resultados entre os dois estudos envolvendo espécies predadoras pode ser atribuída aos diferentes tamanhos dos espécimes e aos períodos sazonais em que foram capturados.

No Estado do Pará, a espécie *Colossoma macropomum* (tambaqui) não predadora é encontrada em diferentes bacias hidrográficas, e muito consumida na dieta por populações ribeirinhas e urbanas. Foi a espécie com maior produção no estado, em 2022 e o quarto colocado na produção nacional, logo os baixos teores de contaminação por mercúrio, assim como nas demais espécies são extremamente relevantes<sup>10</sup>. Neste estudo, essa espécie foi avaliada no Tapajós por Vieira e colaboradores<sup>13</sup> apresentando variação de HgTotal  $0,18 - 0,1 \mu\text{g/g}$  (Tabela 3) e mais recentemente Prazeres<sup>20</sup> avaliou tambaqui de criadouro no município de Castanhal

e compararam com tambaqui de igarapés da mesma região e encontraram níveis muito baixos nos exemplares do criadouro, cuja média foi 0,03 µg/g, enquanto, nos exemplares de vida livre, as concentração média de Hg/Total foi 0,15 µg/g, na mesma ordem de grandeza dos exemplares encontrados na região do Tapajós por Vieira e colaboradores<sup>13</sup>. Esses resultados ratificam a espécie *Colossoma Macroporum* como uma espécie que pode ter seu consumo frequente recomendado.

Dois estudos (25%) analisaram a concentração de MeHg (µg/g), um artigo (12,5%) não relatou dados sobre o peso e o cumprimento dos peixes analisados, a falta desses dados é importante pois a bioacumulação do mercúrio nos peixes é expressa em razão da idade e comprimento do espécime<sup>35</sup>.

A totalidade dos estudos utilizou a metodologia da Espectofotometria de Absorção Atômica para determinar as concentrações de HgTotal no músculo de peixes. Sendo o músculo a parte predominantemente consumida pela população, este apresenta maior potencial de contaminação, especialmente em espécies que estão no topo da cadeia trófica<sup>26</sup>.

Três estudos (37,5%) identificaram a relação proporcional entre maiores concentrações de mercúrio e maior comprimento, peso e níveis tróficos mais elevados, tal qual, os estudos semelhantes<sup>26,34,35</sup>. Contudo, o estudo realizado em Rondônia não apresentou diferença significativa na relação comprimento e peso com as concentrações de mercúrio, nos peixes analisados<sup>35</sup>. O estudo feito realizado na localidade da Bacia Mamumuru, apenas uma das 17 espécies de peixes demonstrou relação significativa entre o comprimento e teor de mercúrio<sup>33</sup>.

Em relação aos valores de Hg encontrados neste estudo, 5 (62,5%) dos estudos identificaram concentrações de HgTotal acima dos valores permitidos, incluindo os capturados nos reservatórios de Tucuruí que apresentaram valores que variaram de 0,6 a 3,18 µg/MeHg para *Cichla* e valores de 0,01 a 0,16 µg/MeHg para *Geophagus Surinamensis*, e valores de 0,07 a 3,35 µg/g total para *Cichla* e para *Geophagus Surinamensis*, variou de 0,01 a 0,17 µg/g total. O estudo de Souza-Araujo<sup>18</sup> identificou nove espécies com concentrações de Hgtotal acima do limite

preconizado pela Organização Mundial da Saúde e uma espécie que ultrapassou o limite para peixes predadores segundo a legislação brasileira.

A maioria das espécies de peixes na Amazônia estão livres para o consumo, segundo os limites da Organização Mundial de saúde, e somente as seguintes espécies com os respectivos teores de mercúrio, *Boulengerella cuvieri* (bicuda, ueua) 1,42 µg/g, *Brachyplatystoma filamentosum* (filhote, piraíba) 1,12 µg/g, *Brachyplatystoma platynemum* (bagre, barba chata, babão) 1,99 µg/g, *Calophysus macropterus* (piracatinga, pintadinho, piranambu) 1,28 µg/g, *Cichlasoma spectabile* (cará) 1,2 µg/g, *Hemicetopsis candiru* (candiru) 0,73 µg/g e *Hoplias malabaricus* (traíra) 1,38 µg/g devem ser consumidas com precaução devido aos elevados níveis de contaminação mercuria<sup>11</sup>. Na corrente revisão, as espécies bicuda, filhote e traíra oriundas de bacias hidrográficas no Estado do Pará, apresentaram também concentrações impróprias para consumo humano, ratificando o estudo realizado por Marques<sup>10</sup>.

Está revisão apesar da extensa procura por trabalhos, tem como limitações, o número escasso de artigos encontrados, a não uniformidade do tamanho amostral dos estudos e a não uniformidade das espécies estudadas. Em contrapartida, todos os espécimes analisados sofreram o mesmo tratamento para a coleta e mesmo processo de determinação mercurial, o que possibilitou a comparação entre os estudos e torna consistente e relevante os resultados obtidos e discutidos no presente estudo.

## CONCLUSÃO

Os resultados dessa revisão mostram que a contaminação de peixes por mercúrio é preocupante nas regiões do Tapajós e Xingu, principalmente, nas espécies predadoras de rios da bacia do Tapajós, cujas concentrações ultrapassaram o limite de segurança estabelecidos pela OMS. Os peixes da bacia do Tocantins, a exceção do lago de Tucuruí (que sofre influência desta bacia) apresentaram as menores concentrações de HgTotal no tecido muscular, sendo o Tambaqui, a

espécie mais estudada. Além do tambaqui, podem ser consumidas com segurança, as espécies *Hypophthalmidae spp* (mapará), *Macrodon ancylodon* (Pratiqueira), e *Plagioscion squamosissimus* (pescada).

Na região do Xingu, a semelhança dos peixes da região do Tapajós, as espécies piscívoras *Pseudoplatystoma punctifer*, *Boulengerella cuvieri*, *Hydrolycus armatus*, *Ageneiosus inermis*, *Hermisorubim platirinchus*, *Hoplias aimara*, *Hoplierytrinus unitaeniatus*, *Hydrolycus scomberoides*, *Pimelodus ornatus*, *Pinirampus pirinampu*, *Plagioscion squamosissimus* e *Serrasalmus rhombeus* também apresentaram concentrações acima do limite de segurança e como tal devem ser evitadas pelas populações dessas regiões.

Em relação aos períodos sazonais dois estudos mostraram que a contaminação foi mais agravante no período de seca, sugerindo maior atenção para o consumo das espécies *Plagioscion squamosissimus* e *Cichla spp*.

Como esperado devido ao seu histórico de mineração de ouro (garimpo), as bacias dos rios Tapajós e Xingu se destacaram por apresentarem maiores níveis de contaminação por mercúrio nos peixes estudados.

Os resultados apresentados nesta revisão sugerem a necessidade de mais estudos para uma investigação mais profunda da área, visto que, o estado do Pará apresenta na pesca um grande potencial em ascensão econômico, sustentável, e valor cultural incalculável à população paraense, porém, a segurança alimentar referente ao consumo de espécies contaminadas por metilmercúrio é de fundamental importância para a prevenção de efeitos tóxicos decorrente da exposição através do consumo pela dieta.

## **CONFLITO (S) DE INTERESSE**

Os autores declaram que não existem conflitos de interesse.

## **REFERÊNCIAS**

1. Harada M. Minamata Disease: Methylmercury Poisoning in Japan Caused by Environmental Pollution. Crit Rev Toxicol [Internet]. 1995; 25;25(1):1–24. <https://doi.org/10.3109/10408449509089885>

2. Batista PRS. Da responsabilidade penal ambiental decorrente da exploração do garimpo ilegal de ouro na APA do Rio Madeira. Rev.Científica do CPJM. 2024; 3 (9) :393–412. <https://doi.org/10.55689/rpcjm.2024.09.016>.
3. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M. Handbook on the toxicology of metals. Environ Pollut Ser A, Ecol Biol. 1980; 22 (4) :323–4. <https://doi.org/10.1201/9781003418917>.
- 4 Dorea JG, Barbosa AC, Silva GS. Fish mercury bioaccumulation as a function of feeding behavior and hydrological cycles of the Rio Negro, Amazon. Comp Biochem Physiol Part C Toxicol Pharmacol. 2006; 142 (34) :27583. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2005.10.014>.
5. Crespo-Lopez ME, Augusto OM, Lopes AA, Santos SL, Yuki TP, Macchi BM. Mercury: What can we learn from the Amazon?.2021;146:106223. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106223>.
6. Wasserman J, Hacon S. O Ciclo do Mercúrio no Ambiente Amazônico. Mundo e Vida. 2001; 2:46–53. [http://www.uff.br/cienciaambiental/mv/mv2/MV2\(1-2\)46-53.pdf](http://www.uff.br/cienciaambiental/mv/mv2/MV2(1-2)46-53.pdf).
7. Lino AS, Kasper D, Guida Y, Thomaz JR, Malm O. Mercury and selenium in fishes from the Tapajós River in the Brazilian Amazon: An evaluation of human exposure. J Trace Elem Med Biol. 2018; 1 48:196–201. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.04.012>.
8. Brasil. RESOLUÇÃO - RDC Nº 42, DATA 29 DE AGOSTO DE 2013. 2013; [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0042\\_29\\_08\\_2013.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0042_29_08_2013.html)
9. Brasil. INSTRUÇÃO NORMATIVA- IN Nº 160, DE 1º DE JULHO DE 2022.2022; <https://03a02bb0-7856-4da4-a6f8-6a1e99d487d9> (anvisa.gov.br).
10. Marques DS. Níveis de mercúrio em peixes na Amazônia brasileira. 2022. 202 f. Dissertação (Mestrado em Epidemiologia e Vigilância em Saúde) - Instituto Evandro Chagas, Programa de Pós-Graduação em Virologia. Ananindeua. 2022. Disponível em: <https://patua.iec.gov.br/handle/iec/6747>.
11. Amaro CSO, Rodrigues Junior D, Silva MCF, Lima AAS, Santos GFS, Pinheiro MCN. Concentração de mercúrio total (Hg-T) em peixes comercializados em diferentes períodos sazonais no Mercado do Ver-o-Peso, Belém, Estado do Pará, Brasil. Rev Pan-Amazônica Saúde. 2014; 5 (1) :53–60. <https://doi.org/10.5123/S2176-62232014000100006>.

12. Vera Y. Mercury Bioaccumulation in the Brazilian Amazonian Tucunares (Cichla sp., Cichlidae, Perciformes). *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. 2008; 31;3(2):19–27. <https://doi.org/10.4136/amb-agua.49>.
13. Vieira JLF, Gomes ALS, Santos JPN, Lima TCD, Freitas JA, Pinheiro MCN. Mercury Distribution in Organs of Two Species of Fish from Amazon Region. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2011; 28 87 (4) :377. <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0386-9>.
14. Vasconcellos ACS, Hallwass G, Bezerra JG, Aciole ANS, Meneses HN de M, Lima MO. Health Risk Assessment of Mercury Exposure from Fish Consumption in Munduruku Indigenous Communities in the Brazilian Amazon. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 27 18 (15) :7940. <https://doi.org/10.3390/ijerph18157940>.
15. Pinheiro MCN, Souza GS, Cristina M, Carneiro SR, Maria J, Costa F. Fish intake from different ecosystems and exposure in family fisheries in the brazilian Amazon. 2021; 11 (9) :46677–82. <https://doi.org/10.37118/ijdr.21341.05.2021>.
16. Oliveira RB, Silva DM, Franco TSBS, Vasconcelos CRS, Sousa DJA, Sarrazin SLF. 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. *Arch Ind Hyg Toxicol*. 2022; 7 73 (2) :131–42. <https://doi.org/10.2478/aiht-2022-73-3611>.
17. Kehrig HA, Palermo EFA, Seixas TG, Santos HSB, Malm O, Akagi H. Methyl and total mercury found in two man-made Amazonian Reservoirs. *J Braz Chem Soc*. 2009; 20 (6): 1142–52. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532009000600021>.
18. Souza AJ, Giarrizzo T, Lima MO, Souza MBG. Mercury and methyl mercury in fishes from Bacajá River (Brazilian Amazon): evidence for bioaccumulation and biomagnification. *J Fish Biol.* 2016; 31 89 (1) :249–63. <https://doi.org/10.1111/jfb.13027>.

19. Perez TD. Avaliação da contaminação de *Hoplias Malabaricus* (Traíra) como bioindicadora de saúde ambiental em pisciculturas em áreas de garimpo: estudo de caso município de Paranaíta, MT. Rio de Janeiro. Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca. 2008. Disponível em: [https://d1wqxts1xzle7.cloudfront.net/50105958/1816-Pereztdm-libre.pdf?1478286004=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DFundacao\\_Oswaldo\\_Cruz\\_FIOCRUZ\\_Escola\\_Nac.pdf&Expires=1746714378&Signature=hCz0tWED3XzsjhIRo04bAB06jwDZFXxEiYeP5y9ziObcjObYXMndXH4iT3WT-2lA2rj4xZEoqh3-RxmFoB5OD1G9iCzAJSdgXshxx-oDmK6lkpWMc4un1OUAA7dmr~2F2VsKUurQDsIUYEktOl0f6MzX-f7hTTbdxjpHagCld2ZrtTAtRhwnx8Gjc7NrJuvpi2qbsLYRTuEgYbQ52gd4oKqgEGC5Fu6R~y4bg67XKrrQb9GQADTnmt7cDWXm~v8qjaiTCLiaF4XzckKjD00u30kKKpZnQh04SaV9Ggtv3Up7ppBNRkksqmphGkA9KGFuC4mVn4YiFgFkN3sF1QbNw\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqxts1xzle7.cloudfront.net/50105958/1816-Pereztdm-libre.pdf?1478286004=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DFundacao_Oswaldo_Cruz_FIOCRUZ_Escola_Nac.pdf&Expires=1746714378&Signature=hCz0tWED3XzsjhIRo04bAB06jwDZFXxEiYeP5y9ziObcjObYXMndXH4iT3WT-2lA2rj4xZEoqh3-RxmFoB5OD1G9iCzAJSdgXshxx-oDmK6lkpWMc4un1OUAA7dmr~2F2VsKUurQDsIUYEktOl0f6MzX-f7hTTbdxjpHagCld2ZrtTAtRhwnx8Gjc7NrJuvpi2qbsLYRTuEgYbQ52gd4oKqgEGC5Fu6R~y4bg67XKrrQb9GQADTnmt7cDWXm~v8qjaiTCLiaF4XzckKjD00u30kKKpZnQh04SaV9Ggtv3Up7ppBNRkksqmphGkA9KGFuC4mVn4YiFgFkN3sF1QbNw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA).
20. Prazeres LFN, Silva HML, Palheta DC, Penha ICS, Bezerra CNO. Determinação de mercúrio total em *Colossoma macropomum* proveniente da apa do igarapé gelado. Rev Valore. 2020; 13 3:43–52. <https://doi.org/10.22408/revav30201849043-52>.
21. Santos CA, Araujo IB, Wanzeler RTS, Serrão EA de O, Farias MHCS, Lima AMM de. Regionalização Hidroclimatológica Da Bacia Hidrográfica Do Rio Tapajós Hydroclimatic Regionalization of the Tapajós River Watershed Regionalización Hidroclimatológica De La Cuenca Hidrográfica Del Río Tapajós. Rev Geogr Acadêmica v. 2015; 99 (11) :32–51. <https://orcid.org/0009-0005-5337-3833>.
22. Diniz C, Marinho R, Cortinhas L, Sadeck L, Walfir P, Shimbo J, Azevedo T. (2022). Nota Técnica sobre Sedimentos em Suspensão na Bacia do Tapajós.
23. Telmer K, Costa M, Simões AR, Araujo ES, Maurice Y. The source and fate of sediment and mercury in the Tapajós River, Pará, Brazilian Amazon: Ground- and space-based evidence. J Environ Manage. 2006; 81 (2) :101–13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.09.027>.
24. Wong CSC, Li XD, Zhang G, Qi SH, Peng XZ. Atmospheric deposition of heavy metals in the Pearl River Delta, China. Atmos Environ. 2003; 37 (6) :767–76. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00929-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00929-9).
25. Moura VL. Bioacumulação De Mercúrio No Gradiente Estuarino Do Rio Jaguaribe, Ce. Ceará, Fortaleza. Universidade Federal Do Ceará. 2017. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/27562/3/2017\\_dis\\_vlmoura.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/27562/3/2017_dis_vlmoura.pdf).

26. Rodrigues SL, Assis RC, Celedônio RF, Valentim AB, Maia CSC. Teor de mercúrio em peixes do Nordeste brasileiro: uma revisão integrativa. *Rev Ibero-Americana Ciências Ambient* [Internet]. 2020; 15 12 (1) :223–31. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0019>.
27. Ferreira EAB, Tokarski DJ. Bacia hidrográfica do alto Tocantins: Retrato e reflexões. ECODATA: WWF Brasil. 2007.
28. Almeida R. Amazônia, Pará e o mundo das águas do Baixo Tocantins. *Estud Avançados*. 2010; 24 (68) :291–8. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000100020>.
29. Oliveira LC, Serudo RL, Botero WG, Mendonça AGR, Santos A, Rocha JC, et al. Distribuição de mercúrio em diferentes solos da Bacia do médio Rio Negro-AM: influência da matéria orgânica no ciclo biogeoquímico do mercúrio. *Quim Nova*. 2007; 30 (2) :274–80. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200006>.
29. Ladislau A. Skorupa, Uilly Mattilde Pozzobom, Cunha P, Rossete A. Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Cabelo. 2017; 136. [https://www.researchgate.net/publication/332180087\\_Monitoramento\\_da\\_Qualidade\\_da\\_Agua\\_na\\_Bacia\\_Hidrografica\\_do\\_Rio\\_Suia-Micu](https://www.researchgate.net/publication/332180087_Monitoramento_da_Qualidade_da_Agua_na_Bacia_Hidrografica_do_Rio_Suia-Micu).
30. Basta PC, Vasconcellos ACSD, Hallwass G, Yokota D, Pinto DDODER, Aguiar DSD, Costa MOD. Nota Técnica: maio 2023: Análise regional dos níveis de mercúrio em peixes consumidos pela população da Amazônia brasileira: um alerta em saúde pública e uma ameaça à segurança alimentar. Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/acervo/documentos/analise-regional-dos-niveis-de-mercurio-em-peixes-consumidos-pela-populacao-da>.
31. Costa FEV; Soares DAS. Bacia Hidrográfica do Rio Caeté (Pará/Brasil): cobertura e usos da terra e principais problemas ambientais. Uso dos recursos naturais na Amazônia paraense. In Silva, NC. ed.; Uso dos recursos naturais da Amazônia paraense. Belém: GAPTA/UFPA. 2021, 265-299.
32. Paz AC, Frédou FL, Frédou T. Caracterização da atividade pesqueira em Vila do Conde (Barcarena, Pará), no estuário amazônico. *Boletim do Mus Para Emílio Goeldi Ciências Humanas*. 2011; 6 (2) :307–18. <https://doi.org/10.1590/S1981-81222011000200004>.
33. Pimentel DR, Peleja JRP, Goch YGF, Brito BC, Cunha FAG, Sousa OP. Avaliação dos Níveis de Mercúrio (Hg) Total em Peixes de Igarapés da Bacia do Rio Mamuru-Pará-Brasil. *Rev.Saúde e Meio Ambient*. 2019; 9 (3) :34–46. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2022.100014>.

34. Milhomem Filho EO, Oliveira CSB de, Silveira LC de L, Cruz TM, Souza G da S, Costa Junior JMF. A ingestão de pescado e as concentrações de mercúrio em famílias de pescadores de Imperatriz (MA). Rev Bras Epidemiol. 2016; 19 (1) :14–25 <https://doi.org/10.1590/1980-5497201600010002>.
35. Lacerda LDD, Goyanna FADA, Bezerra MF, Costa BGB, Braga TM. Distribuição de mercúrio em peixes comercializados no. Arq Ciencias do Mar. 2016; 49 (1) :50–4. <https://doi.org/10.32360/acmar.v49i1.6159>.
36. Costa ID, Nascimento EL, Facchetti MSA, Nunes NNS, Gomes JPO, Almeida R. Mercury in muscle and liver of *Plagioscion squamosissimus* (Acanthuriformes: Sciaenidae) from the Machado River, Brazilian Amazon. Acta Amaz. 2022; 52 (1) :60–8. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202001032>.