



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO-ICED
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

CYNTHIA CARVALHO CASTRO

**MERCÚRIO TOTAL EM *CICHLA SPP.*, COMERCIALIZADOS EM SANTARÉM-
PA, AMAZÔNIA, BRASIL**

**SANTARÉM-PA
2025**

CYNTHIA CARVALHO CASTRO

**MERCÚRIO EM *CICHLA SPP.*, COMERCIALIZADOS EM SANTARÉM-PA,
AMAZÔNIA, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Colegiado do Curso de Licenciatura em Ciências
Biológicas da Universidade Federal do Oeste do Pará,
para a obtenção do grau de Licenciado em Ciências
Biológicas.

Orientador: Dr. Ricardo Bezerra de Oliveira

Co-orientadora: MsC Domingas Machado da Silva

SANTARÉM-PA

2025

CYNTHIA CARVALHO CASTRO

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/Ufopa

C355m Castro, Cynthia Carvalho
 Mercúrio total em *Cichla spp.* , comercializados em Santarém, PA, Amazônia, Brasil./
Cynthia Carvalho Castro. – Santarém, 2025.
 42 p.: il.
 Inclui bibliografias.

 Orientador: Ricardo Bezerra de Oliveira. Coorientadora:
 Domingas Machado da Silva.
 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará,
 Instituto de Ciências da Educação, Licenciatura em Ciências Biológicas.

 1. Metilmercúrio. 2. Pescados. 3. Mercado. I. Oliveira, Ricardo Bezerra de, *orient.*
 II. Silva, Domingas Machado da, *coorient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 553.454

Aos meus familiares pelo apoio.

AGRADECIMENTO

A Deus, pela minha vida, e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

A minha mãe Antônia Cleide, minha vó Izaura Machado e aos meus irmãos, que mesmo longe me passaram a confiança de que sempre posso contar com eles.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional, à direção, à administração e a todos os demais funcionários, cuja dedicação e esforço incansável garantem a nós, alunos, um ensino de excelência.

Ao meu orientador, Ricardo Bezerra de Oliveira, por sua orientação, paciência e valiosas contribuições ao longo de todo o processo deste trabalho. Seu conhecimento e apoio foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Agradeço profundamente minha coorientadora, Domingas Machado da Silva, por suas sugestões pertinentes, disponibilidade e incentivo, que enriqueceram significativamente o desenvolvimento deste trabalho. Assim como a Dra. Sandra Layse Ferreira Sarrazin pelas sugestões ao decorrer do trabalho escrito.

Por fim, agradeço a todos os cidadãos brasileiros que por meio do pagamento de impostos, tornam possível a existência e manutenção da educação pública. Minha gratidão é acompanhada do compromisso de retribuir esse investimento por meio do meu empenho e dedicação aos estudos, buscando contribuir de maneira significativa para a comunidade e para o Brasil.

Vou vendo o que o rio faz
Quando o rio não faz nada.
Vejo os rastros que ele traz,
Numa sequência arrastada.

RESUMO

O mercúrio (Hg) é um metal pesado tóxico, e sua presença no ambiente aquático tem causado grande preocupação devido aos riscos à saúde pública. A exposição humana ao Hg ocorre, em sua maioria, pelo consumo de peixe contendo concentrações que ultrapassam os limites estabelecidos por Agências Reguladoras. No presente estudo, avaliamos as concentrações de mercúrio total (HgT) em tucunarés (*Cichla spp.*, n=40) comercializados na Feira do Pescado de Santarém, Pará, durante os meses de maio e julho de 2024. O objetivo foi traçar o perfil de contaminação mercurial, verificar a relação com variáveis biométricas (peso e comprimento padrão), comparar os resultados aos limites estabelecidos para comercialização (ANVISA), bem como determinar a quantidade máxima de tucunaré que pode ser consumida pela população, sem potenciais riscos à saúde. A concentração de HgT foi determinada por espectrometria de absorção atômica, em equipamento DMA80 (Milestone, Itália). Todos os resultados foram apresentados como média $\pm$ erro-padrão dos parâmetros selecionados. Considerando os espécimes analisados, estes apresentaram comprimento padrão médio de $27,9 \pm 2,5$ cm e peso médio de $700 \pm 311,5$ g. As concentrações de HgT apresentaram média de $0,18 \pm 0,1$ mg de Hg/Kg de peixe (mínimo de 0,03 e máximo de 0,55). Após análise dos dados, foi possível verificar uma correlação moderada, negativa, entre a concentração de HgT, peso ($r = -5,9$) e comprimento padrão ($r = -4,6$) dos espécimes analisados. Isso significa que, quanto maior o peso e comprimento padrão observados, observou-se uma tendência de diminuição na concentração de Hg. Uma possível explicação para essa correlação negativa inesperada é que a amostra coletada pode não ser representativa da população geral de tucunarés. Outros fatores como seleção de amostra, condições ambientais específicas, tais como o local de captura dos espécimes, bem como o período de coleta das amostras, podem ter influenciado os resultados. Quando comparados aos valores especificados pela ANVISA, os níveis de Hg encontrados em todos os exemplares analisados estavam abaixo do limite máximo permitido, que é de 1,0 mg/Kg de peixes predadores. No entanto, vale ressaltar que as quantidades ingeridas precisam ser analisadas, uma vez que a ingestão semanal de MeHg tolerável para humanos foi determinada em $1,6 \mu\text{g/kg}$ de peso corporal, e a ingestão diária em até $0,23 \mu\text{g/kg}$ (FAO/WHO, 2004). Dessa forma, considerando a concentração média de HgT encontrada ($0,18 \pm 0,1$ mg de Hg/Kg de peixe), e um consumo médio de 250g de proteína por refeição, uma pessoa de 70 kg só poderá comer 2 refeições contendo tucunaré, por semana/10 refeições por mês. Vale ressaltar que para jovens e mulheres em período gestacional, estes valores devem ser reduzidos pela metade. Dessa forma, apesar dos níveis observados estarem dentro dos padrões de segurança e, portanto, permissíveis para comercialização, os valores registrados indicam a necessidade de monitoramento contínuo para garantir a segurança alimentar da população. Os resultados aqui apresentados podem contribuir para a compreensão da dinâmica de contaminação mercurial em pescados amazônicos, destacando a importância de ações de controle e conscientização.

Palavras-chave: Metilmercúrio. Pescados. Mercado. Santarém.

ABSTRACT

Mercury (Hg) is a toxic heavy metal, and its presence in the aquatic environment has raised significant concerns due to public health risks. Human exposure to Hg mostly occurs through the consumption of fish containing concentrations that exceed the limits established by regulatory agencies. In this study, we evaluated the total mercury (HgT) concentrations in peacock bass (*Cichla spp.*, n=40) sold at the Santarém Fish Market, Pará, during the months of May and July 2024. The objective was to outline the mercury contamination profile, verify the relationship with biometric variables (weight and standard length), compare the results to the established commercialization limits (ANVISA), and determine the maximum amount of peacock bass that can be consumed by the population without potential health risks. The HgT concentration was determined by atomic absorption spectrometry using a DMA80 equipment (Milestone, Italy). All results were presented as mean $\pm$ standard error of the selected parameters. Considering the analyzed specimens, they showed an average standard length of 27.9 ± 2.5 cm and an average weight of 700 ± 311.5 g. The HgT concentrations had an average of 0.18 ± 0.1 mg of Hg/Kg of fish (minimum of 0.03 and maximum of 0.55). After data analysis, a moderate, negative correlation was found between HgT concentration, weight ($r = -5.9$), and standard length ($r = -4.6$) of the analyzed specimens. This means that the greater the observed weight and standard length, the lower the Hg concentration tended to be. One possible explanation for this unexpected negative correlation is that the collected sample may not be representative of the general peacock bass population. Other factors, such as sample selection, specific environmental conditions (e.g., the location where specimens were captured), and the sample collection period, may have influenced the results. When compared to the values specified by ANVISA, the Hg levels found in all analyzed specimens were below the maximum permitted limit, which is 1.0 mg/Kg for predatory fish. However, it is worth noting that the ingested amounts need to be analyzed, since the tolerable weekly intake of MeHg for humans was determined to be 1.6 $\mu\text{g/kg}$ of body weight, and the daily intake to be up to 0.23 $\mu\text{g/kg}$ (FAO/WHO, 2004). Therefore, considering the average HgT concentration found (0.18 ± 0.1 mg of Hg/Kg of fish) and an average protein consumption of 250g per meal, a person weighing 70 kg can only have 2 meals containing peacock bass per week / 10 meals per month. It is worth noting that for young people and pregnant women, these values should be halved. Thus, despite the observed levels being within safety standards and therefore permissible for commercialization, the recorded values indicate the need for continuous monitoring to ensure the population's food safety. The results presented here can contribute to understanding the dynamics of mercury contamination in Amazonian fish, highlighting the importance of control and awareness actions.

Keywords: methylmercury, fish, market, Santarém.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Localização geográfica do município de Santarém no estado do Pará e no contexto nacional	25
Figura 2 – Mapa de localização da Feira do Pescado, em Santarém, Pará, Brasil	26
Figura 3 – Feira do pescado de Santarém	27
Figura 4 – Medida de comprimento padrão – <i>Cichla</i> (Tucunaré)	28
Figura 5 – Pesagem das amostras (<i>Cichla spp</i>) em balança digital	29
Figura 6 – Pesagem das duplicatas retiradas das amostras com aproximadamente 2g (<i>Cichla spp</i>) em barcas de quartzo em balança analítica de precisão	30
Figura 7 – Analisador de mercúrio- DMA-80, utilizado nas medições das concentrações de Hg total	31
Figura 8 – Concentrações médias de HgT nos meses de maio e julho de 2024	33
Figura 9 – Concentração (mediana) de HgT, em tucunarés (<i>Cichla spp.</i>), nos meses de maio e julho, 2024	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 01- Dados morfométricos de espécimes do gênero <i>Chicla</i> obtidas comercialmente na Feira do Pescado, em Santarém - Pará, nos meses de maio e Julho de 2024	33
---	----

LISTA DE SIGLAS

Hg	Mercúrio
Hg ⁰	Mercúrio metálico
MeHg	Metilmercúrio
OMS	Organização Mundial da Saúde
MS	Ministério da Saúde
SNC	Sistema Nervoso Central
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 O Mercúrio no meio ambiente e sua dinâmica nos ecossistemas aquáticos	15
2.2 Bioacumulação e biomagnificação de mercúrio em cadeias tróficas aquáticas.....	19
2.3 Impactos do mercúrio na saúde humana e os limites de segurança no consumo de pescado.....	21
2.4 Descrição do tucunaré (<i>Chicla spp.</i>), espécie selecionada para o estudo	23
2.5 Mercurio em peixes da região Amazônica	24
3 OBJETIVO GERAL	24
3.1 Objetivo geral.....	25
3.2 Objetivos específicos.....	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Região de abrangência do estudo e pontos de coleta das amostras	25
4.2 Ponto de coleta das amostras	26
4.3 Determinação dos parâmetros morfométricos e preparo das amostras para análise de mercúrio total.....	28
4.4 Análise de mercúrio total (HgT)	30
4.5 Cálculo de exposição humana.....	31
4.6 Análises estatísticas	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6 CONCLUSÕES.....	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

O mercúrio (Hg) é um elemento químico altamente tóxico ao homem e ao meio ambiente (Bjørklund *et al.*, 2017; Gonçalves; Gonçalves, 2004). Na natureza, o Hg pode ser encontrado em várias formas físicas e químicas, incluindo a forma elementar, sais inorgânicos e compostos orgânicos (Clarkson; Vyas; Ballatori, 2007; Franco, 2009).

O Hg é um elemento-traço sem funções biológicas conhecidas, mas que pode causar efeitos tóxicos mesmo em baixas concentrações (Kershaw; Hall, 2019). No meio ambiente o Hg é transformado em metilmercúrio (MeHg) por ação de bactérias; o peixe absorve o MeHg da água e, também, pela ingestão de organismos aquáticos. Mesmo em regiões com níveis normais de Hg na água, podem ser observados níveis altos de Hg em peixes, pois ao ser incorporado na cadeia trófica, o Hg é bioacumulado e biomagnificado, devido a sua longa meia-vida nos organismos (640 a 1200 dias).

Os solos da bacia amazônica são significativos reservatórios naturais de Hg, com aproximadamente 97% do Hg presente na região sendo de origem natural. (Roulet *et al.*, 1998). Contudo, a intensificação das atividades humanas, como a garimpagem do ouro (Almeida *et al.*, 2005; Lacerda, 1997; Lacerda; Malm, 2008; Santos *et al.*, 2003), o desmatamento, a exploração dos solos e a construção de hidroelétricas na região, tem sido associada ao aumento da incorporação desse metal pesado nos sistemas ecológicos (Brito *et al.*, 2017; Grotto *et al.*, 2010; Gurjão *et al.*, 2010; Roulet *et al.*, 1998).

Por sua vez, a garimpagem na Amazônia, enquanto atividade extrativa mineral, implica, necessariamente na transformação da paisagem e da natureza, bem como em uma série de problemas sociais tais como, os decorrentes da invasão de terras indígenas e os impactos ambientais evidentes. Entre esses problemas, destaca-se a contaminação por Hg que afeta os rios, a fauna silvestre e os seres humanos (Ramos *et al.*, 2020).

Entre as décadas de 70 e 80, ocorreu a corrida do ouro na Amazônia. Durante esse período, o Hg foi utilizado de maneira indiscriminada no processo de extração do ouro. Como resultado, o Hg ainda está presente em alta concentração nos solos e rios dessa região (Gomes *et al.*, 2021). No processo de mineração, esse metal é despejado no ambiente sem qualquer cuidado e se acumula no sedimento dos rios (Crespo-Lopez *et al.*, 2021; Hacon *et al.*, 2020).

A identidade ribeirinha está intrinsecamente relacionada ao rio, a terra e a floresta, como espaços de trabalho das famílias, as quais alternam entre a colheita dos frutos, a captura de animais da floresta e dos peixes do rio. A pesca na Amazônia constitui-se como uma atividade de extrema relevância, garantindo por gerações a manutenção das comunidades que,

tradicionalmente, habitam a região. Como uma atividade tradicional para a sociedade amazônica, a pesca se destaca seja como fonte de alimentos, seja como fonte de renda, por meio do comércio, seja como lazer (Ruffino, 2005).

No Norte do Brasil, o consumo de peixe se destaca quando comparado a outras regiões do País, principalmente nos estados do Amazonas e Pará (Fontenelle; Franco, 2021). Enquanto no Brasil se consomem 2,8 kg de pescado por habitante, no Pará, por exemplo, o valor é de 11,1 kg/habitante, número 3,96 vezes maior que o nacional (FAPESPA, 2023).

Em Santarém, cidade localizada à Oeste do Pará, na confluência dos rios Amazonas e Tapajós, o consumo médio de peixe per capita varia entre 1 e 5 kg por semana (Fontenelle; Franco, 2021). A cidade é considerada o quarto maior porto pesqueiro da Amazônia brasileira, ficando atrás apenas de Manaus, Belém e Tabatinga (Almeida; Mcgrath; Ruffino, 2001).

Segundo Silva e Sieberet (2019), entre as espécies mais frequentemente encontradas em feiras livres em Santarém, o tambaqui (*Colossoma macropomum*), que é tanto oriundo de rios/lagos quanto de viveiros, destaca-se como a espécie mais comercializada. Outras espécies que se destacaram pela presença e demanda de procura, são: o tucunaré (*Cichla spp.*), o pirarucu (*Arapaima gigas*), o acaratinga (*Geophagus proximus*) e a pescada (*Plagioscion squamosissimus*).

Considerando o cenário de contaminação mercurial na Amazônia e a importância do pescado como fonte alimentar para as comunidades ribeirinhas, postula-se que os níveis de Hg total encontrados no pescado comercializado em uma cidade do interior da Amazônia brasileira excedem os limites estabelecidos pela legislação brasileira e internacional para consumo humano seguro. Essa hipótese sugere ainda que os fatores ambientais específicos da região, como as características limnológicas do rio Tapajós e a atividade antrópica intensiva, com destaque para a mineração de ouro, contribuem significativamente para a bioacumulação de MeHg nos peixes piscívoros, entre eles o tucunaré; uma espécie particularmente vulnerável, apresentando altos níveis de Hg em seus tecidos, o que é uma preocupação para as comunidades que dependem desses peixes como fonte alimentar (Jacovani, 2019).

Portanto, no presente estudo, nosso objetivo foi determinar a concentração de Hg total em espécies piscívoras do gênero *Cichla*, consumidas na cidade de Santarém, PA, bem como verificar se as concentrações de Hg total alteram em função das variáveis biológicas peso e comprimento padrão. Além disso, objetivamos avaliar se os valores obtidos se encontram dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira, e por fim, determinar a quantidade máxima de tucunaré que pode ser consumida pela população, sem potenciais riscos à saúde.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O Mercúrio no meio ambiente e sua dinâmica nos ecossistemas aquáticos

O Hg é um elemento químico amplamente presente no meio ambiente, com ocorrência tanto natural quanto antrópica. Naturalmente, é liberado por processos geológicos, como erupções vulcânicas e erosão de rochas, enquanto fontes antrópicas, como o garimpo de ouro, a queima de combustíveis fósseis e atividades industriais, aumentam significativamente sua concentração em ecossistemas vulneráveis, como os encontrados na Amazônia (Souza 2004; Crespo-López *et al.*, 2021). A dinâmica do Hg no ambiente é complexa e envolve sua mobilização, transformação e bioacumulação, com implicações ambientais e para a saúde humana.

No meio ambiente aquático, o Hg é transportado por meio de escoamento superficial, erosão e deposição atmosférica, alcançando rios, lagos e reservatórios. Uma vez introduzido nesses sistemas, pode se acumular nos sedimentos, onde é transformado em MeHg por processos microbiológicos, especialmente em condições de baixo pH, elevada carga de matéria orgânica e presença de bactérias anaeróbias. Essa transformação é crítica, pois o MeHg é altamente tóxico e biodisponível, sendo facilmente absorvido pelos organismos aquáticos (Kehrig *et al.*, 2011; Lino *et al.*, 2018).

O MeHg entra na cadeia alimentar aquática através do plancton e de outros organismos da base trófica. À medida que esses organismos são consumidos por predadores, o MeHg é bioacumulado e biomagnificado, resultando em concentrações significativamente mais altas em organismos do topo da cadeia trófica, como os peixes piscívoros (Jacovani, 2019; Oliveira *et al.*, 2022).

A dinâmica do Hg também é influenciada por fatores antrópicos, como o desmatamento e a construção de barragens, que podem liberar o metal armazenado nos solos para os corpos d'água. Na Amazônia, a atividade garimpeira é uma das principais fontes de contaminação mercurial, com liberação indiscriminada de Hg⁰ durante o processo de amalgamação do ouro. Esse Hg é eventualmente desenvolvido em MeHg, exacerbando os riscos de contaminação ambiental e humana (Crespo-Lopez *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2022).

A partir de estudos recentes, foi constatado que 91,6% das áreas de garimpo no Brasil estão situadas na Amazônia, com destaque ao estado do Pará que junto a Mato Grosso concentram quase todo o garimpo do país, com uma área de exploração de 165.000 hectares

(MapBiomas, 2022). Outra informação relevante decorrente desse levantamento é que a produção de ouro corresponde a 86,6% do material extraído. Além disso, a produção nacional de ouro foi estimada em 487,6 toneladas, nos anos de 2015-2020, porém 47% produção apresentam indícios de ilegalidades (Rodrigues; Leitão, 2022).

Nesse sentido, o Hg utilizado na extração de ouro e o rejeito produzido por essa atividade é apontado como principal responsável pela contaminação de ambientes aquáticos, e consequentemente, dos peixes da região, pois a média de Hg utilizado na extração de ouro pode variar de 2 kg a 3kg de Hg para cada 1kg de ouro produzido (Castilhos; Domingos, 2018; Galvis, 2020). Na região do Tapajós, os índices em amostras de cabelos configuram uma exposição permanente, sendo o pescado da região a fonte desta exposição. A poluição ambiental neste local foi resultante do despejo de mercúrio metálico decorrente da garimpagem de ouro, que contamina os ecossistemas aquáticos, chegando à população humana através da dieta, em sua forma de MeHg (Junior *et al.*, 2018).

Pesquisas semelhantes conduzidas na bacia do rio Tapajós por Andrade (2015) e Costa Júnior *et al.* (2018) avaliaram a exposição ao Hg em comunidades ribeirinhas da cidade de Itaituba, Pará, por meio da quantificação de HgT em amostras de cabelo. Andrade (2015) analisou um conjunto de dados abrangendo 17 anos de coletas (1998-2014), com aproximadamente 1.500 amostras. Os resultados indicaram que os adultos do sexo masculino apresentavam maior risco de exposição ao mercúrio. Já Costa Júnior *et al.* (2018) focou na relação entre os níveis de HgT e o consumo de pescado, constatando que indivíduos com maior ingestão de peixes apresentavam concentrações mais elevadas do metal. Ambos os estudos chegaram à mesma conclusão: a exposição ao mercúrio está diretamente relacionada ao estilo de vida tradicional das comunidades ribeirinhas, onde o pescado constitui a base da alimentação.

A exposição das populações amazônicas é de 2 a 6 vezes as doses de referência estabelecidos pelos órgãos competentes (Crespo-Lopez *et al.*, 2021). O Ministério da Saúde (MS) estabelece que o limite máximo de Hg em alimentos é de 1,00 mg/kg (Brasil, 2013) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomendam que os níveis de Hg no sangue aceitáveis em humanos seja até 10 µg/L (Nevado *et al.*, 2010; WHO, 1990).

Uma das vias de exposição ao Hg na Amazônia é através da ingestão de alimentos contaminados, mais precisamente o pescado, cuja dieta as comunidades ribeirinhas e pesqueiras utilizam como opção de cardápio alimentar (Junior *et al.*, 2018). A exposição ao Hg via cadeia alimentar, principalmente para consumidores de nível trófico superior, incluindo-se o homem, é significativamente maior, uma vez que este metal apresenta alta

capacidade de sofrer bioacumulação e biomagnificação ao longo das cadeias tróficas (Silva, 2020).

Segundo Clarkson (1997) e Padovani; Forsberg; Pimentel (1995), os corpos d'água recebem cargas de Hg naturalmente por meio da precipitação e da lixiviação dos solos, sendo, posteriormente, convertido em MeHg devido a ação de microrganismos aquáticos. Essa forma química tende a bioacumular na cadeia trófica, atingindo maiores concentrações em peixes predadores.

O MeHg é apenas um dos representantes dos compostos orgânicos de Hg. No entanto, é considerado o mais importante devido á alta toxicidade para o organismo humano. O MeHg é um agente neurotóxico que apresenta grande risco, principalmente, para os organismos de níveis tróficos superiores, dentre os quais se inserem os seres humanos quando fazem uso do pescado como fonte proteica (Kehrig, 2011).

O consenso da literatura científica afirma que a exposição humana ao Hg ocorre de três formas: consumo de peixes, amálgamas dentais e vacinas (Bjørklund *et al.*, 2017; Clarkson, 1997; Clarkson; Magos; Myers, 2003; Franco, 2009; Gonçalves; Gonçalves, 2004; Roulet *et al.*, 1998). Na Amazônia, no entanto, estudos têm demonstrado o aumento dos níveis de Hg presentes nos peixes da região, tornando-os a principal fonte de contaminação humana, uma vez que a dieta das comunidades ribeirinhas e indígenas se baseia na ingestão desse tipo de proteína animal (Brito *et al.*, 2017; Franco, 2009; Grotto *et al.*, 2010; Roulet *et al.*, 1998).

Metais pesados ocorrem naturalmente na crosta terrestre, porém atividades antropogênicas os introduzem artificialmente no ambiente (Santos *et al.*, 2006). De acordo com a Organização Mundial de Saúde, o Hg está atualmente entre os dez principais produtos químicos de maior preocupação para a saúde pública. Muitas populações ao redor do mundo estão atualmente expostas a este metal, com altos níveis registrados na América do Sul, especialmente na população amazônica. A maioria dessas populações estão expostas ao MeHg em peixes contaminados (Oliveira, *et al.*, 2022). Essa forma orgânica de Hg é bioacumulada e bioampliada ao longo da cadeia alimentar, sendo os níveis mais elevados encontrados em peixes piscívoros consumidos pela população humana (Silva *et al.*, 2020).

Embora o Sistema Nervoso Central (SNC) tenha sido classicamente considerado o principal órgão-alvo na exposição aguda, estudos recentes demonstraram que outras consequências a longo prazo, como distúrbios cardiovasculares, podem ser pelo menos tão deletérias quanto as de origem neurológica. Essas consequências cardiovasculares podem ser especialmente importantes com a exposição crônica, como as registradas para as populações

amazônicas, e poderiam eventualmente explicar a alta prevalência de doenças não transmissíveis, como a hipertensão arterial sistêmica, observadas nessas comunidades (Arrifano, *et al.*, 2018).

De acordo com estudos regionais, o Hg ocorre naturalmente nos solos da Amazônia, principalmente em áreas de solo argiloso e aluvial, como resultado de atividades geológicas naturais, incluindo emissões vulcânicas e erosão (Souza, 2004). Estima-se que a maior parte do Hg na região tenha origem natural, sendo uma parte significativa mobilizada por processos como o desmatamento e a lixiviação, contribuindo para a sua redistribuição nos ecossistemas (Crespo-Lopez *et al.*, 2021).

O Hg é transportado para os ambientes aquáticos principalmente por meio de escoamento superficial e lixiviação de solos, onde o Hg inorgânico é transformado em MeHg por ação bacteriana. Esse composto tóxico é incorporado nas cadeias alimentares aquáticas, acumulando-se em sedimentos e na biota (Lino *et al.*, 2018). A presença de Hg em sistemas aquáticos é amplificada em áreas com alta atividade antrópica, como o Tapajós, onde a contaminação está associada ao garimpo (Oliveira *et al.*, 2022).

As macrófitas aquáticas e o perifíton desempenham um papel crucial no ciclo do Hg em ecossistemas aquáticos, funcionando como bioindicadores de contaminação ambiental. Essas plantas e organismos perifíticos podem acumular Hg em seus tecidos, contribuindo para a transferência do metal em níveis tróficos superiores, incluindo peixes predadores (Jacovani, 2019). Além disso, sua distribuição está diretamente relacionada à qualidade da água e às concentrações de Hg em sedimentos (Kehrig *et al.*, 2011).

Parâmetros limnológicos, como pH, oxigênio dissolvido, temperatura e matéria orgânica, influenciam diretamente a biodisponibilidade do Hg no ambiente aquático. Estudos apontam que ambientes com pH baixo e alta carga orgânica favorecem a metilação do Hg, aumentando a concentração de MeHg em peixes (Filho, 2013). Esses fatores tornam os sistemas aquáticos da Amazônia altamente vulneráveis à bioacumulação de Hg (Crespo-Lopez *et al.*, 2021).

A contaminação por Hg impacta severamente a biota aquática, resultando na bioacumulação do metal em organismos de níveis tróficos superiores, como peixes piscívoros. Esses efeitos incluem alterações reprodutivas, redução da biodiversidade e comprometimento das funções ecológicas dos ecossistemas aquáticos (Kwaansa-Ansah *et al.*, 2019). A transferência do Hg para os organismos humanos ocorre predominantemente pela ingestão de peixes contaminados (Oliveira *et al.*, 2022).

O MeHg, altamente tóxico, é rapidamente absorvido no trato digestivo humano, com

taxas superiores a 95%, acumulando-se principalmente no SNC, fígado e rins (Kim, 2018). Estudos indicam que o consumo de pescado contaminado está associado a sintomas como fadiga, irritabilidade, problemas sensoriais, hipertensão e, em casos graves, paralisia cerebral e morte (Crespo-Lopez *et al.*, 2021). Consequências cardiovasculares, como infartos e hipertensão, também são observadas em populações expostas cronicamente ao Hg na Amazônia.

Peixes são fontes essenciais de proteínas, vitaminas e gorduras poli-insaturadas para populações ribeirinhas da Amazônia. Contudo, espécies piscívoras como o tucunaré (*Cichla spp.*) acumulam altas concentrações de Hg devido à sua posição trófica elevada, tornando-as uma das principais vias de intoxicação humana por Hg (Oliveira *et al.*, 2022). A dieta baseada no consumo frequente desses peixes expõe a população a riscos significativos de contaminação por MeHg (Lino *et al.*, 2018).

A frequência do consumo e a quantidade de pescado ingeridos são determinantes na exposição ao Hg. Segundo a legislação brasileira e a OMS, os níveis de Hg em alimentos não devem ultrapassar 0,5 mg/kg (Oliveira *et al.*, 2022). Entretanto, comunidades amazônicas frequentemente consomem peixes com teores de Hg superiores aos limites seguros, devido à alta dependência desse recurso (Kim, 2018).

As águas do rio Tapajós são caracterizadas por alta variabilidade limnológica e elevada carga de matéria orgânica, fatores que favorecem a metilação do Hg e sua transferência para os peixes (Crespo-Lopez *et al.*, 2021). Os peixes capturados nas regiões costeiras e aluviais são amplamente comercializados nas feiras locais, representando uma fonte de risco alimentar e de saúde pública (Oliveira *et al.*, 2022).

Os impactos dessa dinâmica não se limitam aos ecossistemas aquáticos, mas também afetam diretamente a saúde humana e a biodiversidade. O mercúrio acumulado nos organismos aquáticos representa uma ameaça significativa às funções ecológicas, resultando em alterações populacionais e reprodutivas. Além disso, a ingestão de pescado contaminado é a principal via de exposição ao MeHg para populações humanas, especialmente em regiões onde o consumo de peixe é alto, como no Tapajós (Lino *et al.*, 2018; Kwaansa-Ansah *et al.*, 2019).

Assim, a compreensão da dinâmica do mercúrio no meio ambiente e nos ecossistemas aquáticos é essencial para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e políticas públicas que visem proteger tanto os ecossistemas quanto as populações humanas que deles dependem.

2.2 Bioacumulação e biomagnificação de mercúrio em cadeias tróficas aquáticas

A bioacumulação e biomagnificação de Hg em cadeias tróficas aquáticas são processos críticos que ampliam os impactos ambientais e de saúde pública desse metal pesado. O Hg, quando introduzido no ambiente aquático, seja por fontes naturais ou antrópicas, passa por transformações químicas e biológicas que determinam sua distribuição e toxicidade. O MeHg, a forma mais tóxica e biodisponível do Hg, é produzido pela metilação bacteriana em condições específicas, como ambientes com baixo pH, alta carga orgânica e disponibilidade de compostos redutores (Kehrig *et al.*, 2011). Esse composto apresenta camada superficial por tecidos biológicos, o que facilita sua incorporação e persistência em organismos aquáticos.

No contexto das cadeias tróficas aquáticas, a bioacumulação refere-se ao processo por quais organismos absorvem e retém Hg ao longo de sua vida, geralmente pela exposição contínua a ambientes contaminados ou pela ingestão de partículas contendo Hg (Lino *et al.*, 2018). Isso é mais evidente em organismos de níveis tróficos inferiores, como o fitoplâncton e o zooplâncton, que absorvem MeHg diretamente da coluna d'água e dos sedimentos (Jakovani, 2019). Esses organismos servem como base alimentar para consumidores secundários e predadores, iniciando a transferência de metal ao longo da cadeia alimentar.

A biomagnificação, por sua vez, ocorre quando o MeHg, ao ser transferido de um nível trófico para outro, se concentra em proporções crescentes, devido à baixa taxa de excreção desse composto pelos organismos superiores. Essa característica faz com que os peixes piscívoros, como os do gênero *Cichla* (tucunaré), acumulem as maiores concentrações de Hg em seus tecidos (Crespo-Lopez *et al.*, 2021). Estudos realizados na bacia do Tapajós indicam que a concentração de Hg em peixes piscívoros frequentemente excede os limites seguros para consumo humano, estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), especialmente em áreas afetadas por atividades de garimpo (Oliveira *et al.*, 2022).

A posição trófica dos organismos aquáticos é um fator determinante para os níveis de Hg acumulado. Organismos do topo da cadeia trófica, como predadores piscívoros, apresentam concentrações de MeHg até um milhão de vezes superiores às descobertas na água, devido à biomagnificação cumulativa (Kwaansa-Ansah *et al.*, 2019). Esse processo é exacerbado em ecossistemas com elevada concentração de matéria orgânica, onde a metilação do Hg é mais intensa, e em períodos de cheia, quando grandes áreas de solo contaminado são inundadas, promovendo a liberação do metal para o ambiente aquático (Lino *et al.*, 2018).

Os impactos da bioacumulação e biomagnificação de Hg não se limitam aos organismos aquáticos. Esses processos resultam em riscos relevantes para as populações

humanas que dependem da pesca como principal fonte de proteína. Em regiões como a Amazônia, onde o consumo de pescado é frequente, a exposição ao MeHg ocorre predominantemente pela ingestão de peixes contaminados, sendo os efeitos tóxicos amplificados devido à alta biodisponibilidade do composto no organismo humano (Kehrig *et al.*, 2011). Consequentemente, as comunidades ribeirinhas apresentam níveis de Hg em tecidos biológicos, como cabelo e sangue, que frequentemente excedem os limites recomendados por agências de saúde pública (Oliveira *et al.*, 2022).

Desta forma, a bioacumulação e biomagnificação de Hg em cadeias tróficas aquáticas não representam apenas um aspecto ecológico, mas também uma questão de saúde pública de alta relevância, exigindo medidas urgentes de monitoramento e mitigação para reduzir os impactos sobre ecossistemas aquáticos e populações humanas. Esses processos destacam a necessidade de intervenções estratégicas, especialmente em áreas de intensa atividade antrópica, para minimizar os riscos associados ao Hg e promover a sustentabilidade ambiental.

2.3 Impactos do mercúrio na saúde humana e os limites de segurança no consumo de pescado

O Hg, especialmente em sua forma orgânica de MeHg, apresenta elevada toxicidade para os seres humanos, acumulando-se no organismo e causando uma ampla gama de impactos à saúde. A principal via de exposição humana ao MeHg é o consumo de pescado contaminado, especialmente em comunidades cuja dieta é baseada em peixes, como as ribeirinhas da Amazônia. Este cenário é agravado pela bioacumulação e biomagnificação do Hg ao longo das cadeias tróficas aquáticas, resultando em concentrações significativamente elevadas em organismos predadores de topo, que frequentemente fazem parte da alimentação humana (Oliveira *et al.*, 2022).

O MeHg é absorvido rapidamente pelo trato gastrointestinal humano, com taxas superiores a 95%, e possui alta espessura por tecidos ricos em proteínas, como o SNC, fígado e rins. Sua meia-vida biológica é de aproximadamente 70 dias, o que contribui para sua persistência no organismo e a amplificação de seus efeitos tóxicos. Os impactos no SNC incluem comprometimentos neurológicos graves, como perda sensorial, dificuldade de coordenação motora, irritabilidade e, em casos extremos, paralisia cerebral e morte. Em adultos, a exposição crônica ao MeHg também está associada a efeitos cardiovasculares, incluindo hipertensão arterial e maior risco de infarto agudo do miocárdio (Kim, 2018).

Além dos efeitos no SNC e no sistema cardiovascular, o MeHg afeta o sistema endócrino, podendo interferir na função hormonal, e está relacionado a danos renais e imunológicos (Kim, 2018). Em mulheres grávidas, o metal atravessa a barreira placentária e pode causar danos significativos ao desenvolvimento fetal, incluindo alterações cognitivas e motoras. Estudos demonstram que os mesmos níveis considerados baixos de MeHg podem afetar o desenvolvimento neurológico de crianças expostas no período gestacional, com impactos duradouros em suas habilidades cognitivas e motoras (Crespo-Lopez *et al.*, 2021; Kim, 2018).

Os riscos associados ao consumo de pescado contaminado são particularmente relevantes na Amazônia, onde o peixe é a principal fonte de proteína animal. Espécies piscívoras, como o tucunaré (*Cichla spp.*), acumulam concentrações elevadas de MeHg devido à sua posição na cadeia alimentar. Estudos realizados na bacia do Tapajós mostram que os níveis de Hg em peixes comercializados frequentemente excedem os limites de segurança estabelecidos por organismos nacionais e internacionais, como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e a Organização Mundial da Saúde (OMS), que estipulam o limite de 0,5 mg/kg de Hg em alimentos (Lino *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2022).

Apesar desses limites, pesquisas revelam que a ingestão de pescado em áreas contaminadas ultrapassa frequentemente as doses de referência diárias recomendadas. A OMS, por exemplo, estabelece uma dose semanal tolerável provisória de 1,6 µg de MeHg por quilograma de peso corporal. Contudo, nas comunidades amazônicas, a alta frequência de consumo de pescado eleva a exposição ao metal, resultando em concentrações de Hg no cabelo e no sangue que excedem os valores de referência recomendados para a saúde humana (Jakovani, 2019; Filho, 2013).

Nessas regiões, o consumo de pescados pode ser influenciado por fatores socioeconômicos, tais como renda, localização domiciliar, hábitos de vida, nível de escolaridade, preocupação com a saúde, padrões de consumo alimentar, estado de saúde e características pessoais. Por outro lado, vale ressaltar que a presença de grandes quantidades das vitaminas lipossolúveis A e D, de minerais como cálcio, fósforo, ferro, cobre, selênio, as elevadas quantidades de ácidos graxos poli-insaturados, bem como o baixo teor de colesterol revelam o alto valor nutricional da carne de pescado. (Scimago Institutions Rankings, 2023).

Portanto, a avaliação dos impactos do Hg na saúde humana também deve considerar as interações com outros elementos presentes na pesca, como o selênio, que possui propriedades antioxidantes e pode mitigar os efeitos do Hg. No entanto, em peixes piscívoros, a relação entre Hg e selênio tende a ser desproporcional, aumentando os riscos para os consumidores

humanos (Lino *et al.*, 2018). Essa situação ressalta a necessidade de políticas públicas externas para o monitoramento e controle da contaminação mercurial, além de campanhas de conscientização que orientam as populações sobre práticas de consumo mais seguras.

Dessa forma, os impactos do Hg na saúde humana, combinados com os desafios relacionados à segurança alimentar em regiões de alta dependência de pesca, evidenciam a urgência de medidas preventivas e regulatórias mais eficazes. A exposição contínua ao MeHg representa não apenas uma questão de saúde pública, mas também um problema socioeconômico, comprometendo a qualidade de vida das comunidades ribeirinhas e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos que sustentam suas comunidades.

2.4 Descrição do tucunaré (*Chicla spp.*), espécie selecionada para o estudo

O Tucunaré é um peixe de escamas, com corpo alongado, que pode alcançar de 30 cm a mais de 1 m de comprimento total. Sua coloração é amarelada, com manchas pretas e verticais distribuídas regularmente pelo corpo. Todos os Tucunarés apresentam uma mancha redonda (ocelo) no pedúnculo caudal. É uma espécie sedentária (não realizando migrações), com hábitos diurnos (CPT – Centro de Produções Técnicas, 2025).

Sua biologia reprodutiva e alimentar apresenta características peculiares que garantem o sucesso da espécie em diferentes ambientes. Na fase juvenil, esses peixes se alimentam principalmente de plâncton e insetos, tornando-se carnívoros quando atingem a fase adulta. Sua reprodução ocorre ao longo de todo o ano, preferencialmente em ambientes de águas calmas, onde constroem ninhos para proteger a prole por aproximadamente três meses (Gomiero & Braga, 2004). A maturidade sexual é alcançada entre 20 e 35 cm de comprimento ou entre 1 e 2 anos de idade. Durante a desova, que acontece em etapas, a espécie libera entre 9.000 e 15.000 ovos por quilograma, com fecundação ocorrendo no ambiente externo (Kullander & Ferreira, 2006). A maioria dos ciclídeos, incluindo o Tucunaré, adota uma estratégia de desova parcelada. Isso significa que eles realizam múltiplas desovas ao longo do ano, independentemente de variações sazonais.

Hoje, a literatura reconhece 16 espécies de tucunarés. No Brasil, todos são originários do Centro-Oeste e Norte, mas em decorrência de introduções (sem estudos de impactos biológicos), os tucunarés encontram-se distribuídos em todas as regiões brasileiras (Conti, 2020). O sabor fino e abundância em habitat nativo, tornam o tucunaré uma espécie comercial importante (Ruffino & Isaac, 1995).

2.5 Mercúrio em peixes da região Amazônica

Pesquisas anteriores revelam a distribuição do Hg nos ecossistemas aquáticos amazônicos. Souza (2014) analisou os níveis de HgT nos rios Solimões e Javari, registrando concentrações dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA, com valores variando entre 0,038 e 0,059 µg/g.

Da mesma forma, a contaminação por Hg em peixes da Amazônia tem sido amplamente investigada, devido aos impactos ambientais e riscos à saúde humana. Diversos estudos abordam a bioacumulação e biomagnificação desse metal em peixes capturados em diferentes bacias hidrográficas, especialmente em espécies piscívoras de grande importância ecológica e comercial, como o Tucunaré (*Cichla spp.*) e a Traíra (*Hoplias spp.*), consideradas organismos indicadores adequados para o monitoramento do Hg na bacia do rio Tapajós (Guimarães *et al.*, 2024).

Em um estudo no rio Roosevelt, Anjos *et al.* (2016) observaram que a bioacumulação de MeHg seguiu a ordem trófica carnívoros > detritívoros > frugívoros, com 50% das espécies apresentando níveis de HgT superiores ao limite permitido (0,5 µg/g), com níveis máximos registrados em 2,45 µg/g.

Dória *et al.* (2018) aprofundaram a análise da contaminação no rio Madeira, verificando concentrações elevadas de Hg em espécies piscívoras, como o Tucunaré e a Piranha (*Serrasalmus spp.*), com valores médios superiores a 1,5 µg/g, e picos acima de 2,0 µg/g. A variação dos níveis de HgT foi associada à posição trófica e à sazonalidade, indicando a influência da biomagnificação no acúmulo do metal.

Dados recentes da Fiocruz (2023) mostram que, em média, 21,3% dos peixes comercializados na região Amazônica possuem níveis de mercúrio acima dos limites seguros para consumo humano. Estados como Roraima (40%) e Acre (35,9%) apresentaram os piores índices de contaminação, enquanto Pará (15,8%) e Amapá (11,4%) tiveram as menores taxas. Portanto, é fundamental que órgãos reguladores e instituições de pesquisa mantenham um sistema de monitoramento eficiente e transparente, visando proteger tanto os consumidores quanto a biodiversidade da região.

3 OBJETIVO GERAL

3.1 Objetivo geral

Determinar a concentração de Hg total em espécies piscívoras do gênero *Cichla*, consumidas na cidade de Santarém, PA.

3.2 Objetivos específicos

- Correlacionar as concentrações de HgT em função das variáveis biológicas peso e comprimento padrão;
- Verificar se as concentrações de HgT encontradas nos espécimes analisados estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira, no que se refere à comercialização;
- Determinar a quantidade máxima de tucunaré que pode ser consumida pela população de Santarém, sem potenciais riscos à saúde.

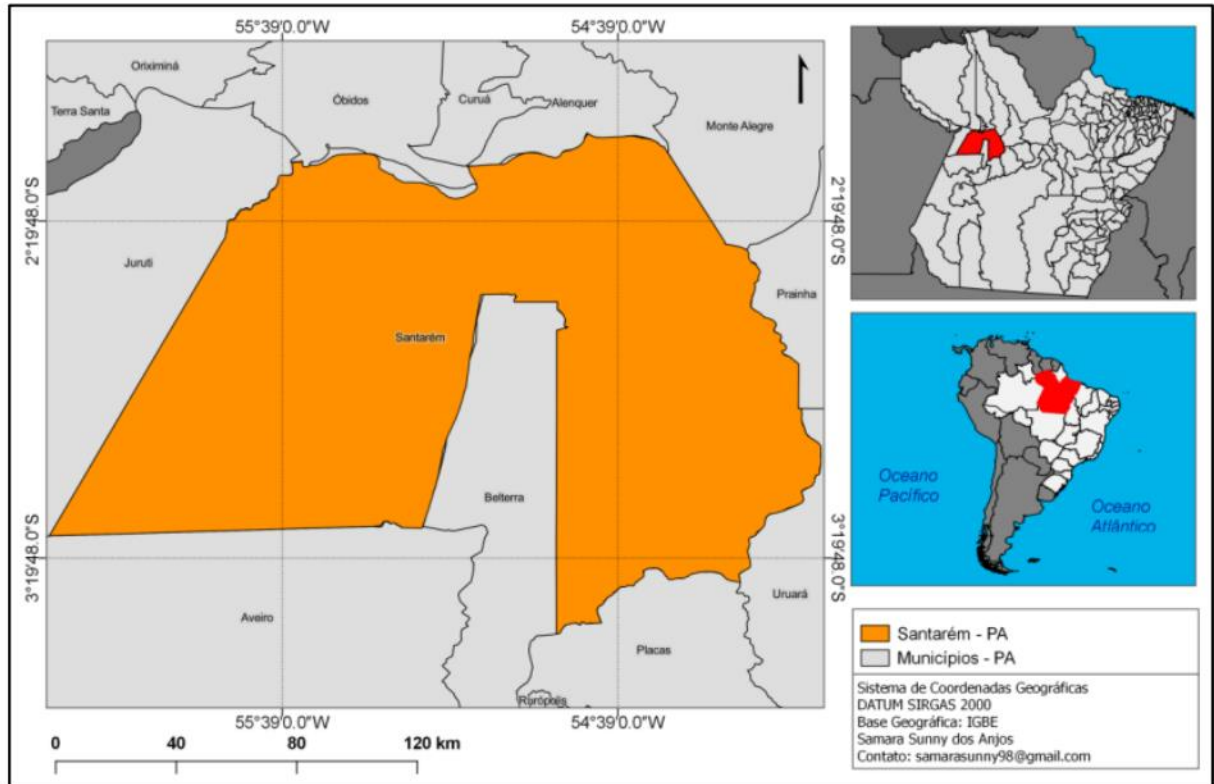
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Região de abrangência do estudo e pontos de coleta das amostras

O presente estudo foi realizado no município de Santarém (Figura 1), (Latitude:-2.43944, Longitude:-54.6987 2° 26' 22'' Sul, 54° 41'55'' Oeste), Estado do Pará. A cidade ocupa uma área territorial de 17.898,389 Km², e uma população de aproximadamente 331.942 habitantes (IBGE, 2022).

A cidade é cercada por florestas de várzeas, nas quais residem diversas comunidades ribeirinhas, remanescentes de quilombolas e indígenas, que sobrevivem dos recursos da natureza (Renó; Moraes-Novo, 2015). Essas áreas estão inseridas na planície de inundação, um ecossistema úmido caracterizado pelo alagamento permanente ou pela alternância entre as fases terrestre (período de estiagem) e aquática (período de chuvas), sofrendo os reflexos da sazonalidade das águas dos rios (Folhes, 2016; Junk *et al.*, 2020). Além da região ribeirinha, Santarém apresenta também área urbana e região de planalto.

Figura 1- Localização Geográfica do Município de Santarém no Estado do Pará e no Contexto Nacional



Fonte: Pires, Cesáreo, Cereja *et al* (2018).

A economia de Santarém se baseia principalmente no extrativismo da madeira, borracha e castanha-do-pará; nas culturas de juta, mandioca, arroz, soja e milho; na criação de suínos, bovinos e aves; na indústria de fibra; no turismo e na pesca (Ferreira, 2023; Gonçalves *et al.*, 2012). A pesca, em particular, destaca-se como um dos alicerces da economia na região amazônica, devido à riqueza das espécies exploradas e à quantidade de pescado capturado anualmente (Costa *et al.*, 2013).

Na cidade de Santarém, o desembarque de pescado é de aproximadamente 4.000t por ano, em que quase cem espécies são comercializadas, embora apenas dez espécies representam mais de 80% do total distribuído no mercado (Isaac *et al.*, 2004).

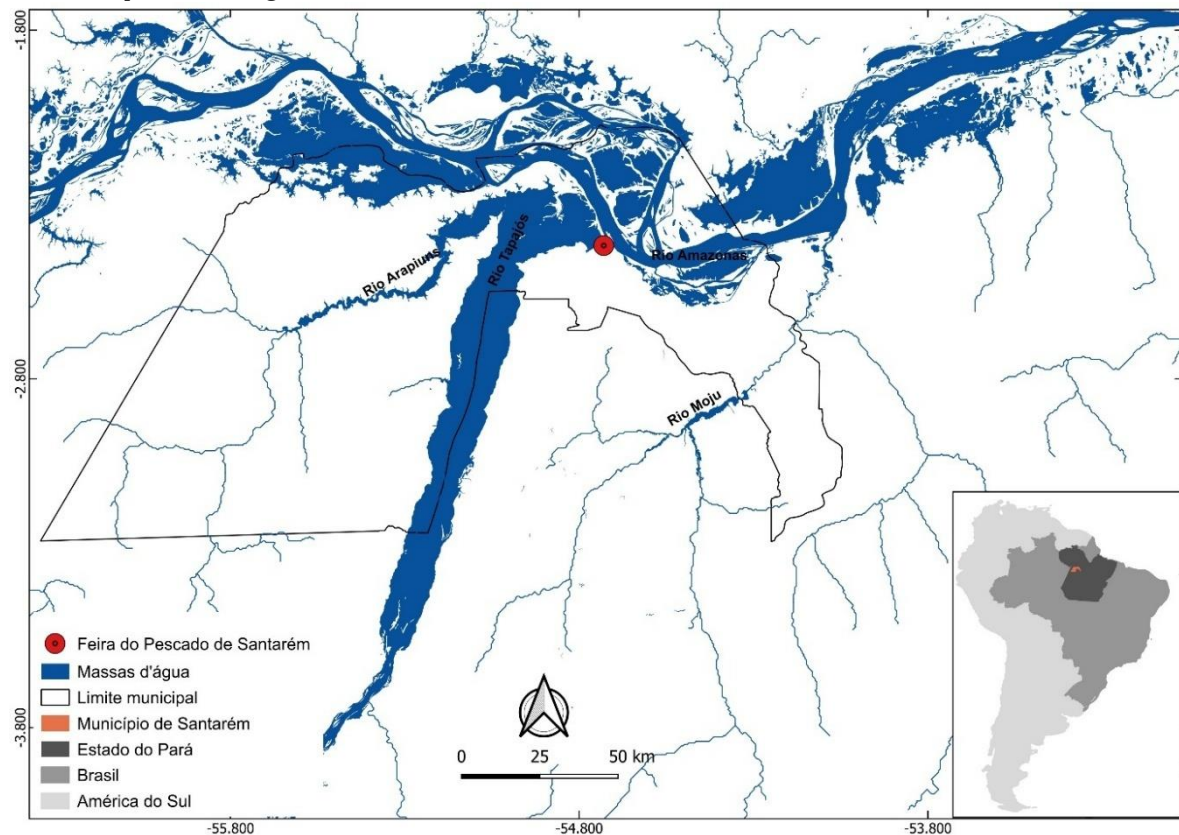
4.2 Ponto de coleta das amostras

Os espécimes para análise quanto aos níveis de Hg total foram obtidos comercialmente na Feira do Pescado, uma das principais feiras de comercialização de peixes na cidade de Santarém. Internamente, a feira comporta 30 pontos de venda que comercializam pescado, com destaque para a venda de tambaqui (*Colossoma macropomum* - tanto oriundo de rios/lagos quanto de viveiros), tucunaré (*Cichia ocellaris*), pirarucu (*Arapaima gigas*), acaratinga (*Geophagus proximus*) e pescada (*Plagioscion squamosissimus*) (Silva *et al.*,

2019).

A seguir, tem-se a figura 2, que ilustra mapa de localização da Feira do Pescado, em Santarém, Pará, Brasil. A figura 03 apresenta a imagem aérea da Feira do Pescado, em Santarém, local de obtenção dos espécimes de tucunaré analisados no presente estudo.

Figura 2 - Mapa de localização da Feira do Pescado, em Santarém, Pará, Brasil. O destaque em vermelho sinaliza a localização exata da Feira do Pescado, que é de relevância estratégica para os estudos sobre a pesca e recursos aquáticos da região.



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 3- Feira do pescado de Santarém



Fonte: LEITE, Emanuel Júlio (turismo aqui). Passeio pela Feira do Pescado em Satarém Pará revela a vida ribeirinha na Amazônia. YouTube, 2022. Disponível em: https://youtu.be/3iOtQ6O9wHE?si=GLU_p4w91mj3xgaT

4.3 Determinação dos parâmetros morfométricos e preparo das amostras para análise de mercúrio total

No presente estudo foram analisados 40 espécimes do gênero *Cichla* (tucunaré) (Figura 3). Esta espécie foi selecionada devido ao seu hábito alimentar carnívoro e sua importância na dieta das populações ribeirinhas e urbanas de Santarém. As coletas ocorreram nos meses de maio (n=20) e julho (n=20) de 2024.

Figura 4- Medida de comprimento padrão- *Cichla* (Tucunaré)



Fonte: Autoria própria (2024)

O registro dos parâmetros morfométricos incluiu a massa corporal (g) e o comprimento padrão (cm), medidos com balança digital (Figura 5) e régua (Figura 4), respectivamente. O comprimento padrão é definido como a distância entre a extremidade anterior da boca e o pedúnculo caudal, estrutura localizada na base da nadadeira caudal.

Figura 5- Pesagem das amostras (*Cichla spp*) em balança digital



Foto: Arquivo pessoal (2024)

A obtenção das amostras de tecido muscular dorsal (aproximadamente 2 g) foi

realizada com uso de instrumentos estéreis, para evitar contaminação cruzada. Cada amostra foi colocada em tubos de Eppendorf, devidamente identificados, e armazenados a -20°C até a realização das análises. Todas as amostras foram processadas em duplicata, garantindo a reprodutibilidade dos resultados.

Para determinação do HgT, as amostras foram pesadas em duplicata, em barcas de quartzo em balança analítica de precisão (Figura 6), com peso médio de massa de 0,16g (min:0,07, max:0,22).

Figura 6- Pesagem das duplicatas retiradas das amostras com aproximadamente 2g (*Cichla spp*) em barcas de quartzo em balança analítica de precisão



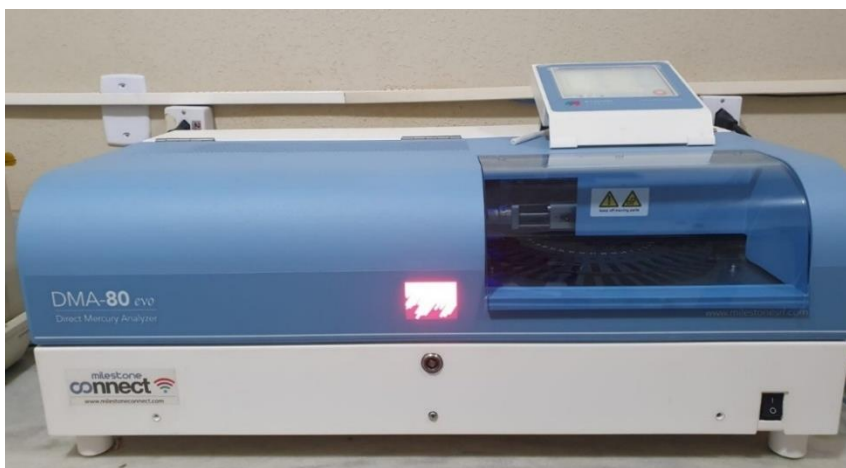
Foto: Arquivo pessoal (2024)

4.4 Análise de mercúrio total (HgT)

O método utilizado para determinação do HgT no tecido muscular de peixes seguiu os protocolos descritos por Souza (2004), com adaptações. As análises foram realizadas em conformidade com as normas de boas práticas laboratoriais, garantindo a qualidade dos dados e a segurança dos operadores. Os dados obtidos na determinação das concentrações de HgT nos espécimes analisados foram tratados em duplicata, garantindo maior precisão e confiabilidade nos resultados. As medições foram realizadas no analisador de mercúrio DMA-80 (Figura 7), foram registradas diretamente em mg/kg (base úmida). O analisador direto de Hg, DMA-80 (Milestone, Itália), amplamente utilizado para avaliação de metais pesados em

amostras biológicas. Este equipamento utiliza métodos que dispensam o pré-tratamento da amostra, pois envolve a degradação térmica, a conversão catalítica, a amalgamação e a espectrofotometria. Para garantir a qualidade analítica, foi utilizado material de referência certificado BCR-463 (Carne de atum; Direção da Comissão Europeia – Centro Comum de investigação, Geel, Bélgica). As medições em duplicata foram comparadas para verificar a consistência dos resultados e avaliar possíveis variações, considerando os limites técnicos do método utilizado. O preparo das amostras e as análises foram realizados no Laboratório de Bioprospecção e Biologia Experimental da Universidade Federal do Oeste do Pará (LabBBEx/UFOPA).

Figura 7- Analisador de mercúrio- DMA-80, utilizado nas medições das concentrações de Hg total



Fonte: Arquivo pessoal (2024).

4.5 Cálculo de exposição humana

O cálculo de exposição humana leva em consideração os resultados genéricos que estimam o nível de exposição e as concentrações médias de Hg obtidas (Baeyens *et al.*, 2003, Barbosa *et al.*, 2011 e Costa e Lacerda, 2014). Na avaliação do risco para a saúde, associado ao consumo de tucunarés, foram utilizadas as equações I e II, descritas por Newman e Unger (2002) e Lacerda *et al.* (2016).

Equação I: $HQ = E / RfD$

Onde HQ é o coeficiente de risco, E é o nível de exposição ou ingestão de Hg e RfD é a dose

de referência para Hg (0,23 µg / Kg de peso corporal / dia) (FAO/WHO, 2004).

O nível de exposição E é calculado conforme a equação II:

$$\text{Equação II: } E = (C \cdot I) / W$$

Onde: C é a concentração de Hg (µg/g de peso úmido); I é a taxa de ingestão *per capita* (17,7 kg/ano, IBGE 2017-1018, ou 48,5 g/dia - região norte), e W é o peso médio de um adulto (70 Kg).

Quando HQ é menor que 1, o nível de exposição é menor do que a dose de referência, o que significa que a exposição diária neste nível não é suscetível de causar efeitos adversos para os consumidores.

No presente estudo, estimou-se a dose à qual a população consumidora de pescado, residente em Santarém, Pará, estaria eventualmente exposta ao Hg, por meio do consumo de tucunarés. Para isso, consideramos os seguintes valores: 1 - concentração média de HgT nas amostras (0,18 mg/kg), consumo médio de pescado pela população do norte do Brasil (48,5 g) em uma refeição. Tal porção foi padronizada em 250g, valor sugerido por Vieira *et al.* (2015), na fórmula adaptada a seguir:

Equação III:

$$\text{Refeições}_{\text{por semana}} = \text{RfD} \times \text{Peso corpóreo} \times 7 \text{ dias} / \text{por porção (250g)} \times [\text{HgT}] \text{ (ng/g)}$$

$$\text{Refeições}_{\text{por mês}} = \text{RfD} \times \text{Peso corpóreo} \times 30 \text{ dias} / \text{por porção (250g)} \times [\text{HgT}] \text{ (ng/g)}$$

4.6 Análises estatísticas

Valores de HgT, peso e comprimento padrão foram descritos como média $\pm$ erro padrão. Para verificar a distribuição normal dos dados obtidos, aplicou-se o teste de *Shapiro-wilk*. A partir dos resultados (distribuição não paramétrica), as correlações entre os parâmetros morfométricos e os níveis de Hg foram exploradas por meio do teste de *Spearman*. Todos os dados foram organizados em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel para posterior análise e interpretação estatística. Os resultados foram apresentados em figuras e tabelas, facilitando a visualização dos padrões e auxiliando na discussão dos dados com base em referências

teóricas e regulamentações aplicáveis.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo, foram mensurados os dados morfométricos bem como as concentrações de HgT presentes em 40 amostras de tucunarés (*Chicla spp.*) obtidas comercialmente na Feira do Pescado, em Santarém, nos meses de maio e julho de 2024. A Tabela 01 apresenta dados morfométricos dos espécimes analisados. Os dados incluem medições de comprimento padrão (em centímetros) e peso (em gramas).

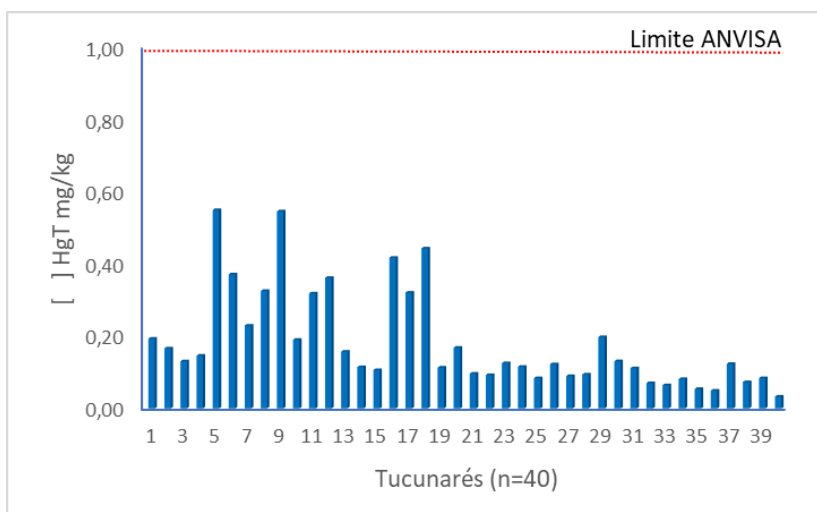
Tabela 01- Dados morfométricos de espécimes do gênero *Chicla* obtidas comercialmente na Feira do Pescado, em Santarém - Pará, nos meses de maio e Julho de 2024

Amostra (n)	comprimento padrão (cm)			peso (g)		
	média	mínimo	máximo	média	mínimo	máximo
40	27,9 ± 2,5	23,5	32,5	700 ± 311,5	315	1,200

Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 08, mostra-se as concentrações médias de HgT (mg/kg) mensurados em tucunarés (*Chicla spp.*) comercializados na Feira do Pescado, em Santarém, Pará, entre os meses de maio e julho de 2024.

Figura 08- Concentrações médias de mercúrio total HgT (mg/kg) mensurados em tucunarés (*Chicla spp.*) comercializados na Feira do Pescado, Santarém-Pará-Brasil, entre os meses de maio e julho de 2024.



Fonte: Autoria própria (2025)

Ao mensurar as concentrações de mercúrio total (HgT) nos espécimes analisados, foi observado que os valores médios foram de $0,18 \pm 0,1$ mg de Hg/Kg de peixe, com uma variação de 0,03 mg/Kg (mínimo) a 0,55 mg/Kg (máximo). No que se refere à comercialização, estes valores encontram-se abaixo do limite máximo permitido pela Legislação brasileira. Tais resultados corroboram com as conclusões de Lino *et al.* (2018), que destacam que os peixes amazônicos frequentemente apresentam níveis de Hg abaixo dos limites de segurança, embora ainda representem um risco potencial para consumidores que mantêm uma dieta rica em pescado.

Em adição, estudos realizados por Vera (2004) analisaram os níveis de Hg total em espécimes do gênero *Chicla* (Tucunaré), coletados no ano de 1992 e 2001, na cidade de Santarém. O autor relata que os níveis de Hg encontrados foi de $0,12 \pm 0,02$ mg/Kg em 1992 e $0,24 \pm 0,03$ mg/Kg, em 2001. Em um estudo subsequente realizado por Auzier em 2017, com peixes comercializados no Mercado 2000, Mercado do Peixe e Mercado Modelo de Santarém, foram encontrados níveis de mercúrio de $0,34 \pm 0,25$ mg/kg no tucunaré.

Os estudos citados acima reforçam a consistência dos dados ao longo dos anos e sugere que os níveis de Hg em *Cichla spp.* têm se mantido estáveis na região. Essa estabilidade pode ser atribuída às características ambientais locais e ao padrão de bioacumulação nos peixes. Contudo, é importante considerar que, mesmo sendo resultados semelhantes, os valores se destacam como um alerta, devido à maior proximidade com os limites de segurança para consumo humano.

Visando um possível risco de contaminação humana por meio do pescado, a ANVISA (Portaria nº 685, de 27 de setembro de 1998) estabeleceu os níveis máximos de HgT

permitidos, que é de 1,0 mg/Kg de peixes predadores e 0,5 mg/Kg para peixes não predadores.

Embora os valores de HgT aqui determinados tenham se mostrado inferiores aos estabelecidos pela legislação, vale destacar a importância de se conhecer o nível de exposição humana pela ingestão de pescado, uma vez que a contaminação por Hg se dá, em sua maioria, pela ingestão de peixes contaminados. No presente estudo, o coeficiente de risco (*HQ*) foi determinado em 0,54. Valores de *HQ* inferiores a 1 apontam que o nível de exposição é menor do que a dose de referência, pois significa que a exposição diária a este nível não é suscetível de causar efeitos adversos nos consumidores.

Por sua vez, sabendo-se que o consumo de peixes contaminado é a principal via de contaminação humana por Hg, principalmente frente a espécies predadoras, a caracterização de risco para populações humanas deve concentrar-se cada vez mais na exposição ao Hg ao longo da vida, em vez da exposição aguda. Para este fim, foi definida uma dose de referência (*RfD* - 0,23 µg/kg de peso corporal - FAO/WHO, 2004) como uma estimativa da exposição diária, sem um risco significativo de efeitos deletérios durante um tempo de vida.

Ao considerarmos um adulto, com peso de 70 Kg, o valor total de Hg que pode ser consumido é de até 16,1 µg de peixe/dia/adulto; 112,7 µg de peixe/semana/adulto; 483 µg de peixe/mês/adulto. Considerando ainda a proporção padronizada em 250g, sugerida por Vieira *et al.* (2015), tem-se que um indivíduo adulto, residente no Norte do Brasil, pode consumir duas refeições semanais ou 10 refeições mensais contendo tucunaré como proteína principal. Vale lembrar que para os grupos de risco, estes valores devem ser reduzidos pela metade.

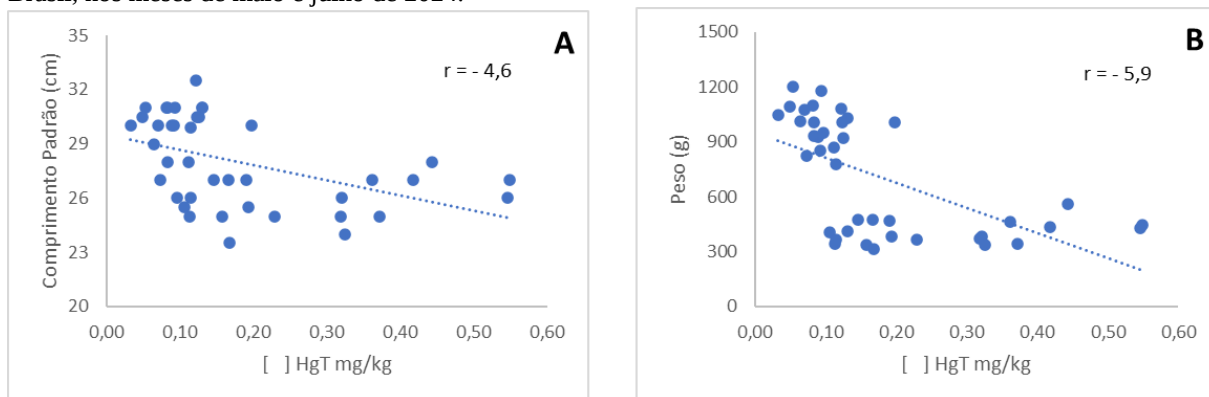
Portanto, mesmo abaixo do limite legal, as concentrações de HgT observadas no presente estudo indicam maior exposição ao Hg, o que pode representar um risco para populações que consomem pescado em grande quantidade e frequência, especialmente considerando o efeito cumulativo do Hg no organismo humano.

Esses resultados enfatizam a importância de estabelecer recomendações claras sobre a quantidade segura de tucunaré que a população de Santarém pode consumir, a fim de evitar potenciais riscos à saúde associados à exposição prolongada ao Hg.

Estudos como o de Costa Júnior (2018) destacam que, mesmo abaixo dos limites regulatórios, o consumo contínuo de pescado com níveis moderados de Hg pode resultar em bioacumulação no organismo humano, particularmente em comunidades ribeirinhas, que dependem quase exclusivamente de pescado como fonte de proteína animal.

A Figura 09 (A e B) representa a correlação entre os níveis de HgT e dados morfométricos (peso e comprimento padrão) determinados.

Figura 09 - Correlação entre a concentração de HgT e dados morfométricos (peso e comprimento padrão) determinados para espécimes de *Chicla ssp*, obtidos comercialmente na Feira do Pescado, em Santarém, Pará, Brasil, nos meses de maio e julho de 2024.



Fonte: Autoria própria (2025)

Após análise, foi possível verificar uma correlação moderada, negativa, entre a concentração de HgT, comprimento padrão (A) ($r = -4,6$) e peso ($r = -5,9$) (B) dos espécimes analisados. Isso significa que, quanto maior o comprimento padrão e o peso observados, há uma tendência de diminuição na concentração de Hg. Uma possível explicação para este resultado pode ser reflexo da seleção de amostras, bem como condições ambientais específicas, tais como o local de captura dos espécimes e período de coleta, podem ter influenciado os resultados.

Tendo em conta, um estudo realizado na região do Baixo São Francisco que analisou a contaminação por Hg em peixes capturados em diferentes locais, obteve resultados que indicaram variações nos níveis de Hg, tanto entre os diferentes pontos de captura quanto entre as espécies, propondo que fatores ambientais específicos de cada área influenciam a concentração de Hg nos peixes (Santos 2023). Ademais, outro estudo analisou os níveis de Hg em peixes de diferentes igarapés naturais na bacia do Rio Mamuru, no interflúvio Mamuru-Arapiuns, os resultados indicaram que as concentrações de mercúrio variaram entre os igarapés, evidenciando a influência das características ambientais locais na bioacumulação do metal nos peixes (Pimentel 2019).

6 CONCLUSÃO

Apesar dos níveis de HgT observados em amostras de tucunarés estarem dentro dos padrões de segurança e, portanto, permissíveis para comercialização, os valores registrados indicam a necessidade de monitoramento contínuo para garantir a segurança alimentar da população, uma vez que é essencial considerar não apenas as concentrações de Hg nos peixes, mas também as quantidades de peixes consumidos. Na região em estudo, o alto consumo de peixes pode levar à alta ingestão de Hg, tornando a quantidade de peixe consumida um fator importante na avaliação de riscos à saúde. A correlação negativa observada para concentração de HgT x peso x comprimento padrão pode ser decorrente de a amostra coletada não ser representativa da população geral de tucunarés. Outros fatores como seleção de amostra, condições ambientais específicas, tais como o local de captura dos espécimes, bem como o período de coleta das amostras, podem ter influenciado os resultados.

Vale ressaltar que não foi possível confirmar o local de captura dos espécimes adquiridos para o estudo, o que inviabiliza, em primeiro momento, relatar influências ambientais/antropogênicas para as concentrações de HgT encontradas, sendo de incontestável importância de estudos posteriores para fazer o acompanhamento das áreas onde ocorrem a pesca artesanal que abastece o mercado local de Santarém.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. D. *et al.* Mercury loss from soils following conversion from forest to pasture in Rondônia, Western Amazon, Brazil. **Environmental Pollution**, v. 137, n. 2, p. 179–186, set. 2005.
- ALMEIDA, O. T.; MCGRATH, D. G. & RUFFINO, M. L. The commercial fisheries of the lower Amazon: an economic analysis. **Fisheries Management and Ecology**, 8(3), 253 -269, 2001.
- ANDRADE, P. D. O. Avaliação temporal da exposição humana ao mercúrio no Oeste Paraense. 2015. Dissertação (Mestrado em Doenças Tropicais) Universidade Federal do Pará. Belém, 2015.
- ANJOS, M. R. *et al.* Bioacumulação de metilmercúrio em tecidos de peixes no rio Roosevelt, Sudoeste da Bacia Amazônica. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, p. 508-518, 2016.
- ARRIFANO, G. P. F.; ALVAREZ-LEITE, J. I.; SOUZA-MONTEIRO, J. R.; AUGUSTO-OLIVEIRA, M.; PARAENSE, R.; MACCHI, B. M.; PINTO, A.; ORIÁ, R. B.; DO NASCIMENTO, J. L. M.; CRESPO-LOPEZ, M. E. In the heart of the Amazon: noncommunicable diseases and apolipoprotein E4 genotype in the riverine population. **Int J Environ Res Public Health** 15:1957.
- AUZIER, C. D. Mercúrio total em tucunaré (*cichla spp.*) e pescada (*plagioscion spp.*) comercializados em Santarém-Pará. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) Universidade Federal do Oeste do Pará, 2017.
- BAEYENS, W.; LEERMAKERS, M.; PAPINA, T.; SAPRYKIN, A.; BRION, N.; NOYEN, J.; ... & GOEYENS, L. Bioconcentration and biomagnification of mercury and methylmercury in North Sea and Scheldt Estuary fish. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, 45, 498-508, 2003.
- BARBOSA, S. C.; COSTA, M. F.; BARLETTA, M.; DANTAS, D. V.; KEHRIG, H. A.; & MALM, O. Total mercury in the fish *Trichiurus lepturus* from a tropical estuary in relation to length, weight, and season. **Neotropical Ichthyology**, 9, 183-190, 2011.
- BJØRKLUND, G. *et al.* The toxicology of mercury: Current research and emerging trends. **Environmental Research**, v. 159, 2017.
- BRITO, B. C. *et al.* The influence of inundation and lake morphometry on the dynamics of mercury in the water and plankton in an Amazon floodplain lake. **Hydrobiologia**, v. 790, n. 1, p. 35–48, 2017.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 42**, Limites máximos de contaminantes em alimentos. 1º de agosto de 2011.
- CASTILHOS, Z. C.; DOMINGOS, L. M. Inventário nacional de emissões e liberações de mercúrio no âmbito da mineração artesanal e de pequena escala no Brasil. **Ministério Do Meio Ambiente**, v. 1, p. 56, 2018.

CLARKSON, T. W. The Toxicology of Mercury. **Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences**, v. 34, n. 3, p. 369-403, 1997.

CLARKSON, T. W.; MAGOS, L.; MYERS, G. J. The Toxicology of Mercury - Current Exposures and Clinical Manifestations. **The new england journal of medicine**, v. 349, n. 18, 2003.

CLARKSON, T. W.; VYAS, J. B.; BALLATORI, N. Mechanisms of mercury disposition in the body. American Journal of Industrial Medicine. **American Journal of Industrial Medicine**, v. 50, p. 757-764, 2007.

COSTA JUNIOR, J. M. F. *et al.* Teores de mercúrio em cabelo e consumo de pescado de comunidades ribeirinhas na Amazônia brasileira, região do Tapajós. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 23, p. 805-812, 2018.

CRESPO-LOPEZ, M. E. *et al.* Mercury: What can we learn from the Amazon? **Environment International**, v. 146, p. 106223, jan. 2021.

COSTA, B. G. B.; LACERDA, L. D. Mercury (Hg) in fish consumed by the local population of the Jaguaribe River lower basin, Northeast Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, p. 13335-13341, 2014.

COSTA JUNIOR, José Maria Farah; SILVA, Camile Irene Mota da; LIMA, Abner Ariel da Silva; RODRIGUES JÚNIOR, Dario; SILVEIRA, Luiz Carlos de Lima; SOUZA, Givago da Silva; PINHEIRO, Maria da Conceição Nascimento. Teores de mercúrio em cabelo e consumo de pescado de comunidades ribeirinhas na Amazônia brasileira, região do Tapajós. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 23, n. 3, p. 805-812, 2018.

CRESPO-LOPEZ, M. E.; AUGUSTO-OLIVEIRA, M.; LOPES-ARAÚJO, A.; SANTOS-SACRAMENTO, L. Mercury: What can we learn from the Amazon?. **Environment International**, v. 146, n. 28, 2021.

CPT - CENTRO DE PRODUÇÕES TÉCNICAS. Peixes de água doce do Brasil: Tucunaré (Cichla ocellaris). **Disponível em:** <https://www.cpt.com.br/cursos-criacaodepeixes/artigos/peixes-de-agua-doce-do-brasil-tucunare-cichla-ocellaris>. 2025.

FERREIRA, A. C. C. C. Análise do ritmo e nível de crescimento econômico da cidade de Santarém, entre 2015 e 2019. **Revista de Políticas Públicas**, 27(1), 106-119, 2023.

FONTINELLE, A. R. e FRANCO, P. B. G. T. Perfil preliminar do consumidor de peixe em Santarém, Pará / Preliminary profile of fish consumers in Santarém, Pará. **Brazilian Journal of Development**, 7(5), 45789 - 45802, 2021.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS (FAPESPA). **Nota-Técnica-Pescado-Paraense**, 2023.

FOLHES, Ricardo Theophilo. O Lago Grande do Curuai: história fundiária, usos da terra e relações de poder numa área de transição várzea-terra firme na Amazônia. 2016. 300f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Pará, Instituto de

Geociências, Belém, Pará. 2016.

FRANCO, Jeferson Luis. O sistema antioxidante da glutathione como alvo molecular na neurotoxicidade induzida por Mercúrio: efeitos protetores de compostos naturais. 2009. 144f. Tese (Doutorado em Neurociências) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Florianópolis, fevereiro de 2009.

FIOCRUZ. Ingestão diária de mercúrio excede os limites seguros em seis estados na Amazônia, maio de 2023.

GALVIS, S. R. The Amazon Biome in the face of Mercury Contamination. **WWF – Gaia Amazonas**. p. 168. 2020.

GOMES, B. L. C. *et al.* Análise temporal da exposição ao mercúrio na população ribeirinha da Amazônia: revisão integrativa. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 13, n. 5, p. e7172, 2021.

GONÇALVES, D. C. M.; GAMA, J. R. V.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; ARAÚJO, G. C.; ALMEIDA, L. S. Aspectos mercadológicos dos produtos não-madeira de Santarém-Pará. **Floresta e Ambiente**, 19(1): 9-16, 2012.

GONÇALVES, A.; GONÇALVES, N. N. S. Exposição humana ao mercúrio na Amazônia brasileira: uma perspectiva histórica. **Revista Panamericana de Salud Pública/Pan Am J Public Health**, v. 15, n. 2, 2004.

GROTTO, D. *et al.* Mercury exposure and oxidative stress in communities of the Brazilian Amazon. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 4, p. 806–811, 15 jan. 2010.

GURJÃO, R. S. *et al.* Comportamento do Mercúrio em perfis de solos do Sítio Ilha de Terra - Caxiuanã, Pará. **Química Nova**, v. 33, n. 4, 821-826, 2010.

GUIMARÃES, K. L. A., *et al.* Avaliação espacial da concentração de mercúrio (Hg) em peixes da bacia do rio Tapajós: implicações para a saúde ambiental e humana. VIII Workshop Brasileiro de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia, 2024.

HACON, S. DE S. *et al.* Mercury Exposure through Fish Consumption in Traditional Communities in the Brazilian Northern Amazon. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 15, p. 5269, 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019b). **Pesquisa de Orçamentos Familiares – POF 2017-2018**, Rio de Janeiro.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama da Cidade de Santarém**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santarem/panorama>. Acesso em: 30 ago. 2024.

JUNIOR, J. M. F. C. *et al.* Teores de mercúrio em cabelo e consumo de pescado de comunidades ribeirinhas na Amazônia brasileira, região do Tapajós. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 23, n. 3, p. 805–812, 2018.

JUNK, W. J. *et al.* Áreas alagáveis: Definições e características ecológicas gerais. In: JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J. **Várzeas Amazônicas: Desafios para um Manejo Sustentável**. Manaus: Editora do INPA, 2020.

JACOVANI, Kerolaine Suellen de Melo. Parasitos de peixes como bioindicadores de impactos ambientais e análise da qualidade química da água nos rios Jacaré-Pepira e Jacaré-Guaçu, bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, estado de São Paulo, Brasil. 2019. 78f.: il. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu, 2019.

KERSHAW, J. L.; HALL, A. J. Mercury in cetaceans: Exposure, bioaccumulation and toxicity. **Journal Science of the Total Environment**, v. 694, p. 133683, 2019.

KEHRIG, H.; MALM, O.; PALERMO, E.; SEIXAS, T.; BAÊTA, A.; MOREIRA, I. Bioconcentração e biomagnificação de metilmercúrio na baía de Guanabara, Rio de Janeiro. **Química Nova**, v. 34, n. 3, p. 377-384, 2011.

KIM, Y.; HA, E-H; PARK, H.; HA, M.; KIM, Y.; HONG, Y.-C.; LEE, E. J.; KIM, H.; CHANG, N. KIM, B.-N. Prenatal mercury exposure, fish intake and neurocognitive development during first three years of life: Prospective cohort mothers and Children's environmental health (MOCEH) study. **Journal of Science of the Total Environment**, v. 615, p. 1192–1198, 2018.

KWAANSA-ANSAH, E. E.; ARMAH, E. K.; OPOKU, F.. Assessment of Total Mercury in Hair, Urine and Fingernails of Small-Scale Gold Miners in the Amansie West District, Ghana. **Journal of Health & Pollution**, v. 9, n. 21, p. 1-8, mar. 2019.

LINO, A. S.; KASPER, D.; GUIDA, Y. S.; THOMAZ, J. R.; MALM, O. Mercury and selenium in fishes from the Tapajós River in the Brazilian Amazon: An evaluation of human exposure. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 48, p. 196-201, 2018.

LACERDA, L. D. Contaminação por mercúrio no Brasil: fontes industriais vs garimpo de ouro. **Revista Química Nova**, v. 20, n. 2, p. 196–199, 1997.

LACERDA, L. D.; MALM, O. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, 2008.

LACERDA, L. D. D.; GOYANNA, F. A. D. A.; BEZERRA, M. F.; COSTA, B. G. B. & BRAGA, T. M. Mercury distribution in fish commercialized at the Mucuripe market, Fortaleza, Ceará state, Brazil, 2016.

LEITE, E. J. (turismo aqui). Passeio pela Feira do Pescado em Santarém Pará revela a vida ribeirinha na Amazônia. YouTube, 2022. Disponível em: https://youtu.be/3iOtQ6O9wHE?si=GLU_p4w91mj3xgaT

MUNDURUKU, A. K. *et al.* Consequências do Mercúrio na Saúde Humana e no Meio Ambiente. Ministério da Saúde ed. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 2021.

MENEZES FILHO, José Antonio. **Efeitos do Mercúrio na Saúde e no Meio Ambiente**.

Seminário Saúde Sem Mercúrio, abril de 2013.

MAPBIOMAS, Projeto MapBiomias – Mapeamento da superfície de mineração industrial e garimpo no Brasil. **MAPBIOMAS**. Coleção 7, acessado em: 13 junho. 2024. através do link: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/MapBiomias_Minera%C3%A7%C3%A3o_2022_30_09.pdf.

NEVADO, J. J. B. *et al.* Mercury in the Tapajós River basin, Brazilian Amazon: A review. *Environment International*. **Environment International**, v. 36, p. 593–608, 2010.

NEWMAN, M.C. & UNGER, M.A. *Fundamentals of ecotoxicology*. Lewis Publishers, 376 p., Boca Raton, 2002.

OLIVEIRA, R. B. de; SILVA, D. M., da; FRANCO, T. S. B. S.; VASCONCELOS, C. R. S.; SOUSA, D. J. dos A. de; SARRAZIN, S. L. F., SAKAMOTO, M.; BOURDINEAUD, J.-P. 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. **Arh Hig Rada Toksikol**. 2022;73:131-142.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). *Diretrizes para a qualidade da água potável*, Volume 1: Recomendação, 4ª edição, 2011.

PIRES, E. R. B.; CESÁRIO, K. P. M.; CEREJA, S. S. dos A.; ALVES, A. H. R. Análise Espaço-temporal da Expansão Urbana de Santarém – Pará. **In: Anais do COBRAC 2018** – Florianópolis: UFSC, 2018. Disponível em: <https://docplayer.com.br/210445365-Analise-espacotemporal-da-expansao-urbana-de-santarem-para-space-time-analysis-of-the-urban-expansionof-the-city-of-santarem-para.html>. Acesso em: 20 de dezembro de 2024.

PADOVANI, C. R.; FORSBERG, B. R.; PIMENTEL, T. P. Contaminação mercurial em peixes do rio Madeira: resultados e recomendações para consumo humano. **ACTA amazônica**, v. 25, n. ½, p. 127-136. 1995.

PIRAQUIVE, Edgar Francisco. *A alimentação dos peixes como ferramenta de manejo pesqueiro nos lagos de Yahuaracaca, Amazonas, Colômbia*: Editora Bioika, 2017.

PIMENTEL, D. R. *et al.* Avaliação dos níveis de mercúrio (hg) total em peixes de igarapés da bacia do rio mamuru-pará-brasil. **Revista Saúde e Meio Ambiente** – RESMA, 2019.

RAMOS, A. R. A.; OLIVEIRA, K. A. DE; RODRIGUES, F. DOS S. Mercury-Based Mining in Yanomami Indigenous Lands and Accountabilities. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, 2020.

RENÓ, V. F.; MORAES-NOVO, E. M. L. Alterações da cobertura florestal de várzea e seus efeitos no bem-estar das populações ribeirinhas do Estado do Pará: uma análise exploratória com dados sociodemográficos do IBGE. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*. João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. Disponível em: . Acesso em: 21 jul. 2023.

RODRIGUES, L.; LEITÃO, S. *Raio X do Ouro: mais de 200 toneladas podem ser ilegais*. Instituto Escolhas ed. São Paulo: 2022, 2022.

ROULET, M. *et al.* The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará state, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 223, p. 1-24, 1998.

SANTOS, I. R.; SILVA FILHO, E. V.; SCHAEFER, C. E.; SELLA, S. M.; SILVA, C. A.; GOMES, V.; PASSOS, M. J.; NGAN, P. V. Baseline mercury and zinc concentrations in terrestrial and coastal organisms of Admiralty Bay, Antarctica. **Journal Environmental Pollution**, v. 140, n. 304-311, 2006.

SANTOS, E. A. O. Perfil da ictiofauna e níveis de mercúrio em peixes capturados na região do baixo rio São Francisco. (Dissertação) Repositório Institucional da Universidade Federal de Sergipe – RI/UFS, 2023.

SILVA, J. L.; LEOÁDIO, P. C. L.; REIS, J. M.; CAMPOS, G. P.; CAPETTINI, L. S. A.; FOUREAUX, G.; FERREIRA, A. J.; WINDMÖLLER, C. C.; SANTOS, F. A.; ORIÁ, R. B.; CRESPOLOPEZ, M. E.; ALVAREZLEITE, J. I. Oral methylmercury intoxication aggravates cardiovascular risk factors and accelerates atherosclerosis lesion development in ApoE knockout and C57BL/6 mice. **Toxicol Res.** 2020.

SILVA, Radson A.; SIEBERT, T. H. R. Levantamento dos principais peixes comercializados na feira do pescado de Santarém-Pará, de setembro de 2017 a janeiro de 2018. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 12, n. 1, p. 62-74, 2019.

SILVA, D. M. DA. **Mercúrio total em parturientes e neonatos da cidade de Itaituba-Pará-Brasil**. Dissertação (Mestrado)—Santarém: Universidade Federal do Oeste do Pará, 2020.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. **Boletim mensal hidrometeorológico**: apresentação. Pará, 2024.

SÚAREZ, I.R.; NASCIMENTO, F.L.; CATELLA, A.C. **Alimentação do tucunaré *Cichla spp.*** (Pisces, cichlidae) – um peixe introduzido no Pantanal, Brasil. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2001. 21p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa, 23).

VERA, M. Y. Predição da concentração de mercúrio em tucunaré usando modelos de balanço de massa e bioenergético – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, 2004.

VIEIRA, H. C.; MORGADO, F.; SOARES, A. M. V. M. & ABREU, S. N. Fish consumption recommendations to conform to current advice in regard to mercury intake. **Environmental Science and Pollution Research**, 22, 9595-9602, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. 1990. IPCS Environmental Health Criteria, vol. 101, Methylmercury. Geneva: WHO.