

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

José Wilker Amaral

**TEORES DE MERCÚRIO E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM PEIXES
COMERCIALIZADOS NO MERCADO MUNICIPAL DE HUMAITÁ – AM**

Belo Horizonte

2023

José Wilker Amaral

**TEORES DE MERCÚRIO E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM PEIXES
COMERCIALIZADOS NO MERCADO MUNICIPAL DE HUMAITÁ – AM.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Beatriz Abreu Glória

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Luciana Albuquerque Caldeira Rocha

Belo Horizonte

2023

A485t Amaral, José Wilker de ,1994 -
Teores de mercúrio e parâmetros físico-químicos em peixes comercializados no Mercado Municipal de Humaitá %u2013 AM
65f: il

Orientadora: Maria Beatriz de Abreu Gloria
Dissertação (Mestrado) apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária da UFMG, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência animal.
Área de concentração: Tecnologia e Inspeção de produtos de origem animal.
Inclui bibliografia

1- Peixes - Teses - 2 – Ciência animal – Teses – I – Glória, Maria Beatriz de Abreu
II– Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária – III – Título.

CDD – 636.089



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

JOSÉ WILKER DE AMARAL

Dissertação submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA ANIMAL, como requisito para obtenção do grau de MESTRE em CIÊNCIA ANIMAL, área de concentração Tecnologia e Inspeção de Produtos de Origem Animal.

Aprovado(a) em 12 de maio de 2023, pela banca constituída pelos membros:

Dr.(a). Maria Beatriz de Abreu Glória - Orientador(a)

Dr.(a). Luciana Albuquerque Caldeira Rocha

Dr.(a). José Eduardo Gonçalves

Dr.(a). José Maria Soares

Dr.(a). Flavia Beatriz Custodio



Documento assinado eletronicamente por **Maria Beatriz de Abreu Gloria, Presidente de comissão**, em 12/05/2023, às 20:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Eduardo Goncalves, Professor do Magistério Superior**, em 15/05/2023, às 12:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luciana Albuquerque Caldeira Rocha, Usuária Externa**, em 15/05/2023, às 14:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flávia Beatriz Custódio, Professora do Magistério Superior**, em 15/05/2023, às 15:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Maria Soares, Usuário Externo**, em 16/05/2023, às 09:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2247897** e o código CRC **08B581FC**.

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho investigar os teores de mercúrio total, parâmetros físicos (tamanho, peso e temperatura) e físico-químicos de qualidade (pH e Bases Voláteis Totais - BVT) em diferentes espécies de peixes coletados no mercado municipal de Humaitá - AM entre 2021 e 2022, em duas estações do ano (cheia e seca), a saber: Matrinxã (*Brycon falcatus*), Pacu (*Mylossoma duriventre*), Tambaqui (*Colossoma macropomum*), Jatuarana (*Brycon amazonicus*), e Pescada (*Plagioscion squamosissimus*). O mercúrio total foi determinado por espectrometria de absorção atômica após decomposição térmica e amalgamação em ouro; pH e BVT por metodologia oficial. De um modo geral, os teores de mercúrio total variaram de nd (não detectado, < 0,050 mg/kg) em amostras de Jatuarana, Matrinxã e Tambaqui, a 0,852 mg/kg em Pescada, sendo que 77% do total de amostras continha níveis detectados de mercúrio. As medianas dos teores de mercúrio foram significativamente maiores (teste de Kruskal-Wallis, $p \leq 0,05$) em Pescada (0,592 mg/kg), seguidas por Jatuarana (0,124 mg/kg), Matrinxã (0,083 mg/kg), Pacu (0,051 mg/kg) e Tambaqui (0,003 mg/kg). Sendo possível estabelecer correlação positiva entre teores de mercúrio e nível de cadeia trófica dos peixes. Todas as amostras atenderam aos critérios de qualidade, com relação ao pH < 7,0. Por outro lado, quanto a BVT, 4,2 % das amostras de Matrinxã e 33,3 % das amostras de Pescada estavam impróprias ao consumo. Os teores médios de mercúrio identificados foram utilizados para avaliação do risco para a população brasileira de um modo geral, para a região norte e para a população ribeirinha. A ingestão de mercúrio para a população brasileira e do norte do Brasil, se apresentou abaixo da ingestão semanal tolerada provisória (PTWI) de 1,6 µg/kg/semana determinada pelo Comitê Conjunto de Peritos em Aditivos Alimentares (JECFA) da Organização da Alimentação e Agricultura, da Organização das Nações Unidas. Entretanto, devido ao alto consumo, a ingestão desses peixes pelos ribeirinhos do rio Madeira - AM, excedeu ao PTWI, contribuindo significativamente para o aumento do risco de patologias neurológicas, nestes povos, por estarem sendo cronicamente expostos a este elemento. Os resultados obtidos sugerem que no cenário atual se busque optar por consumir peixes que pertençam a um baixo nível trófico (herbívoros e onívoros) dentre os comercializados no município de Humaitá e na Amazônia, em geral, e demonstra ainda a necessidade de biomonitoramento do ecossistema aquático vulnerável à fontes antrópicas de mercúrio, para auxiliar no desenvolvimento de melhores estratégias preventivas e ações para a questão da exposição ao Hg nessa região.

Palavras-chave: Peixes de água doce; metilmercúrio; pH; BVT; segurança alimentar.

ABSTRACT

This work aimed to investigate the total mercury contents, physical parameters (size, weight and temperature) and physico-chemical quality (pH and Total Volatile Bases - BVT) in different species of fish collected in the municipal market of Humaitá - AM between 2021 and 2022, in two seasons of the year (full and dry), namely: Matrinxã (*Brycon falcatus*), Pacu (*Mylossoma duriventre*), Tambaqui (*Colossoma macropomum*), Jatuarana (*Brycon amazonicus*) and Pescada (*Plagioscion squamosissimus*). Total mercury was determined by atomic absorption spectrometry after thermal decomposition and gold amalgamation; pH and BVT by official methodology. In general, total mercury levels ranged from nd (not detected, < 0.050 mg/kg) in samples from Jatuarana, Matrinxã and Tambaqui, to 0.852 mg/kg in Pescada, and 77% of the total samples contained detected levels of mercury. The median mercury contents were significantly higher (Kruskal-Wallis test, $p \leq 0.05$) in Pescada (0.592 mg/kg), followed by Jatuarana (0.124 mg/kg), Matrinxã (0.083 mg/kg), Pacu (0.051 mg/kg) and Tambaqui (0.003 mg/kg). It is possible to establish a positive correlation between mercury contents and trophic chain of fish. All samples met the quality criteria, with respect to pH < 7.0. On the other hand, as for the BVT, 4.2% of the Matrinxã samples and 33.3% of the Pescada samples were unfit for consumption. The average mercury levels identified were used to assess the risk for the Brazilian population in general, for the northern region and for the riverine population. Mercury intake for the Brazilian population and in northern Brazil met the provisional tolerable weekly intake (PTWI) of 1.6 µg/kg/week determined by Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). However, due to the high consumption, the ingestion of these fish by the ribeirinhos dwellers of the Madeira river - AM, exceeded the PTWI, contributing significantly to the increased risk of neurological pathologies in these peoples, because they are being chronically exposed to this element. The results obtained suggest that in the current scenario it is sought to choose to consume fish that belong to low trophic level (herbivores and omnivores) among those marketed in the municipality of Humaitá and in the Amazon, in general, and also demonstrates the need for biomonitoring of the aquatic ecosystem vulnerable to anthropogenic sources of mercury, to assist in the development of better preventive strategies and actions for the issue of exposure to Hg in this region.

Keywords: Freshwater fish; methylmercury; pH; BVT; food safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Esquematização do ciclo biogeoquímico do mercúrio	20
Figura 2. Representação esquemática do equipamento DMA-80 (Milestone)	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Produção (Kg) média de peixes cultivados no Amazonas no período de 2016 a 2018	15
Tabela 2.	Características das fases associadas ao fluxo das águas nos rios da Amazônia	17
Tabela 3.	Patologias ocasionadas pelo mercúrio entre populações indígenas e ribeirinhas	22
Tabela 4.	Teores máximos de mercúrio encontrados em peixes de água doce	24
Tabela 5.	Espécies de peixes, origem e época de coleta das amostras no município de Humaitá, AM	28
Tabela 6.	Classificação taxonômica das cinco espécies de peixes analisadas do rio Madeira, no município de Humaitá – AM	33
Tabela 7.	Características físicas de cinco espécies de peixes do Rio Madeira obtidas no mercado consumidor de Humaitá, AM	35
Tabela 8.	Influência da estação nas características físicas de cinco espécies de peixes do Rio Madeira adquiridas no mercado de Humaitá, AM	37
Tabela 9.	Influência do horário da coleta nas características físicas de cinco espécies de peixes do Rio Madeira adquiridas no mercado de Humaitá, AM	39
Tabela 10.	Características físico-químicas de cinco espécies de peixes do Rio Madeira obtidas no mercado consumidor de Humaitá, AM	41
Tabela 11.	Influência da estação nas características físico-químicas de cinco espécies de peixes do Rio Madeira adquiridas no mercado de Humaitá	42
Tabela 12.	Influência do horário da coleta nas características físico-químicas de cinco espécies de peixes do Rio Madeira adquiridas no mercado de Humaitá, AM	43
Tabela 13.	Ocorrência e teores de mercúrio total em cinco espécies de peixes do Rio Madeira obtidas no mercado consumidor de Humaitá, AM	45
Tabela 14.	Influência da estação nos teores de mercúrio em cinco espécies de peixes do Rio Madeira adquiridas no mercado de Humaitá, AM	47
Tabela 15.	Correlação entre teores de mercúrio, parâmetros físicos, físico-químicos e nível trófico	48
Tabela 16.	Teores de metilmercúrio e estimativa de exposição pelo consumo de cinco espécies de peixes do rio Madeira pela população nacional, região norte do Brasil e população ribeirinha de Humaitá, AM	51

LISTA DE ABREVIATURAS

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária;

BVT - Bases Voláteis Totais;

COVID-19 - Vírus SARS-CoV-2;

DHA - Ácido docosahexaenóico;

DMA - Analisador Direto de Mercúrio;

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;

EPA - Ácido ecosapentaenóico;

EFSA - Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar;

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura;

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

IEAA - Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente;

IDAM - Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas;

IRIS - Sistema Integrado de Informação de Risco;

LEMA - Laboratório de Especialização de Mercúrio Ambiental;

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;

OMS - Organização Mundial de Saúde;

ONU - Organização das Nações Unidas;

PTWI - Ingestão Semanal Tolerável Provisória;

RIISPOA - Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária dos Produtos de Origem Animal;

RTIQ - Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade;

TCA - Ácido tricloroacético;

USEPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos;

ZEE - Zona Econômica Exclusiva.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo geral	13
2.2. Objetivos específicos	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1. Cenários de produção e consumo de peixes	13
3.2. A pesca em Humaitá – AM	16
3.3. Potencial nutricional dos peixes	17
3.4. Bioacumulação de mercúrio em espécies ícticas e toxicologia para o ser humano	19
3.5. Ocorrência de mercúrio em peixes de água doce	23
3.6. Métodos analíticos empregados na determinação de mercúrio em amostras de peixes ..	25
4. MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1. Material	27
4.1.1. Amostras	27
4.1.2. Reagentes e soluções	29
4.1.3. Equipamentos	29
4.2. Métodos de análise	29
4.2.1. Análises físico-químicas	29
4.2.1.1. Determinação do pH	29
4.2.1.2. Determinação de bases voláteis totais	30
4.2.2. Determinação de mercúrio total	30
4.3. Avaliação da exposição alimentar do metilmercúrio pelo consumo de peixes	31
4.4. Análise estatística	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1. Identificação das espécies	32
5.2. Características físicas dos peixes	34
5.2.1. Características físicas globais	34
5.2.2. Influência da estação nas características físicas dos peixes	36
5.2.3. Influência do horário de coleta nas características físicas dos peixes	38
5.3. Avaliações físico-químicas de qualidade dos peixes	40
5.3.1. Avaliação global	40
5.3.2. Influência da estação sobre os índices de pH e BVT	42
5.3.3. Influência do horário de coleta sobre os índices de qualidade (pH e BVT)	43
5.4. Ocorrência de mercúrio	44
5.5. Fatores que influenciam os teores de mercúrio em peixes	46
5.6. Risco associado a ingestão de mercúrio	50
6. CONCLUSÕES	53
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1. INTRODUÇÃO

Peixes fazem parte da dieta de vários grupos populacionais de todo o mundo. Esses animais são ricos em diversos tipos de nutrientes, como vitamina A, vitamina B12, iodo, zinco, selênio, fósforo e vitamina B2. Além desses nutrientes, destacam-se os ácidos graxos, principalmente os ômega-3 e ômega-6 e os poli-insaturados ecosapentaenóico (EPA) e docosahexaenóico (DHA) (SILVA et al., 2022). Existe uma tendência nutricional em preconizar uma alimentação saudável com baixa ingestão de gorduras saturadas e colesterol, além do aumento no consumo de fontes que contenham derivados de ácidos graxos poli-insaturados como EPA e DHA (MOZAFFARIAN e WU, 2011). Tem se estabelecido então um consenso mundial na razão de ácidos graxos ômega-6 e ômega-3 que variam de 4:1 a 5:1 respectivamente, devido a sua ação cardioprotetora envolvendo a prevenção à fibrilação atrial, aterosclerose, trombose e morte cardíaca súbita. Ainda, estes ácidos graxos estão associados a melhorias nas funções cognitivas, de aprendizagem e memória, desde a formação do sistema nervoso central, diminuindo fatores associados aos processos neurodegenerativos (SILVA et al., 2022). A Organização Mundial da Saúde (OMS) tem recomendado o consumo de uma a duas porções semanais de pescado, assim como a Autoridade de Segurança Alimentar da União Europeia, que orienta 300 g de peixe por semana para adultos (EFSA, 2015; WHO, 2018). No Brasil, o Guia Alimentar para a População Brasileira, do Ministério da Saúde, recomenda o consumo de peixe fresco pelo menos duas vezes por semana, porém não apresenta diretrizes específicas para o consumo dos ácidos graxos (BRASIL, 2014).

De acordo com a edição de 2022 do *State of World Fisheries and Aquaculture* (SOFIA), publicado pela *Food and Agriculture Organization* (FAO) a nível mundial, no ano de 2020 foram produzidas mais de 157 milhões de toneladas de pescado destinados ao consumo humano direto, volume ligeiramente superior ao de 2018, apesar das repercussões da pandemia de COVID-19 (FAO, 2022). Segundo levantamento da Associação Brasileira da Piscicultura, em 2022 o Brasil produziu 860.355 toneladas de pescado, gerando uma receita de cerca de R\$ 9 bilhões. Nos últimos anos a produção de peixes no país teve um incremento de 48,6%, passando de 578.800 t em 2014 a 860.355 t em 2022 (PEIXEBR, 2023).

Na Amazônia, o peixe é apresentado como o principal alimento para a população em função de sua grande disponibilidade regional, tornando a pesca uma das atividades de maior expressão social, econômica, cultural e a principal fonte nutricional. Dessa forma, o peixe é a maior fonte de proteína para o consumo humano da região, particularmente das populações que habitam as margens dos rios e lagos, denominadas ribeirinhos (SOARES et al., 2018). Na região

hidrográfica amazônica, o consumo *per capita* de pescado pelas comunidades ribeirinhas durante os anos 2000 era próximo de 150 kg por ano (OLIVEIRA et al., 2010). Recentemente, o consumo *per capita* de pescado das populações ribeirinhas é estimado em 500 g/dia, o equivalente a 180 kg/pessoa/ano (IDAM, 2020).

Embora o pescado seja uma fonte rica de nutrientes importantes para a saúde humana, a realidade ambiental dos cursos d'água brasileiros tem causado preocupações, principalmente em relação à presença de contaminantes, especialmente em relação ao mercúrio. O mercúrio é um metal tóxico e persistente no ambiente natural. Quando lançado na atmosfera e em efluentes devido aos dejetos industriais e atividades garimpeiras é altamente reativo e disponível para metilação (metilmercúrio) e acumulação pela biota depois de sua deposição em ambientes. Causando impactos ao ecossistema e a saúde humana, devido sua capacidade de acumulação ao longo da cadeia alimentar (DENG et al., 2015; RADOMYSKI et al., 2018; GAMA et al., 2020).

O mercúrio (Hg) inorgânico é biotransformado e organificado em mercúrio orgânico ou metilmercúrio (MeHg) pela atividade de micro-organismos no sedimento dos rios. O MeHg entra na cadeia alimentar dos peixes herbívoros da Amazônia, através das algas e plânctons e destes para os peixes carnívoros, que por sua vez são os mais consumidos pelos indígenas e ribeirinhos, que se contaminam com o MeHg ao se alimentarem com sua principal fonte proteica disponível (VIEIRA FILHO, 2021). O metilmercúrio causa problemas de ordem neurotóxica nos seres humanos. Em doses elevadas provoca graves danos ao sistema nervoso, sendo que a exposição prolongada pode levar o indivíduo à morte (GENDZIER et al., 2010; EFSA, 2012). Tais efeitos adversos sobre a saúde humana são tão relevantes que um tratado internacional (Convenção de Minamata) foi firmado por mais de 100 países, incluindo o Brasil, para redução dos teores de mercúrio no ambiente global e de seus riscos associados. A fim de proteger a saúde humana e o meio ambiente dos efeitos adversos de emissões e liberações de mercúrio e seus compostos, propondo substituir e, em alguns casos, eliminar o uso do mercúrio em produtos e processos industriais e estabelecer medidas de controle das emissões na atmosfera, no solo e na água (BRASIL, 2018).

Estudos recentes (HACON et al., 2020; SILVA e LIMA, 2020; CUSTÓDIO et al., 2020; DONADT et al., 2021; GOMES et al., 2021; MUNIR et al., 2021; VASCONCELOS et al., 2021) observaram teores elevados de mercúrio em diversas espécies de peixes de rios e lagos de água doce. Soares et al. (2018) ao quantificar o mercúrio total em peixes Rio Madeira – AM, dentre eles, Curimatã, Jaraqui, Pacu e Sardinha, detectaram níveis de mercúrio que variaram de 0,01 a 0,46 mg/kg. Estes resultados, tornam necessário o monitoramento e aplicação de estudos ampliando as espécies analisadas e inserindo também peixes de piscicultura, atividade em

ascendência na região norte, para investigação espaço-temporal de teores de mercúrio em peixes da Amazônia.

A legislação brasileira estabelece o teor limite de mercúrio total de 0,5 mg/kg para peixes não predadores e de 1,0 mg/kg para predadores (ANVISA, 2021). Além do controle da contaminação por mercúrio, alguns parâmetros de qualidade exigidos pela legislação vigente são relevantes, pois geram informações sobre a realidade das condições higiênico-sanitárias dos pescados comercializados no mercado municipal de Humaitá-AM. O Regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal (RIISPOA) determina os valores de pH da carne de no máximo 7,00 e bases voláteis totais inferiores a 30 mg de nitrogênio/100 g de tecido muscular, em peixe fresco (BRASIL, 2017).

Os peixes são cada vez mais reconhecidos por seu papel fundamental na segurança alimentar e nutricional, porém a contaminação dos peixes por metais, como o mercúrio tem se configurado como um problema de saúde pública, especialmente para a população ribeirinha, que tem o pescado como o principal componente da alimentação diária e fonte de renda. De acordo com o IDAM (2021), Humaitá está entre os 27 municípios eleitos para integrar o “Projeto Prioritário” para a pesca, devido a atividade ser importante fonte de alimento e sustento para a população da região, apresentando boas características para o comércio e oportunidade de investimento. Estudos que priorizem estratégias do sistema alimentar regional, nacional, e integrem produtos da pesca em caráter global, associados a políticas aplicáveis são parte vital da busca pela transformação dos nossos sistemas agroalimentares, atualmente poluídos.

Assim, diante do alto consumo de pescados pela população da região Norte, associado a adversidade da contaminação de recursos hídricos e da biota aquática, por metais, há a necessidade de se avaliar os níveis de mercúrio nos alimentos consumidos em Humaitá – AM, tal como o peixe. Esta é a primeira ação para a avaliação de riscos à população humana devido à contaminação ambiental por mercúrio, haja visto que este é um elemento com alto poder de acumulação e mesmo em baixas concentrações, o seu consumo recorrente pode ser prejudicial à saúde. Nesse sentido, o presente trabalho busca avaliar o cenário atual de contaminação mercurial em peixes populares ao consumo na região, a fim de contribuir de forma relevante com o monitoramento da segurança alimentar regional, considerando a dieta proteica da população ribeirinha do Rio Madeira, baseada no consumo de peixes, maior que a taxa de consumo nacional e mundial, além de projeções de vigilância e garantia à saúde pública e ambiental junto a economia pesqueira do município.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo investigar o teor de mercúrio total e parâmetros físico-químicos de qualidade (pH e BVT), em cinco espécies de peixes amplamente comercializados e consumidos na cidade de Humaitá – AM. Os resultados obtidos poderão ser aplicados na solicitação de atenção dos órgãos fiscalizadores competentes quanto ao risco a segurança alimentar que este produto pode oferecer.

2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- i) Determinar as características físicas (tamanho e peso) e a qualidade físico-química (pH e bases voláteis totais) dos peixes no mercado municipal de Humaitá, AM;
- ii) Determinar teores de mercúrio total nos peixes por espectrometria de absorção atômica de combustão após amalgamação em ouro e avaliar grau de correlação com fatores ambientais (e.g., cheia/seca e nível trófico); e
- iii) Estimar o risco da exposição ao metilmercúrio pelo consumo de peixes comerciais que ocorrem na região Norte para a população brasileira, do Amazonas e especialmente as ribeirinhas do rio Madeira - AM.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Cenários de Produção e Consumo de Peixes

Peixes são animais vertebrados, aquáticos e geralmente com a estrutura corpórea fusiforme. Possuem temperatura corporal semelhante ao ambiente em que vivem, sendo chamados de ectodermas. Na maioria dos casos são recobertos por escamas e respiram o oxigênio presente na água por meio de guelras ou brânquias (SILVA et al., 2022). De acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Peixe Fresco (RTIQ), entende-se por peixes os animais aquáticos de sangue frio, excluindo-se os mamíferos aquáticos, os animais invertebrados e os anfíbios. Devem ser obtidos de espécimes saudáveis e de qualidade adequada ao consumo humano, convenientemente lavado. Ainda, deve ser conservado somente pelo resfriamento a uma temperatura próxima a do ponto de fusão do gelo (BRASIL, 1997).

A produção mundial de peixes é uma importante fonte de suprimento proteico de boa qualidade para grande contingente populacional. Não obstante, a pandemia por Covid-19 intensificou a exigência do consumidor por produtos mais saudáveis e nutritivos para fortalecimento do organismo, assim, as proteínas de origem animal se destacam (XIMENES, 2021). De acordo com os dados mais recentes do *State of The World Fisheries and Aquaculture* (FAO, 2022), que é um relatório estatístico lançado globalmente pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO/ONU), a produção global de pescado oriundo da aquicultura e pesca em todo o mundo alcançou a estabilidade no ano de 2020, quando a pesca e a produção aquícola atingiram um recorde histórico de 214 milhões de toneladas, equivalente a cerca de US\$ 424 bilhões. O resultado representou um aumento marginal de 3% no volume sobre o estudo anterior, que consolidou dados de 2018. Analisando um período cronológico decrescente, a produção de pescado em 2020 foi 30% superior à média dos anos 2000 e mais de 60% acima da média produzida na década de 1990, superando consideravelmente o crescimento da população mundial.

O Brasil reúne as condições de se tornar grande produtor de pescado, ingressar ativamente no mercado global e alavancar o mercado doméstico, pois possui vasta extensão de Zona Econômica Exclusiva (ZEE) e de costa marítima, com 8.500 km de extensão; 12% da água doce disponível do planeta; grande volume d'água em reservatórios e de água subterrânea; condições climáticas favoráveis; alta disponibilidade de mão de obra; características ambientais propícias à produção intensiva em mar aberto ou na região costeira (maricultura); localização estratégica para escoamento da produção para o Cone Sul (Argentina, Bolívia, Chile, Paraguai e Uruguai), Europa e EUA, e dentre outros, grande mercado doméstico de diferentes classes econômicas (XIMENES, 2021). Entretanto, os desafios tanto para a ampliação da produção aquícola quanto de capturas são relevantes, mas passíveis de mitigação com planejamento e políticas públicas de apoio ao setor produtivo. Conforme o levantamento realizado pela Associação Brasileira da Piscicultura, em 2022 a produção brasileira de peixe de cultivo chegou a 860.355 toneladas. Esse número representa aumento de 2,3% sobre as 841.005 toneladas produzidas em 2021. Desde que a Peixe BR oficializou essas estatísticas, em 2014, a evolução da produção de peixes de cultivo já chegou a 48,6%, um acréscimo de 281.555 toneladas em nove anos. Atualmente a região Sul é o principal polo de cultivo de peixes no País. As 275.700 toneladas registradas pelos sulistas em 2022 representam praticamente um terço (32%) de todo o volume nacional de peixe. E ainda teve crescimento de 2,4% sobre as 269.300 toneladas de 2021. O Nordeste vem em seguida (170.065 toneladas), logo atrás aparece o Sudeste (159.380 toneladas), a região Norte é a quarta em volume (145.310 toneladas), e o Centro-Oeste registrou

queda de 1,6% de 2021 para 2022 e passou de 111.750 toneladas para 109.900 toneladas (PEIXEBR, 2023).

O estado do Amazonas está localizado na maior bacia hidrográfica do globo, possui uma área de 4,7 milhões de quilômetros quadrados. Sua ictiofauna de água doce é a mais diversificada do mundo, com mais de 3 mil espécies, o que representa, aproximadamente, 8% dos peixes de todo o mundo, 30% dos peixes de água doce e 75% dos peixes de água doce do Brasil, se apresentando como um dos recursos naturais mais abundantes e consumidos na região (EMBRAPA, 2022). No tocante ao setor pesqueiro, é um dos que mais gera ocupação econômica no Estado. Mais de 200 mil pessoas são envolvidas com o sistema produtivo do pescado e seus produtos e subprodutos, desde a captura, desembarque, transporte, industrialização, preparo, distribuição e venda de pescado (IDAM, 2020).

A Região Norte do Brasil produziu em 2022 um volume de 145.310 toneladas de peixes, apresentando um pequeno aumento de 0,3% relacionado ao ano anterior, quando a produção registrada foi de 144.810 toneladas (PEIXEBR, 2023). Contudo, no estado do Amazonas somente 100 espécies de peixes são exploradas comercialmente, sendo que 6% são produzidas na forma de cultivo, que são o Tambaqui (*Colossoma macropomum*), a Curimatã (*Prochilodus spp.*), a Matrinxã (*Brycon amazonicus*), o Pirarucu (*Arapaima gigas*), Piau/Piava/Piapara (*Leporinus obtusidens*, *Leporinus elongatus*) e Pirapitinga (*Piaractus brachypomuns*). Dentre essas, apenas o Tambaqui é responsável por quase 75% da produção regional (EMBRAPA, 2022). Mostra-se na Tabela 1 a produção média de peixes no estado do Amazonas entre 2016 e 2018. A piscicultura de espécies regionais da Amazônia tem crescido constantemente. Publicação do *Earth Innovation Institute*, afirma que a expansão da piscicultura na Amazônia pode reduzir consideravelmente a pressão do desmatamento impulsionado pela pecuária, ao mesmo tempo que oferece aos consumidores regionais e nacionais uma fonte de proteína saudável, de baixa emissão de carbono e alta eficiência no uso da terra (McGRATH et al., 2020).

Tabela 1. Produção (kg) média de peixes cultivados no Amazonas no período de 2016 a 2018.

Espécie	Produção (2016 – 2018)	
	kg	%
Produção total	9.311.870,00	100
Tambaqui	6.855.315,00	73,61
Matrinxã	2.244.304,00	23,77
Pirarucu	121.316,30	1,31
Curimatã	23.833,33	0,25
Piau/piava/piapara	30.315,33	0,32
Pirapitinga	36.785,00	0,39

Fonte: IBGE-Pesquisa da Pecuária Municipal (2020).

Peixes são altamente consumidos em todo o mundo. Segundo relatório da Organização Mundial para Agricultura e Alimentação (FAO) atualizado em 2020, o consumo mundial de peixes atingiu o recorde de 20,5 *kg/per capita/ano*, um crescimento de 3,1% ao ano desde 1961, quando se iniciaram as amostragens (FAO, 2022). No que se refere às regiões, a América do Norte consome 22,7 *kg/per capita/ano*, a China, maior produtora de peixe, consome cerca 40,1 *kg/per capita/ano* e a América Latina, mesmo sendo uma grande exportadora de peixe, consome apenas 9,9 *kg/per capita/ano*. No contexto nacional, o Brasil é considerado um país com alto índice de cultivo e exportação de peixe, porém possui um consumo de peixe populacional de 9,5 *kg/per capita/ano*, menor do que a média mundial. A região norte é a principal representante do consumo de peixe no contexto nacional sendo responsável pela maior parcela de consumo do pescado de água doce (38,1 *kg/per capita/ano*), apresentando um consumo maior do que a média nacional, entretanto, na região hidrográfica amazônica, o consumo de pescado pelas comunidades ribeirinhas está próximo de 180 *kg per capita/ano* (FAO, 2022; IDAM, 2020; SILVA et al., 2022).

Perspectivas da FAO para a pesca e a aquicultura projetam um aumento na produção, consumo e comércio. A urbanização, melhorias nas práticas pós-captura e as mudanças nas tendências dietéticas podem impulsionar um aumento de 15% no consumo de pescado, principalmente peixes, para fornecimento de em média 21,4 *kg per capita* ao ano até 2030 (FAO, 2022).

3.2. A pesca em Humaitá - AM

A pesca faz parte da cultura dos povos da Amazônia, representa uma importância significativa por ser uma das atividades de maior expressão cultural e econômica da região, apresentando características artesanais na maioria das localidades e comumente praticada por pessoas de ambos os sexos e de todas as idades e categorias sociais (LIMA et al., 2016).

O município de Humaitá está localizado no Sul do Estado do Amazonas (Lat. 07°30'22" S Long. 63°01'15" W), pertencente à mesorregião do sul do Amazonas e microrregião do Rio Madeira. Sua população é de 57.195 habitantes, de acordo com estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021). O rio Madeira é afluente da margem direita do Rio Amazonas, se apresenta como um dos vinte maiores rios do mundo e o terceiro maior rio do país em extensão, banhando algumas das regiões mais férteis do Brasil. Possui 3.370 km de extensão e largura média de 2 a 8 km, percorrendo os estados de Rondônia e Amazonas. É um rio propício à pesca, o que o torna importante fonte de alimento e sustento para a população da região (HERRAIZ, 2015). Um fator de grande importância para a atividade pesqueira nos rios da

Amazônia refere-se ao processo quase contínuo de subida e descida das águas que determinam quatro fases distintas: enchente, cheia, vazante e seca, conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 2. Características das fases associadas ao fluxo das águas nos rios da Amazônia

Fases dos rios	Descrição
Enchente	Ocorre entre os meses de dezembro e abril, quando a maioria das espécies forma cardume e empreende migrações para desovar na boca de igarapés ou nas margens dos rios, sendo seus ovos e larvas carregadas pela correnteza para as áreas que começam a ser inundadas.
Cheia/ Chuvosa	Dura entre maio e junho. É nela que os peixes desovados e os jovens recrutados, em fase de crescimento, se alimentam intensamente, aproveitando a farta oferta de frutos, sementes, raízes, folhas e invertebrados e outros alimentos proporcionados pela floresta inundada.
Vazante	Abrange o período de julho a setembro e nesse tempo, os peixes se agrupam para abandonar as áreas da floresta que começam a secar, iniciando a saída pelas ligações do lago com o rio e, a partir daí, pelo canal principal, em movimento de dispersão ascendente.
Seca	Entre outubro e novembro. É nessa ocasião que os peixes se tornam mais concentrado, por causa da maior vulnerabilidade à predação, assim como pela depleção de oxigênio nos corpos d'água mais rasos e sob forte influência de material em decomposição.

Fonte: Santos e Santos (2005).

Conforme a realidade regional amazônica, em Humaitá, o peixe também se apresenta como principal alimento em função de sua grande disponibilidade, sendo a maior fonte de proteína para o consumo humano no município, particularmente para as populações que habitam as margens dos rios e lagos (SOARES et al., 2018). Apesar de a pesca extrativista fornecer o alimento da população regional e ser uma das principais fontes de renda dos pescadores ribeirinhos de Humaitá – AM, uma vez que comercializam parte de sua produção a intermediários ou em feiras das vilas mais próximas, não há informações precisas sobre a quantidade produzida, comercializada ou consumida no município. Segundo Soares et al. (2018), trata-se de uma atividade difusa, praticada por milhares de pessoas e, por isso, de difícil quantificação.

3.3. Potencial nutricional dos peixes

Em relação a sua composição, o peixe é consideravelmente rico em diversos nutrientes, dos quais destacam-se diversas proteínas de origem animal, ácidos graxos de cadeia longa (mono ou poli-insaturados), vitaminas A, B2 e B12, iodo, zinco, selênio e fósforo. Devido à presença desses e outros nutrientes, estudos recentes sobre o consumo de peixes têm comprovado sua importância e seus benefícios à saúde, quando associado a uma dieta adequada e preventiva a eventuais casos de doenças cardiovasculares (GHASEMI et al, 2019; SILVA et al, 2022).

Os ácidos graxos em sua grande maioria são ácidos poli-insaturados, ditos como PUFAS (do inglês: *Polyunsaturated fatty acids*) que contemplam as famílias dos ácidos graxos conhecidos como ômega-3 (ω -3) e ômega-6 (ω -6). Estes são representados pelos ácidos graxos essenciais: α -linolênico (18:3, n-3) e linoleico (18:2, n-6). Ao serem ingeridos, ambos originam o ácido araquidônico (20:4, n-6), o ácido eicosapentaenoico (20:5, n-3, EPA) e o ácido docosahexaenóico (22:6, n-3, DHA) que são produzidos no organismo mediante os precursores ácidos linoléico e α -linolênico (JAYEDI, 2020; REKSTEN et al, 2020; SILVA et al, 2022).

Estudos evidenciam um consenso da razão entre os ácidos graxos ômega-6 (n-6) e ômega-3 (n-3) para valores que variam entre 4:1 até 5:1 (SILVA et al., 2022). Entretanto, alguns autores defendem que uma razão de até 3:1 fornece uma maior conversão do ácido alfa-linolênico em DHA. Além disso, razões entre 2:1 e 4:1 possuem grande importância para pessoas com hábitos alimentares que resultam em uma baixa ingestão de EPA e DHA. Em contrapartida, dietas com razões inferiores a 1:1 de n-6/n-3 inibem a transformação do ácido linoleico em ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (SANDSTROM et al., 2012; CRAVEIRO et al., 2016). Dessa forma, têm sido definidas diversas recomendações por órgãos de saúde, em diferentes países. Segundo a OMS e a FAO, o consumo de n-6 (ácido linoleico e ácido alfa-linolênico) e n-3 (ácido eicosapentaenoico e ácido docosahexaenóico) deve variar de 5:1 – 10:1, com uma ressalva aos indivíduos com uma proporção superior a 10:1. Ainda, de acordo com a FAO, é recomendada a ingestão de cerca de 250 g de EPA e DHA/dia para homens e mulheres não grávidas/lactantes (FAO, 2020; SILVA et al, 2022).

Os ácidos graxos poli-insaturados n-3 e n-6 têm sido estudados desde 1994, quando seus benefícios à saúde foram estabelecidos pela primeira vez. Estes ácidos graxos estão relacionados com a redução do risco de trombose em doença cardiovascular, podendo impactar positivamente nas doenças inflamatórias, na função cerebral e na saúde mental, entre uma infinidade de outros benefícios (KUS-YAMASHITA e MANCINI FILHO, 2017; HATHAWAY et al., 2020). Os ácidos graxos poli-insaturados n-3, incluindo DHA (C22:6) e o EPA (C20:5), são ácidos graxos essenciais para várias células e órgãos, como o cérebro, olhos, sistema cardiovascular, sistema imunológico e crescimento humano geral, sabe-se que as membranas neurais de nossos neurônios contêm altas concentrações de ácidos graxos poli-insaturados n-3. Também desempenham um papel importante na integridade estrutural e fluidez dos fosfolípidios da membrana celular; além disso, estes ácidos graxos influenciam na expressão gênica e são substratos para a síntese de mediadores lipídicos, como os eicosanóides (CHANG et al., 2020). Seu consumo pela dieta é fundamental, uma vez que o organismo sintetiza esses ácidos graxos em pequenas quantidades a partir do ácido α -linoléico, sendo que a principal fonte de EPA e

DHA são os pescados, destacando-se os peixes de água fria (KUS-YAMASHITA e MANCINI FILHO, 2017; CHANG et al., 2020; HATHAWAY et al., 2020; ROGERO et al., 2020).

EPA e DHA são conhecidos por desempenhar um papel fundamental na prevenção e tratamento de doença arterial coronariana, diabetes, hipertensão, artrite, e outras doenças inflamatórias e autoimunes. Estudos tem evidenciado que ácidos graxos poli-insaturados n-3 são mediadores importantes nas respostas imunes e podem amplificar as respostas anti-inflamatórias. Pesquisas recentes têm mostrado ainda que os ácidos graxos poli-insaturado n-3: EPA e DHA podem aumentar a estabilidade da membrana celular, regular a função imunológica, bloquear as reações hiper inflamatórias, e reduzir a incidência da síndrome da resposta inflamatória sistêmica, síndrome da disfunção de múltiplos órgãos e complicações da infecção com COVID-19 (DOAEI et al., 2021; KUS-YAMASHITA e MANCINI FILHO, 2022). Além disto, há evidências de que ao se incrementar cerca de 100 g por dia de peixe na alimentação, o indivíduo está propenso a ter um menor risco de mortalidade por diversas causas, dentre elas: cardiovascular, doença cardíaca coronária, infarto do miocárdio, acidente vascular cerebral, insuficiência cardíaca, depressão e câncer de fígado (WAN et al., 2017; JAYEDI, 2020; SILVA et al., 2022).

Embora o pescado consista em uma fonte rica de nutrientes importantes para a saúde humana, existe a preocupação de que esse alimento possa também ser fonte de compostos prejudiciais à saúde, dentre os quais os metais pesados, principalmente mercúrio, apresenta elevado risco a saúde pública (SOARES et al., 2018).

3.4. Bioacumulação de mercúrio em espécies ícticas e toxicologia para o ser humano

O mercúrio (Hg) é um elemento natural de ampla distribuição que está presente na superfície da terra, na água, na atmosfera e em seres vivos. Este ocorre em concentrações variadas e associado a outros elementos. O Hg é emitido para a superfície atmosférica por meio de fontes naturais como: erupção vulcânica, evaporação em solo e evaporação em água da superfície dos oceanos e fontes artificiais como: as indústrias, extração de minérios e queima de combustíveis fósseis (ANVISA, 2013; RODRIGUES et al., 2021).

Estudos sobre o ciclo biogeoquímico do mercúrio evidenciam que os teores deste metal no meio ambiente incrementaram por ação antropogênica, isto é, além das formas naturais de Hg na natureza, nos últimos cinquenta anos. Nesse sentido a atividade de mineração de ouro ganha grande destaque, uma vez que é corriqueiro o uso de Hg para formar amalgama com o ouro. O comportamento cíclico do mercúrio se dá pela sua capacidade de redução e oxidação. Uma vez na atmosfera, esse metal pode ser transportado por longas distâncias até depositar no solo ou em

sistemas hídricos. Tal mobilidade é o que permite classificar o mercúrio como um poluente global (RIBEIRO et al., 2022). A Figura 1 apresenta as transformações químicas do mercúrio e a transferência entre organismos que podem ocorrer ao longo do ciclo biogeoquímico deste elemento.

O mercúrio, ao entrar nas águas dos grandes rios amazônicos, sofre alteração na sua forma química, que passa de Hg inorgânico para orgânico - o metilmercúrio (MeHg). Esse processo é chamado de metilação e ocorre gradativamente. Na Amazônia, o Hg presente no solo é transportado para as bacias dos rios da região, se converte em metilmercúrio e bioacumula-se no tecido muscular dos peixes, de modo que aumenta a concentração de metilmercúrio, conforme a posição mais elevada na cadeia trófica. Isso torna a ingestão de peixes o principal meio de contaminação humana para a forma química mais tóxica do mercúrio (MeHg) (MENDES et al., 2020).

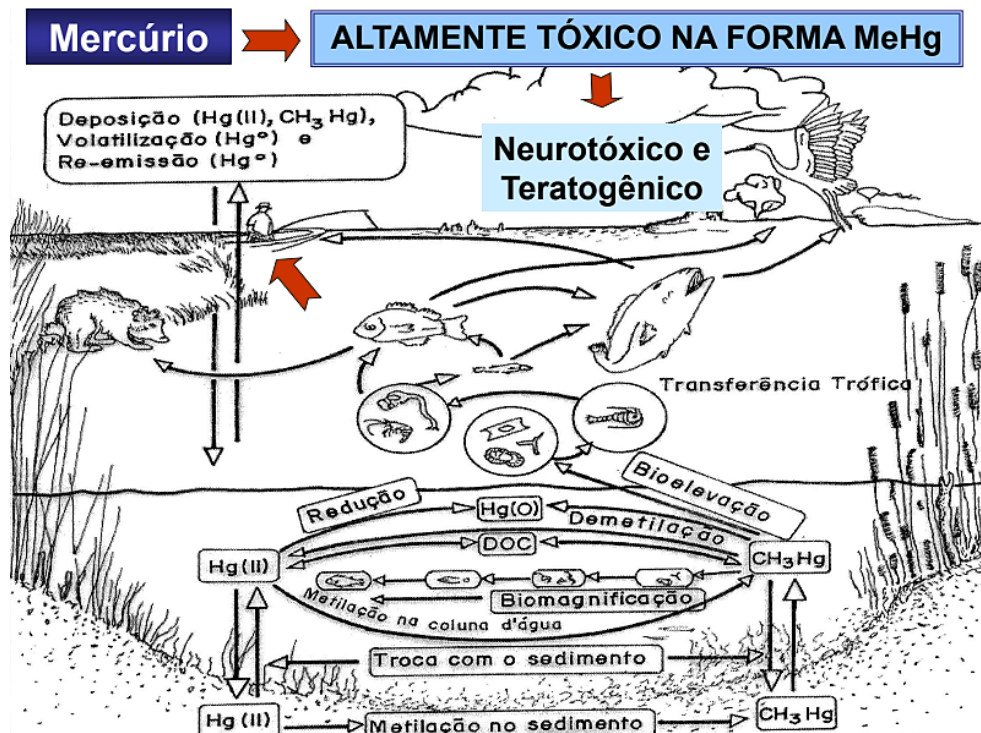


Figura 1. Esquematização do ciclo biogeoquímico do mercúrio (CASTILHOS, 2009).

A alta toxicidade do mercúrio ocorre pelo fato dele não sofrer degradação ambiental, implantando-se na cadeia alimentar aquática onde passa pelo processo de biomagnificação, sendo mais significativa e contundente nos organismos no topo da cadeia. O processo acumulativo envolve a bioconcentração, a bioacumulação e a biomagnificação. A bioconcentração é o processo de absorção de substâncias químicas por meio das superfícies dérmicas e respiratórias, sendo que esta não apresenta ligação com a exposição alimentar ao

contaminante. A bioacumulação ocorre a nível de tempo e representa o aumento da concentração de uma substância nos tecidos ou órgãos dos organismos a medida cronológica em que permanecem em ambiente contaminado. O processo de biomagnificação consiste na transferência de metilmercúrio através dos níveis tróficos por ingestão direta dos alimentos contaminados, como sendo o modo de transferência de uma substância química xenobiótica, resultando normalmente em concentrações mais altas no organismo do que na fonte alimentar (SOUZA; BASTISTA; BERNSTEIN, 2014).

Assim, os peixes não carnívoros ou herbívoros alimentam-se de algas e plâncton e contaminam-se com o mercúrio orgânico (MeHg). O mercúrio orgânico passa para os peixes carnívoros ao se alimentarem com os peixes não carnívoros. Os peixes carnívoros são os mais consumidos pelos indígenas e ribeirinhos, que se contaminam com o MeHg ao se alimentarem com sua principal fonte proteica (LUSTOSA et al., 2022). Nesse âmbito, a principal via de exposição ao mercúrio entre as comunidades especificadas é por intermédio da ingestão de alimentos contaminados, mais precisamente os peixes, alimento este considerado um dos principais na dieta dessas populações. Nesse sentido, observa-se a relação direta entre alto consumo de pescado e elevados índices de mercúrio no corpo humano. Logo, por possuir o pescado como principal fonte proteica, os povos indígenas e comunidades ribeirinhas encontram-se expostas à intoxicação por mercúrio (COSTA JÚNIOR et al., 2018).

Devido ao fato de os peixes serem um item comum na dieta humana, limites de tolerância foram estabelecidos na legislação por agências de saúde de diversos países. Regulamentos vigentes estabeleceram que as concentrações máximas permitidas de mercúrio total são 0,5 mg/kg para peixes não predadores e 1 mg/kg para peixes predadores, segundo as normativas Brasileira (ANVISA, 2021), Europeia (EC, 2006) Canadense (CANADA, 2020), Indiana (FSSR, 2011), Mexicana (DOF, 2009) e da Organização Mundial de Saúde (CODEX, 2019 para quatro espécies específicas de peixes marinhos, *Thunnus thynnus*; *Beryx dodecadactylus*; *Makaira nigricans*; *Selachimorpha*).

Para os seres humanos a forma mais tóxica do mercúrio é o metilmercúrio, que causa efeitos neurotóxicos, o mercúrio inorgânico também tóxico, apresenta maior patogenicidade no sistema renal e fígado (CUSTÓDIO et al., 2020). Os níveis tóxicos de mercúrio que geram efeitos adversos a saúde humana atingem principalmente o sistema nervoso, podendo provocar disfunções musculares e nervosas, nas quais os danos podem acarretar consequências irreversíveis ou mesmo fatais para a saúde do indivíduo. O metilmercúrio que é a forma orgânica do mercúrio encontrada no pescado, quando gera uma exposição aguda nos seres humanos pode ocasionar debilidade, fadiga, perda de peso, taquicardia, tonturas, surdez, constrição do campo visual, coma, além de outros danos ao sistema nervoso, existindo ainda a possibilidade de óbito.

O metilmercúrio pode ainda provocar intoxicação crônica, sendo caracterizada por distúrbio da sensibilidade nas extremidades, ansiedade, depressão, insônia, podendo aumentar o risco para doenças cardiovasculares (GOMES et al., 2021). A Tabela 3 apresenta resultados de estudos sobre como a contaminação de populações indígenas e ribeirinhas pelo consumo dos peixes contendo mercúrio orgânico (MeHg), pode afetar a saúde destes povos.

Tabela 3. Patologias ocasionadas pelo mercúrio entre populações indígenas e ribeirinhas.

Sistema Nervoso Central	Neurotoxicidade e neurodegeneração associada à moléstia de Parkinson, Alzheimer, comprometimento da cognição, comprometimento da visão, dificuldade no aprendizado, dor de cabeça, tontura e vertigem, depressão, distúrbios sensoriais, comprometimento motor, fraqueza, fadiga, paralisias e parestesias, epilepsia, demência ou problemas psicóticos, comprometimento da audição.
Sistema Renal	Nefrotoxicidade levando à perda da função dos rins.
Genotoxicidade	Dano ao DNA (mutações), dano mitocondrial, maior susceptibilidade à doença de Alzheimer e desregulação da expressão gênica.
Carcinogênese e Teratogênese	Tumores malignos e mal formações fetais.
Órgãos Hepático e Gástrico	Disfunções no fígado e trato digestivo.
Pele	Prurido, dermatite, erupção eritematosa, ulceração e acrodinia.
Sistema Vascular	Distúrbio vascular, infarto do miocárdio, miocardiopatias, arritmias, aterosclerose, pressão arteriolar irregular, hipertensão arterial.
Sistema Imune	Autoimunodisfunção, imunotoxidade, vulnerabilidade ao lúpus sistêmico, apoptose dos tímócitos e inflamação sistêmica.
Sistema Reprodutivo	Impotência, redução da mobilidade e do número de espermatozoides e desordem menstrual.
Sistema Respiratório	Dano pulmonar, pneumonite e bronquite necrotizante

Fonte: VIEIRA FILHO (2021).

É importante ressaltar que o grau de exposição ao mercúrio depende principalmente da frequência da inclusão de pescado na sua alimentação. No entanto, alguns fatores como a idade, o ciclo de vida, peso e sua posição na cadeia trófica também influenciam a biomagnificação de mercúrio nos peixes (RODRIGUES et al., 2021). Considerando o efeito neurotóxico, o Comitê Conjunto da FAO (Organização para Alimentação e Agricultura das Nações Unidas) da OMS (Organização Mundial de Saúde) e o JECFA (Especialistas em Aditivos Alimentares e Contaminantes) estabeleceram um valor de ingestão semanal tolerável provisória (PTWI) para o metilmercúrio de 1,6 µg/kg de peso corpóreo (JECFA, 2007). A PTWI corresponde a quantidade de uma substância que pode ser consumida semanalmente durante uma vida inteira sem risco considerável à saúde, é utilizada para contaminantes alimentares, como por exemplo os metais com propriedades cumulativas, como o mercúrio (WHO/ UNEP, 2008).

De acordo com o Sistema Integrado de Informação de Risco (IRIS) e a Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos da América, é recomendado que seja evitada a ingestão de peixes com concentração de Hg superior a 0,46 mg/kg, e que a ingestão de peixes com níveis mais baixos de mercúrio seja limitada a porções de aproximadamente 110 g antes do preparo, no máximo três vezes por semana (USEPA, 2017; COSTA et al., 2020). Já na União Europeia, a EFSA (*European Food Safety Authority*) considerou como adequado o PTWI de 1,3 µg/kg de peso corporal, recomendando de 3-4 porções e 1-2 porções semanais de peixes para adultos e crianças, respectivamente, a fim de reduzir o risco de doenças cardiovasculares e a melhoria do neurodesenvolvimento (EFSA, 2015). A diferença nos limites máximos de PTWI do mercúrio estabelecidos entre diferentes órgãos avaliadores de risco se dá pelo fato de que, apesar de as concentrações de Hg no alimento serem importantes, a frequência de consumo também é fator primordial a ser avaliado. E populações com distintas culturas e hábitos, implicam diferentes cenários do consumo de peixe, apresentando maior ou menor acúmulo. Dessa forma, regiões que tenham alto consumo de peixe devem ter os limites máximos reduzidos. Ao mesmo tempo que, mesmo dentro dos limites estabelecidos pela legislação, uma população com alto consumo poderá apresentar uma alta taxa de acúmulo de Hg no organismo (MILHOMEM FILHO et al., 2016).

Ao avaliar resultados de estudos sobre a ingestão de peixes e exposição alimentar ao mercúrio na Amazônia, os limites apresentados não representam o consumo das populações da região amazônica, que dependem do peixe como principal fonte de proteínas. Como já mencionado anteriormente, segundo IDAM (2020), em comunidades ribeirinhas tradicionais do estado do Amazonas, o consumo de peixe pode chegar a 500 gramas por dia, o maior do mundo. O hábito alimentar das populações ribeirinhas apresenta estreita relação com a dinâmica do ciclo das águas (enchentes e vazantes), dessa forma, nesse grupo populacional, a ingestão alimentar pode ser considerada monótona, pois encontra-se alicerçada na farinha de mandioca e nos peixes e está baseada quase que inteiramente no extrativismo. Nesta população o consumo de peixe é a principal forma de exposição ambiental ao mercúrio, conseqüentemente, sabe-se que populações com alto consumo apresentam maiores concentrações de mercúrio no organismo e maiores são as chances de efeitos patogênicos provenientes desse metal (GAMA et al., 2020).

3.5. Ocorrência de mercúrio em peixes de água doce

Peixes são considerados bons indicadores para avaliação da poluição crônica de efluentes, se tornando um reflexo da variabilidade ambiental local (VIEIRA FILHO, 2021). Neste sentido estudos têm utilizado peixes para avaliação de contaminação por mercúrio, visto

que o entendimento das concentrações de Hg orgânico e inorgânico nos peixes pode resultar em um grande avanço no esclarecimento dos processos e parâmetros que possam estar influenciando a biodisponibilidade e a absorção do Hg pela biota. Assim, estudos que monitorem Hg para peixes de água doce, especialmente da região amazônica onde além das formas naturais de mercúrio na natureza, formas de depósito antropogênicas tem sido cada vez mais incidentes, são de grande importância. Uma vez que, o grau de ocorrência deste elemento afeta de maneira drástica a saúde de cursos de águas e de povos que dependem dos alimentos fornecidos pelos rios e sistemas de produção.

Ao quantificar o mercúrio total em peixes amazônicos populares ao consumo como o Pacu, Curimatã, Jaraqui, e Sardinha do rio Madeira - AM e estimar a exposição ao metilmercúrio no consumo destes peixes Soares et al. (2018) (Tabela 4) identificaram que os níveis de mercúrio total variaram de 0,010 a 0,460 $\mu\text{g/g}$, com maiores medianas na Sardinha (0,240 $\mu\text{g/g}$), seguido de Curimatã (0,160 $\mu\text{g/g}$), Jaraqui (0,130 $\mu\text{g/g}$) e Pacu (0,040 $\mu\text{g/g}$), correspondendo aos respectivos hábitos alimentares ao longo da cadeia trófica. Os níveis totais de mercúrio nos peixes cumpriram a legislação, no entanto, as exposições ao metilmercúrio provenientes do consumo destes peixes ultrapassaram a dose de referência de ingestão segura de sardinha para os amazonenses. Ainda, para as comunidades ribeirinhas, todos os peixes analisados causariam potencial risco a saúde considerando a taxa de ingestão deste alimento na região.

Tabela 4. Teores máximos de mercúrio encontrados em peixes de água doce.

REFERÊNCIA	Local	N Peixes	Hg Total máximo ($\mu\text{g/g}$)
Soares et al. (2018)	Rio Madeira - AM	384 (4 espécies)	0,460
Custódio et al. (2020)	Rio São Francisco, rio Tocantins, rio Amazonas, e costa brasileira.	113 (18 espécies)	0,930
Silva e Lima (2020)	Região do Alto Solimões - AM	169 (20 espécies)	0,947
Hacon et al. (2020)	Rios: Cassiporé; Amapá Grande; Oiapoque; Araguari; Amapari - AP	428 (45 espécies)	0,680
Vasconcelos et al. (2021)	Itaituba - Trairão - PA	88 (17 espécies)	1,951
Donadt et al. (2021)	Canadá	237 (4 espécies)	0,831
Munir et al. (2021)	Paquistão	24 (5 espécies)	0,326
Gomes et al. (2021)	Três Marias - MG	311 (13 espécies)	0,415

O trabalho de Hacon et al. (2020) realizado no Estado do Amapá, especificamente nos rios: Cassiporé, Amapá Grande, Oiapoque, Araguari, e Amapari, demonstrou que todas as 428

amostras analisadas no estudo apresentaram teores detectáveis de mercúrio, sendo que 28,7% excederam o limite de mercúrio da Organização Mundial da Saúde - OMS (0,5 µg/g) para consumo humano. A concentração de Hg nos peixes ultrapassou o limite estabelecido em 77,6% dos carnívoros, 20% dos onívoros e 2,4% de herbívoros. Constatou-se que os teores de mercúrio total nos três grupos tróficos avaliados estavam acima da dose de referência aceitável de 1,6 µg/kg/semana, apontando para os elevados riscos à saúde associados ao consumo de peixes na área de estudo. Ainda sobre esse estudo, quatro das sete espécies com as maiores concentrações de Hg estão entre as mais consumidas na região.

Vasconcelos et al. (2021) conduziram pesquisa na Terra Indígena Sawré Muybu, nos municípios de Itaituba e Trairão, no estado do Pará. Ao avaliarem 17 espécies de peixes de quatro níveis tróficos, os resultados apontaram que três destas espécies apresentaram níveis médios de mercúrio acima de 0,5 µg/g, sendo todas estas carnívoras. Os níveis médios de mercúrio em amostras de peixes não piscívoros foi de 0,10 µg/g e a média para os peixes piscívoros foi de 0,44 µg/g. Através da aplicação de um questionário, foi constatado que 96% das famílias consomem pescado regularmente três vezes por semana. As estimativas de ingestão de Hg apontaram que a ingestão diária do metilmercúrio excede a referência da EPA dos EUA (USEPA, 2012) em dose de 3 a 25 vezes, e de 11 vezes conforme a recomendação de dose diária da FAO/WHO (2008). Esses resultados indicam que, neste período, o consumo de pescado não era seguro para esta população.

O estudo de Gomes et al. (2021) realizado no Reservatório Três Marias em Minas Gerais, Brasil, analisou a bioacumulação de mercúrio nos tecidos muscular e hepático de 13 espécies de peixes. Foi observado que as espécies carnívoras *Serrasalmus brandtii* (pirambeba, piranha branca ou piranha cachorro) e *Pygocentrus piraya* (piranha preta) foram as que apresentaram maiores concentrações médias de mercúrio no tecido muscular. Justificando esta tendência relacionada à capacidade de biomagnificação deste metal ao longo da cadeia alimentar, onde as espécies predadoras, por estarem no topo da cadeia, tendem a acumular mais mercúrio nos tecidos, representando maior risco de contaminação ao homem.

3.6. Métodos analíticos empregados na determinação de mercúrio em amostras de peixes

A determinação de Hg em peixes possui certa dificuldade devido ao fato de a maior parte dos teores deste elemento estar fortemente ligada a matéria orgânica, sendo necessário a digestão e mineralização da porção muscular ou visceral da amostra. Os métodos analíticos mais utilizados na determinação de mercúrio total (HgT) são os métodos colorimétricos, fluorimétricos, por espectrometria de absorção atômica por vapor frio (EAS-VF), absorção

atômica por ativação de nêutrons e espectrometria de absorção atômica de combustão após amalgamação em ouro. Para metilmercúrio (MeHg) os métodos mais utilizados são a cromatografia gasosa com detector de captura de elétrons, espectrometria de absorção atômica por ativação de nêutrons, espectrometria de fluorescência atômica, espectrometria de massa acoplada com plasma e espectrometria de absorção molecular (SANZ-MEDEL et al., 2002). No entanto a técnica de espectrofotometria de absorção atômica de combustão utilizando amalgamação em ouro apresenta maior eficácia sobre os demais por ser uma análise direta (sem digestão ácida do material biológico), ser mais rápida por não gerar resíduos tóxicos e utilizar quantidade mínima de tecido íntegro para a dosagem do teor de mercúrio total (CIZDZIEL et al., 2002; SOARES et al., 2018; CUSTÓDIO et al., 2020).

No Brasil, o monitoramento dos contaminantes inorgânicos em produtos de origem animal é realizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), seguindo as diretrizes do Plano Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes (PNCRC) que é um programa federal de inspeção e fiscalização de alimentos que visa verificar a presença de resíduos de substâncias químicas potencialmente nocivas à saúde do consumidor, como resíduos de medicamentos veterinários, de agrotóxicos ou afins, de contaminantes ambientais e de contaminantes inorgânicos, os metais dentre eles, o mercúrio (BRASIL, 2022).

A Instrução Normativa N.º 42, de 20 de dezembro de 1999, determina que as análises de mercúrio em pescados sejam realizadas na matriz músculo, utilizando como método analítico a Espectrofotometria de Absorção Atômica (BRASIL, 1999). Entretanto, a *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) recentemente determinou a utilização do método 7473, que utiliza a espectrometria de absorção atômica de combustão após amalgamação em ouro. Este método destina-se à determinação de mercúrio total (orgânico e inorgânico) em sólidos, amostras aquosas e soluções digeridas. Neste método (Figura 2) o aquecimento controlado em um forno de decomposição oxigenado é usado para liberar mercúrio de amostras sólidas e aquosas. A amostra é seca e, em seguida, térmica e quimicamente decomposta dentro do forno de decomposição. Após decomposição os produtos são transportados por fluxo de oxigênio para a seção catalítica do forno e então transportados para uma amálgama que retém seletivamente o mercúrio. Depois que o sistema é carregado com oxigênio para remover quaisquer gases remanescentes ou produtos de decomposição, a amálgama é rapidamente aquecida, liberando vapor de mercúrio. O oxigênio que flui transporta o vapor de mercúrio através de células de absorbância posicionadas em um comprimento de onda do espectrofotômetro de absorção, onde o pico é medido em função da concentração de mercúrio (USEPA, 2007).

Esta técnica permite introduzir amostras líquidas ou sólidas sem qualquer etapa de preparo (diluição ou dissolução) e, dessa forma o limite de detecção pode ser até cem vezes menor que nas técnicas convencionais, sendo dependente diretamente da quantidade de amostra utilizada. Em amostras que possuem altos teores de material orgânico, a massa utilizada não deve ultrapassar 100 mg, pois pode ocorrer a geração de uma quantidade muito grande de gases e aumentar a pressão rápido demais dentro do forno.

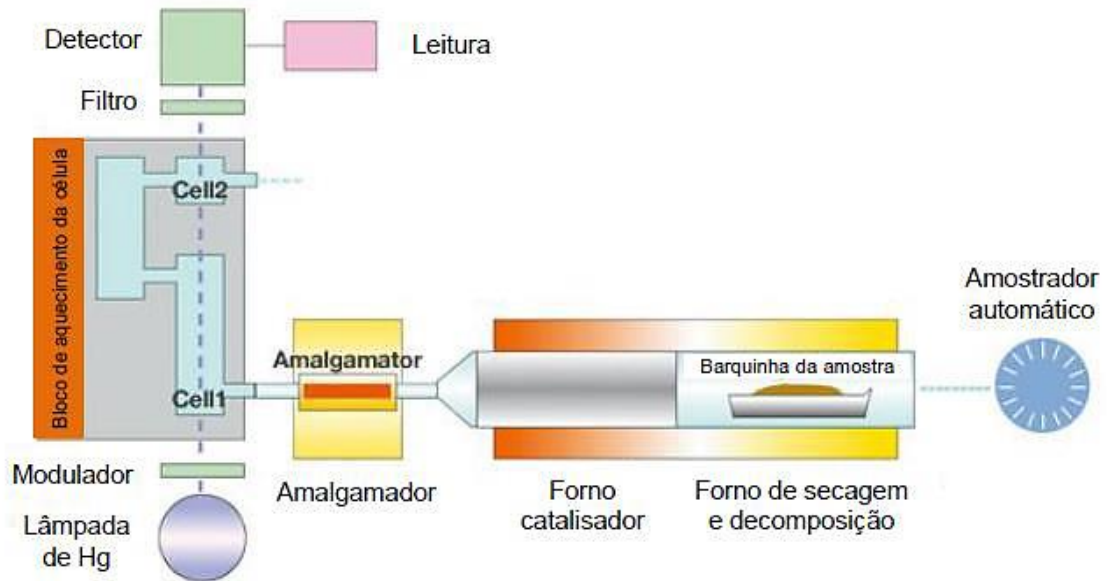


Figura 2. Representação esquemática equipamento DMA-80 (Milestone) (TORRES et al., 2012).

O DMA apresenta uma faixa de trabalho de 0,1 ng até 500 ng de Hg, obtida pela passagem do Hg por três celas de absorção posicionadas no caminho ótico de duas lâmpadas de Hg. Porém, uma desvantagem dessa técnica é o longo tempo requerido para calibração do instrumento, em torno de oito horas. Após a calibração, o DMA pode ser utilizado por vários dias sem a necessidade de nova calibração, que geralmente deve ser feita somente após a substituição de algum componente, como o catalisador, por exemplo (FLÓREZ et al., 2023).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

4.1.1. Amostras

Foram coletadas 103 amostras de peixes das espécies Matrinxã (*Brycon falcatus*) n=24; Pacú (*Mylossoma duriventre*) n=24; Tambaqui (*Colossoma macropomum*) n=24; Jatuarana

(*Brycon amazonicus*) n=24; e Pescada (*Plagioscion squamosissimus*) n=7; populares no mercado municipal de Humaitá, AM e altamente consumidos no município. As amostras estavam expostas em bancadas e foram coletadas em quatro diferentes bancas e em dois horários distintos (entre 7:00 e 8:00 h e 10 e 12:00 h). As amostras foram coletadas em duas épocas do ano (períodos de seca e de cheia) nos anos de 2021 e 2022 conforme indicado na Tabela 5. Com exceção apenas para a Pescada que não foi encontrada para coleta no período de cheia, estação que coincide com o período de migração reprodutiva de várias espécies de peixes Perciformes.

Tabela 5. Espécies de peixes, origem e época de coleta das amostras no município de Humaitá, AM.

Peixe	Origem	Época da coleta
Jatuarana	Rio Madeira	Cheia – Março a Abril Seca – Junho a Julho
Tambaqui	Cultivo	Cheia – Março a Abril Seca – Junho a Agosto
Matrinxã	Rio Madeira	Cheia – Março a Abril Seca – Junho a Setembro
Pacu	Rio Madeira	Cheia – Abril Seca – Julho a Setembro
Pescada	Rio Madeira	Seca – Setembro

No momento da coleta, a temperatura dos peixes foi registrada. As amostras foram colocadas em recipiente isotérmico com gelo seco e imediatamente transportadas ao laboratório de química do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA) para classificação, processamento e análise. A identificação das espécies dos peixes foi confirmada aplicando descrições taxonômicas relacionadas ao peixe inteiro (BRASIL, 2022). Em seguida os peixes foram medidos, com régua e pesados em balança semianalítica. Posteriormente os peixes foram eviscerados, e filetados. As amostras de Tambaqui foram adquiridas na forma de filé, em função do grande tamanho destes peixes, não havendo possibilidade da realização das etapas descritas anteriormente. As amostras dos peixes foram então trituradas, homogeneizadas e divididas em porções para a determinação da qualidade físico-química: pH e bases voláteis totais. Uma outra porção foi rapidamente congelada e transportada sob congelamento para determinação de mercúrio nos Laboratórios da Faculdade Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), onde foram mantidas congeladas até o momento da análise.

4.1.2. Reagentes e soluções

Todos os reagentes utilizados eram de grau analítico (p.a.). Foram utilizados ácido nítrico ultrapuro, obtido a partir da destilação de ácido nítrico (p.a.) Merck em sistema de purificação *sub-boiling*, solução de mercúrio 1002 ± 3 mg/L em HNO₃ 5%, com certificado de material de referência (*Inorganic Ventures*), e água ultrapura (Milli-Q System Milipore Corp., Milford, MA, EUA).

4.1.3. Equipamentos

Os equipamentos utilizados foram: balança analítica BP221S (Sartorius, Göttingen, Alemanha); DMA-80 Direct Mercury Analyzer acoplado aos filtros de ar DD12 e PD12 (Atlas Copco, Örebro, Suécia) e ao filtro Centurium (Arprex, Rio de Janeiro, Brasil); purificador de água Direct-Q 3 UV (Millipore Corp., Milford, MA, EUA); purificador de água Sistema Osmose Reversa 6842-210 (Quimis, São Paulo, Brasil); e Ultra freezer CL374-80V (Coldlab, Piracicaba, Brasil).

4.2. Métodos de análise

4.2.1. Análises físico-químicas

As análises físico-químicas de pH e bases voláteis totais das amostras foram realizadas de acordo com o Manual de Métodos para Análise de Pescados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2009) publicado em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2009).

4.2.1.1. Determinação do pH

Para a determinação do pH foram pesados 10 g da amostra, adicionados 40 mL de água destilada e realizada uma homogeneização. O eletrodo do potenciômetro foi introduzido na amostra e após estabilização, a leitura foi registrada (KIRSCHNIK, 2007). Antes da determinação, o potenciômetro foi devidamente calibrado com soluções tampão.

4.2.1.2. Determinação de bases voláteis totais

Para a determinação das bases voláteis totais foi utilizado o método apresentado por Contreras-Gúzman (1988), que se baseia na extração de materiais solúveis presentes no músculo, com o ácido tricloroacético (TCA), o qual precipita as proteínas e deixa os compostos nitrogenados em solução. Foram pesados 20 g de músculo triturado e transferidos para um béquer, acrescentou-se 120 mL de TCA a 5%, foi feita homogeneização por 5 minutos e se deixou decantar por 30 minutos. Posteriormente, filtrou-se em funil de vidro com filtro de papel. Mediu-se então 20 mL do filtrado, o qual foi transferido para um tubo digestor de proteínas (em duplicata), acrescentou-se 1 g de óxido de magnésio (MgO), colocando o tubo digestor no aparelho micro-Kjeldahl. O material foi destilado até obter aproximadamente 70 mL de destilado. Em seguida, foi realizada titulação com HCl (0,01 N) até a cor azul virar para rosa claro, anotando-se o volume de ácido gasto. Os resultados para as bases voláteis totais (BVT) foram calculados segundo a equação 1 e os resultados foram expressos em mg N/100 g de músculo.

Equação 1.

$$BVT = \frac{mL \text{ de HCl} \times N \times 14 \times 00 \times 134}{20 \times 20}$$

sendo: mL de HCl o volume de ácido gasto na titulação, N é a normalidade do HCl, e 134 corresponde à fração líquida total que estaria contida em 20 g de peixe extraídos com 120 mL de TCA. Considera-se que, em média, a carne de peixe tenha 70 % de água, logo, 20 g contribuiriam com 14 g de água, que somada a 120 mL resulta em 134 mL de fração líquida total.

4.2.2. Determinação de mercúrio total

O mercúrio total no tecido muscular das amostras foi analisado baseado no método 7473 da *Environmental Protection Agency* (USEPA, 2007), que utiliza a espectrometria de absorção atômica de combustão após amalgamação em ouro, sendo aqui utilizado o Analisador Direto de Mercúrio (DMA-80, Milestone, Sorisole, Itália). Dois tipos de barcas foram utilizados, as de níquel e as de quartzo.

As amostras de peixes foram descongeladas a temperatura ambiente e pesadas, em triplicatas, diretamente em barcas de níquel previamente lavadas com detergente neutro, água corrente e água ultra-pura descontaminadas termicamente a 600 °C no DMA-80. Não foi

estabelecida uma massa fixa, porém o peso das amostras variou entre 0,0100 e 0,1100 g dependendo da concentração detectada na primeira réplica.

Para construção da curva analítica foi utilizada uma solução padrão de mercúrio 1002 ± 3 $\mu\text{g/mL}$ em HNO_3 5%, com certificado de material de referência (*Inorganic Ventures - Virginia*) e água ultrapura. A partir da solução padrão de mercúrio foi preparada a solução padrão intermediária I na concentração de 10 $\mu\text{g/mL}$. Desta, foi preparada uma solução padrão intermediária II na concentração de 0,05 $\mu\text{g/mL}$. Foram pipetados diretamente nas barcas de quartzo 20 μL ; 50 μL ; 80 μL ; 110 μL ; 140 μL ; e 170 μL da solução padrão intermediária II de mercúrio 0,05 $\mu\text{g/mL}$ para cada uma das 3 replicatas independentes para a curva analítica nos pontos 1,0; 2,5; 4,0; 5,5; 7,0 e 8,5 ng de mercúrio, respectivamente. A curva analítica foi construída no próprio equipamento e o coeficiente de correlação linear (R^2) foi 0,9983. Uma barca de níquel vazia foi analisada periodicamente para se certificar de que o mercúrio não estava sendo transportado entre as amostras. As leituras em branco foram tipicamente $<0,01$ unidades de absorvância, correspondendo a $<0,01$ ng de Hg.

Após o tecido muscular ter sido adicionado à barca de níquel, esta foi introduzida no Analisador Direto de Mercúrio (DMA-80 Milestone, Sorisole, Itália) e deu-se início aos processos automatizados de secagem, decomposição e leitura espectrométrica, utilizando ar comprimido filtrado para carrear os produtos da decomposição. As temperaturas e tempos de secagem e decomposição utilizados foram, respectivamente, 250 °C/60 segundos e 650 °C/120 segundos. O tempo de aquecimento do amalgamador foi o padrão (12 segundos), para que ocorresse a liberação do vapor de mercúrio para o detector. As concentrações de mercúrio total expressos em mg/kg foram obtidas por interpolação das leituras de absorvância a 253,7 nm nas curvas analíticas externas construídas na faixa de 1 a 8,5 ng de mercúrio (CUSTÓDIO et al., 2020).

4.3. Avaliação da exposição alimentar do metilmercúrio pelo consumo de peixes

A exposição alimentar crônica ao metilmercúrio presente em peixes foi calculado pelo modelo determinístico (IOMC, 2008), utilizando a equação 2.

Equação 2.

$$\text{Exposição} = \frac{\text{Concentração média de metilmercúrio } (\mu\text{g/kg}) \times \text{Quantidade semanal consumida (kg)}}{\text{Peso corpóreo (Kg)}}$$

O teor de metilmercúrio foi calculado considerando que 100% do mercúrio total no peixe estava na forma de metilmercúrio (IOMC, 2008; CUSTÓDIO et al., 2020). Foi utilizado o peso corpóreo estabelecido pela *Inter-Organisation Programme for the Sound Management of Chemicals* (IOMC, 2008), de 60 kg para adultos.

A estimativa de ingestão semanal para cada espécie de pescado foi calculada usando os valores médios de metilmercúrio total para cada espécie e a média de todas as espécies estudadas, considerando o consumo per capita no Brasil, no estado de Amazonas e em especial para as populações ribeirinhas do Rio Madeira -AM, onde o pescado tem consumo *per capita* elevado. O consumo utilizado foi de 4,8 kg *per capita*/ano (91,7 g por semana) para o brasileiro em geral; de 16,4 kg *per capita*/ano (315 g por semana) para os indivíduos da região norte, de acordo com a Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017-2018 (IBGE, 2020); e de 180 kg *per capita*/ano para as comunidades ribeirinhas na Amazônia central equivalendo a 3,462 kg semanais segundo o Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas (IDAM, 2020). Os valores de ingestão estimados foram comparados à referência toxicológica do JECFA (2007) de ingestão semanal tolerada provisória (PTWI) de 1,6 µg/kg de peso corporal (pc) para o efeito neurotóxico do metilmercúrio.

4.4. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a teste de normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Para os parâmetros que seguiram uma distribuição normal, foi feita análise de variância – ANOVA e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com $p \leq 0,05$ usando o Minitab® (v. 16.2.3). Para os dados não paramétricos, as medianas foram comparadas pelo teste de Kruskal-Wallis por comparação pareada com $p \leq 0,05$, corrigida pelo teste de Bonferroni. Foi utilizado o Software IBM SPSS Statistics Version: 29.0.0.0 (241).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Identificação das espécies

A identificação das espécies dos peixes amostrados foi realizada aplicando descrições taxonômicas relacionadas ao peixe inteiro (BRASIL, 2022) e confirmada no sistema global de informação sobre biodiversidade em peixes (FISHBASE, 2023) conforme descrito na Tabela 6.

Tabela 6. Classificação taxonômica das cinco espécies de peixes analisadas do rio Madeira, no município de Humaitá - AM.

Nome Popular	Família	Nome Científico	Família, Classe, Ordem	Hábito Alimentar	Nível trófico
Jatuarana	Bryconidae	<i>Brycon amazonicus</i>	Characidae, Actinopterygii Characiformes	Onívoros	3,0
Tambaqui	Serrasalimidae	<i>Colossoma macropomum</i>	Serrasalimidae Actinopterygii Characiformes	Onívoros	2,2
Matrinxã	Bryconidae	<i>Brycon falcatus</i>	Characidae, Actinopterygii Characiformes	Onívoros	2,7
Pacu	Serrasalimidae	<i>Mylossoma duriventre</i>	Serraslamidea Actinopterygii Characiformes	Herbívoro	2,1
Pescada	Sciaenidae	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Sciaenidae, Actinopterygii Perciformes	Piscívoro	4,4

Fonte: FISHBASE, 2023.

Os peixes eram de diferentes espécies, e pertenciam a diferentes famílias, exceto Jatuarana e Matrinxã, sendo ambos da família Characidae. A maioria dos peixes era da Ordem Characiformes, exceto a Pescada, que pertence a ordem Perciformes. O hábito alimentar dos peixes amostrados também variou, sendo Jatuarana, Tambaqui e Matrinxã onívoros, ou seja, consomem frutas, grãos, zooplânctons, insetos, caracóis e plantas em decomposição. Estes peixes possuem níveis tróficos 3,0; 2,2; e 2,7, respectivamente. O Pacu é herbívoro, nível trófico 2,1 e se alimenta de frutos, flores e sementes. A Pescada é piscívora, nível trófico 4,4; os juvenis se alimentam de larvas de crustáceos, insetos aquáticos e copépodes, e os adultos se alimentam de peixes menores. Os níveis tróficos expressam onde os peixes tendem a operar em suas respectivas teias alimentares, assim, um consumidor primário que consome principalmente plantas/detritos (herbívoros) pode ter valores de nível trófico entre 2,00 e 2,19. Peixes que são parcialmente herbívoros e parcialmente carnívoros, ou seja, onívoros que consomem plantas/detritos e animais, podem ter níveis tróficos entre 2,2 e 3,0 e os predadores que consomem principalmente outros animais (carnívoros) podem ter níveis tróficos iguais ou superiores a 3,1 (FISHBASE, 2023).

5.2. Características físicas dos peixes

5.2.1. Características físicas globais

Os resultados dos valores mínimos, máximos, medianas e médias referentes ao tamanho, peso e temperatura das amostras dos peixes analisados são apresentados na Tabela 7. Observa-se que os resultados do peso e temperatura seguiram distribuição normal, sendo suas médias comparadas pelo teste de Tukey ($p = 0.05$). Por outro lado, os resultados de tamanho não seguiram distribuição normal, assim as respectivas medianas foram comparadas pelo teste de Kruskal-Wallis por comparação pareada com $p = 0,05$, corrigida pelo teste de Bonferroni. Observa-se que os peixes Jatuarana e Matrinxã apresentaram tamanhos significativamente maiores comparado ao Pacu. E a Pescada apresentou medianas intermediárias, não diferindo dos peixes maiores e nem do menor. Para o Tambaqui as amostras foram adquiridas na forma de filé, em função do grande tamanho destes peixes, não sendo possível registrar o tamanho original. Com relação aos pesos, o tambaqui apresentou peso significativamente maior que o Jatuarana, que, por sua vez, era significativamente maior que o Pacu e a Pescada. Matrinxã teve peso intermediário, não diferindo de Jatuarana e nem de Pescada.

O peso e tamanho das amostras das cinco espécies de peixes analisadas foram comparadas a valores de referência de estudos citados no Sistema Global de Informação sobre Peixes (FISHBASE, 2023). As amostras de Pescada apresentaram um comprimento mediano de 28,8 cm, e peso médio de 520,1 g. O tamanho máximo deste peixe registrado em estudos é de 80,0 cm, e o peso máximo publicado de 4,5 kg (CASATTI, 2003). O valor mediano do comprimento das amostras de Pacu foi de 17,1 cm e peso médio equivalente a 273,98 g. O comprimento máximo já publicado é de 25,0 cm, e peso máximo de 1,0 kg (JÉGU, 2003). As amostras de Matrinxã apresentaram tamanho mediano de 29,67 cm e peso médio de 741,76 g. Na literatura são apontados comprimento máximo de 49,5 cm, e peso máximo de 2,7 kg (LIMA et al., 2022). Para o Tambaqui o peso médio dos filés amostrados foi de 1169,08 g. O comprimento máximo de tambaquis publicados é de 108 cm, e peso máximo de 40,0 kg (MACHACEK, 2007). O tamanho mediano das amostras de Jatuarana foi de 31,29 cm e o peso médio foi de 878,54 g. O comprimento máximo apresentado na literatura é de 46,2 cm e peso máximo de 2,0 kg (ZANIBONI FILHO et al., 1988).

Tabela 7. Características físicas de cinco espécies de peixes do Rio Madeira obtidas no mercado consumidor de Humaitá, AM.

Peixe (n)	Tamanho ** (cm)*	Peso* (g)	Temperatura* (°C)
Jatuarana (24)			
Faixa	27,0-36,5	541,20-1470,40	3,6-24,9
Média±dp	-	878,54±302,07b	13,3±6,5a
Mediana±dp	30,3±2,63a	-	-
Tambaqui (24)			
Faixa	-	996,20-1692,70	6,1-26,0
Média±dp	-	1169,08±194,02a	16,5±5,9a
Mediana±dp	-	-	-
Matrinxã (24)			
Faixa	22,5-36,0	309,18-1200,70	0,5-24,5
Média±dp	-	741,76±304,53bc	11,08±8,78a
Mediana±dp	31,5±4,97a	-	-
Pacu (24)			
Faixa	15,8-19,0	201,4-365,46	11,1-21,7
Média±dp	-	273,98±58,45d	16,3±4,1a
Mediana±dp	16,80±0,98b	-	-
Pescada (7)			
Faixa	26,0-31,5	361,4-684,0	11,0-19,3
Média±dp	-	520,1±102,9cd	14,8±3,9a
Mediana±dp	29,0±1,85ab	-	-

*Médias (±desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

**Medianas (±desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes (Kruskal-Wallis, $p \leq 0,05$) por comparação pareada, corrigida pelo teste de Bonferroni).

- não analisado.

Os resultados obtidos para a temperatura dos peixes no momento da comercialização estão também indicados na Tabela 7. Como os dados da temperatura seguiram distribuição normal, os valores médios foram comparados pelo teste de Tukey. Observa-se que a temperatura variou de 0,5 °C para uma amostra de Matrinxã até 26 °C para uma amostra de Tambaqui. A temperatura média de comercialização dos peixes variou de 11,8 °C para o Matrinxã até aproximadamente 16,4 °C para o Tambaqui e o Pacu.

De acordo com o regulamento técnico de identidade e qualidade de peixe fresco (BRASIL, 1997), entende-se por peixe fresco, o produto obtido de espécimes saudáveis e de qualidade adequada ao consumo humano, convenientemente lavado e que seja conservado somente pelo resfriamento a uma temperatura próxima a do ponto de fusão do gelo (0 °C). Ainda segundo este regulamento, no acondicionamento do peixe para comercialização, deverá empregar-se quantidade de gelo finamente triturado, suficiente para assegurar temperatura próxima ao ponto de fusão do gelo na parte mais interna do músculo. A *Food and Drug*

Administration (FDA, 2011) preconiza que o peixe fresco deve ser refrigerado em temperaturas inferiores à 4,4 °C, condições inferiores às requeridas para a multiplicação da maioria das bactérias patogênicas. Por outro lado, a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2009) ressalta que a temperatura deve ser mantida a 0 °C e ser frequentemente monitorada para o consumo seguro de peixes frescos.

Ao comparar as temperaturas observadas com as temperaturas recomendadas para a comercialização de peixes, observa-se a inexistência de amostras em acordo com o regulamento técnico de identidade e qualidade de peixe fresco (BRASIL, 1997). Apenas uma parcela das amostras de Matrinxã (25%), atendeu ao FDA (2011). Observa-se que a temperatura de comercialização do peixe era muito elevada, e, portanto, inadequada para a manutenção de um produto tão perecível quanto o peixe. Estes resultados mostram uma falta de controle na temperatura do peixe no momento da comercialização, e demonstram uma necessidade urgente de treinamento dos comerciantes sobre a adequada temperatura de armazenamento e comercialização do pescado.

5.2.2. Influência da estação nas características físicas dos peixes

De forma geral, o tamanho dos peixes (Tabela 8) variou com medianas de 16,8 cm no Pacu a 34,5 cm no Matrinxã, com os maiores valores para o Matrinxã e Jatuarana e os menores valores para o Pacu e Pescada. O comprimento dos peixes não foi afetado pela estação climática para o Jatuarana, Pacu e Pescada, entretanto, o Matrinxã apresentou um valor de mediana maior na estação de cheias (34,5 cm) comparado com a estação seca (27,0 cm).

Com relação ao peso para os peixes inteiros, a variação média foi de 174 g (Pacu) a 878,54 g (Jatuarana). De maneira geral o Jatuarana, Matrinxã (e Tambaqui mesmo em condição de filé) foram os mais pesados comparados com o Pacu e Pescada. A estação climática afetou significativamente o peso dos peixes sendo possível realizar análise comparativa entre captura na estação chuvosa e estação seca (Jatuarana e Matrinxã).

Tabela 8. Influência da estação (seca e cheia) nas características físicas de cinco espécies de peixes do Rio Madeira adquiridas no mercado de Humaitá, AM.

Peixe/Estação(n)		Tamanho (cm)**	Peso (g)*	Temperatura (°C)*
Jatuarana				
<i>Seca</i> (12)	Faixa	28,0-33,0	541,2-944,2	3,6-21,6
	Média±dp	-	744,4±131,7 bc	9,6±4,9 b
	Mediana±dp	30,0±1,6 bc	-	-
<i>Cheia</i> (12)	Faixa	27,0-36,5	625,0-1470,4	6,8-24,9
	Média±dp	-	1012,7±366,3 a	16,9±5,9 ab
	Mediana±dp	32,5±3,1 ab	-	-
Tambaqui				
<i>Seca</i> (12)	Faixa	-	-	10,8-26,0
	Média±dp	-	-	18,6±5,8 a
	Mediana±dp	-	-	-
<i>Cheia</i> (12)	Faixa	-	996,2-1692,7	6,1-25,8
	Média±dp	-	1169,1±194,0 a	14,4±5,5 ab
	Mediana±dp	-	-	-
Matrinxã				
<i>Seca</i> (12)	Faixa	22,5-32,0	309,2-909,3	0,5-24,5
	Média±dp	-	587,9±249,2 c	10,3±9,9 b
	Mediana±dp	27,0±4,2 c	-	-
<i>Cheia</i> (12)	Faixa	33,0-36,0	926,4-1200,7	6,1-18,9
	Média±dp	-	1049,5±90,7 ab	12,7±6,4 ab
	Mediana±dp	34,5±1,1 a	-	-
Pacu				
<i>Seca</i> (12)	Faixa	15,8-19,0	201,4-365,5	11,1-21,7
	Média±dp	-	274,0±58,5 d	16,3±4,1 ab
	Mediana±dp	16,8±1,0 d	-	-
<i>Cheia</i> (12)	Faixa	-	-	-
	Média±dp	-	-	-
	Mediana±dp	-	-	-
Pescada				
<i>Seca</i> (6)	Faixa	26,0-31,5	361,4-684,0	11,0-19,3
	Média±dp	-	520,1±102,9 cd	14,8±3,9 ab
	Mediana±dp	29,0±1,85 bc	-	-

*Médias (±desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

**Medianas (±desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes (Kruskal-Wallis, $p \leq 0,05$) por comparação pareada, corrigida pelo teste de Bonferroni).

- não analisado.

Na Amazônia, a maioria das espécies tem seu período de desova sincronizado com o início das cheias, quando a oferta de alimento é maior para alevinos e peixes não carnívoros, em geral, devido a inundação de planícies e disponibilidade de matéria orgânica. Durante o período que antecede a reprodução, normalmente vazante/seca, os peixes estão estocando energia para o

evento reprodutivo e, associado a um déficit da disponibilidade de alimentos, as espécies herbívoras e onívoras, não apresentam ganho de massa e crescimento neste período (FERNÁNDEZ e REY, 2012). Tais eventos podem explicar o fato de as amostras de Jatuarana e Matrinxã (onívoros) apresentarem medianas de peso entre 744,4 g e 587,9 g, respectivamente, na estação seca e 1012,7 g e 1049,5 g respectivamente, na estação chuvosa.

Levando em consideração a temperatura dos peixes nas diferentes estações de coleta (seca e cheia) e os distintos horários de aquisição das amostras nos centros comerciais, ou seja, as 7-8 h e as 10-11:20 h da manhã, verifica-se relação positiva significativa sobre a influência da estação nas temperaturas de comercialização dos peixes, principalmente Matrinxã e Jatuarana, que na estação de cheia apresentaram aumento na temperatura quando comparados às amostras coletadas na estação seca. A empresa brasileira de meteorologia Climatempo Consultoria (2023) ao realizar análise climatológica a partir do histórico de previsão do tempo em Humaitá – AM, classifica o clima deste município em quente e úmido com duas estações do ano: uma chuvosa - “inverno” que vai de outubro a abril e outra de estiagem - “verão” que vai de maio a setembro, com temperaturas mínima de 23 °C e máxima de 32 °C respectivamente.

O aumento nas médias de temperatura das amostras coletadas na época de cheias pode ser explicado então pela influência da estação na aplicação, ou não, de práticas para a estocagem de peixes sob a proteção do frio, e manutenção da temperatura de conservação, quando os comerciantes erroneamente supõem que pela temperatura ambiente estar mais amena, a aplicação de cobertura de gelo nestes peixes se torna desnecessária. De acordo com Campos e Paiva (2011), na região amazônica, há o costume de se adquirir peixes em feiras e mercados populares por inferir que estes se encontram com suas características naturais preservadas, uma vez que estes centros comerciais são montados de forma improvisada em locais próximos à margem dos rios, porém, muitas vezes sem estrutura higiênico-sanitária para a venda de produtos perecíveis, sem garantia de inocuidade do pescado comercializado e tampouco que estes estejam frescos.

5.2.3. Influência do horário de coleta nas características físicas dos peixes

Como esperado, o horário da coleta (Tabela 9) não afetou o tamanho e o peso dos peixes amostrados. Por outro lado, a temperatura pode ser afetada pela exposição à temperatura ambiente por um tempo prolongado posterior a captura. Isto foi evidente a partir da média final entre as espécies, em que se observou o aumento da temperatura de comercialização a medida do passar do tempo, no intervalo de 07:00 a 11:20 h.

O Matrinxã apresentou médias de 6,9 °C na primeira coleta (07:00 h) e 18,5 °C na última coleta (11:20 h) na estação de cheias, Jaturarana 11,8 °C e 22,1 °C na estação chuvosa, Tambaqui 13,6 °C e 23,7 °C na estação de seca, Pacu 11,1 °C e 19,8 °C na estação de seca, e Pescada 11,6 °C e 18,9 °C na estação de seca. Estes resultados sugerem uma deficiência na manutenção ideal de temperatura para comercialização do peixe fresco desde o primeiro horário de coleta em ambas as estações.

Tabela 9. Influência do horário da coleta (7-8h e 10:10-11:20h) nas características físicas de cinco espécies de peixes do Rio Madeira adquiridas no mercado de Humaitá, AM.

Peixe/Estação (n)		Tamanho (cm)**	Peso (g)*	Temperatura (°C)*
Jaturarana				
<i>Seca</i> (6)	7-8h	30,3±1,8a	757,5±151,0a	10,6±2,8b
	10:10-11:20h	30,0±1,6a	731,3±122,4a	8,6±6,6b
<i>Cheia</i> (6)	7-8h	32,0±3,4a	989,0±366,5a	11,8±2,7b
	10:10-11:20h	33,0±2,9a	1036,4±399,4a	22,1±2,2a
Tambaqui				
<i>Seca</i> (12)	7-8h	-	-	13,6±3,1bc
	10:10-11:20h	-	-	23,7±1,9a
<i>Cheia</i> (12)	7-8h	-	1116,8±129,3a	11,1±4,1c
	10:10-11:20h	-	1221,4±244,0a	17,7±4,7b
Matrinxã				
<i>Seca</i> (12)	7-8h	27,8±4,4ab	618,5±241,7b	7,7±6,3a
	10:10-11:20	26,3±4,4b	557,2±275,6b	12,8±12,7a
<i>Cheia</i> (12)	7-8h	35,0±1,3ab	993,8±62,0ab	6,9±0,72a
	10:10-11:20h	34,0±1,2a	1105,2±86,0a	18,5±0,4a
Pacu				
<i>Seca</i> (12)	7-8h	17,8±1,1a	302,8±65,3a	11,1-21,7b
	10:10-11:20h	16,5±0,5a	245,2±35,6a	19,8±1,2a
<i>Cheia</i> (12)	7-8h	-	-	-
	10:10-11:20h	-	-	-
Pescada				
<i>Seca</i> (3)	7-8h	29,5±1,9a	567,4±91,9a	11,6±0,5b
	10:10-11:20h	28,5±1,8a	457,1±93,1a	18,9±0,6a

*Médias (±desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

**Medianas (±desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes (Kruskal-Wallis, $p \leq 0,05$) por comparação pareada, corrigida pelo teste de Bonferroni).

- não analisado.

A exploração de peixes voltado para a produção de alimento tem uma importância considerável, entretanto, um dos fatores limitantes sobre a utilização deste como fonte proteica

pelo homem é a rápida deterioração que se verifica em ambientes de temperaturas tropicais, como o da região amazônica (PINTO et al., 2019). Fatores externos como a temperatura ambiental durante o transporte e armazenamento e exposição de peixes nos centros comerciais, influenciam as alterações *post-mortem* e afetam os parâmetros da qualidade final da carne, como a textura e a firmeza, uma vez que a redução no pH *post-mortem* enquanto a temperatura da carcaça encontra-se elevada, levam a desnaturação das proteínas miofibrilares e sarcoplasmáticas (FERREIRA; ARAÚJO; CAMPOS, 2018). É possível inferir que grande parte do peixe ofertado em Humaitá – AM, é capturado no dia anterior a disponibilização ao comércio e fica exposto sem manutenção da temperatura de conservação no período da manhã, colocando em risco a saúde do consumidor.

No mercado municipal de Humaitá, o horário de comercialização dos peixes se inicia normalmente a partir das 06:00 h e se prolonga até aproximadamente 12:00 h. Durante este período, pode acontecer de os peixes ficarem expostos em bancadas de concreto, acondicionados em bandejas plásticas sem aplicação de cobertura de gelo por até mais de seis horas à temperatura ambiente. Não há como prever o horário de pesca destes produtos, pois os peixes comercializados são oriundos de diversas comunidades ribeirinhas do município. Porém, considerando que grande maioria dos peixes de água doce são animais de hábito diurno (CAMPOS, 2023) e o início do horário de comercialização, especula-se que estes peixes são capturados até treze horas antes de expostos no mercado consumidor, e podem chegar a ser mantidos sem aplicação de controle de temperatura e conservação por até vinte horas entre a pesca e o consumo. Esta constatação causa preocupação sobre a segurança deste produto como alimento, visto que o pescado é comercializado fresco e durante esse intervalo de tempo inicia-se o processo de deterioração.

5.3. Avaliações físico-químicas de qualidade dos peixes

5.3.1. Avaliação global

Segundo a legislação brasileira (BRASIL, 2017) dentre dos parâmetros da qualidade do peixe se incluem as bases voláteis totais e pH. Os valores obtidos para estes parâmetros, estão apresentados na Tabela 10. Os resultados do pH dos peixes seguiram distribuição normal, sendo suas médias comparadas pelo teste de Tukey ($p = 0.05$). Por outro lado, os resultados para BVT não seguiram distribuição normal, assim as respectivas medianas foram comparadas pelo teste de Kruskal-Wallis por comparação pareada com $p = 0,05$, corrigida pelo teste de Bonferroni.

O regulamento aponta que o pH da porção muscular do peixe fresco deve ser inferior a 7,0 para ser considerado adequado ao consumo (BRASIL, 2017). O pH variou de 5,41 (Tabela 10) em amostras de Matrinxã a 6,87 em Pescada, desta forma todas as amostras atenderam a este critério.

Tabela 10. Características físico-químicas de cinco espécies de peixes do Rio Madeira obtidas no mercado consumidor de Humaitá, AM.

Peixe (n)	pH*	BVT (mg N/100 g)**
Jatuarana (24)		
Faixa	5,85-6,70	8,04-20,95
Média±dp	6,28±0,20 b	
Mediana		13,93±3,28 c
Tambaqui (24)		
Faixa	5,81-6,60	10,92-23,28
Média±dp	6,31±0,21 b	
Mediana		15,13±3,63 bc
Matrinxã (24)		
Faixa	5,41-6,49	11,45-34,62
Média±dp	6,23±0,26 b	
Mediana		17,02±4,89 ab
Pacu (24)		
Faixa	5,57-6,79	12,95-22,55
Média±dp	6,40±0,42 ab	
Mediana		15,38±2,48 bc
Pescada (6)		
Faixa	6,58-6,87	18,87-35,94
Média±dp	6,71±0,10 a	
Mediana		24,84±6,96 a

*Médias (±desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

**Medianas (±desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes (Kruskal-Wallis, $p \leq 0,05$) por comparação pareada, corrigida pelo teste de Bonferroni).

Segundo a legislação vigente (BRASIL, 2017) a concentração de Bases Voláteis Totais (BVT) deve ser de no máximo 30 mg N/100 g de tecido muscular. Baseado neste limite, uma amostra de Matrinxã (4,16%) e duas das seis amostras de Pescada (33,3%) se apresentaram impróprias ao consumo. A amostra de Matrinxã coletada às 10:10 h apresentou concentração de 34,62 mg N/100 g, paralelo a temperatura de 24,5 °C e pH de 6,31. As amostras de Pescada fora do padrão permitido, coletadas também no horário de 10:10 h apresentaram teor de BVT no valor de 32,16 e 35,94 mg N/100 g, simultaneamente a temperaturas de 19,3 °C e 18,2 °C e pH 6,87 e 6,80, respectivamente. Silva et al. (2022) ao avaliarem a qualidade de peixes amazônicos provenientes de piscicultura armazenados em gelo, observaram que o pH e valores de BVT permaneceu abaixo dos limites de aceitação estabelecidos para todas as amostras analisadas. Estes resultados sugerem que, peixes armazenados adequadamente e com manutenção da

temperatura ideal para a conservação do peixe fresco, apresentam menores índices de BVT e adequado pH.

5.3.2. Influência da estação sobre os índices de pH e BVT

Na Tabela 11 é possível observar também significativa influência direta da temperatura ambiente (estação do ano), sobre os parâmetros físico-químicos de pH e bases voláteis totais.

Tabela 11. Influência da estação (seca e cheia) nas características físico-químicas de cinco espécies de peixes do Rio Madeira adquiridas no mercado de Humaitá, AM.

Peixe/Estação (n)		pH*	BVT (mg N/100 g)**
Jatuarana			
<i>Seca</i> (12)	Faixa	5,85-6,70	8,04-20,95
	Média±dp	6,31±0,24 b	
	Mediana		17,07±4,43 abcd
<i>Cheia</i> (12)	Faixa	6,00-6,50	12,94-16,80
	Média±dp	6,26±0,16 b	
	Mediana		13,48±1,04 d
Tambaqui			
<i>Seca</i> (12)	Faixa	6,29-6,60	14,71-23,28
	Média±dp	6,42±0,09 ab	
	Mediana		19,21±2,97 ab
<i>Cheia</i> (12)	Faixa	5,81-6,48	10,92-15,23
	Média±dp	6,21±0,24 b	
	Mediana		14,47±1,54 d
Matrinxã			
<i>Seca</i> (12)	Faixa	5,41-6,44	12,19-34,62
	Média±dp	6,19±0,29 b	21,09±5,45
	Mediana		20,14±5,45 ab
<i>Cheia</i> (12)	Faixa	6,01-6,49	11,45-17,63
	Média±dp	6,31±0,17 ab	
	Mediana		15,32±1,63 bcd
Pacu			
<i>Seca</i> (12)	Faixa	5,57-6,79	15,38-22,55
	Média±dp	6,40±0,42 ab	17,70±2,33
	Mediana		17,06±2,33 abc
<i>Cheia</i> (12)	Faixa		12,95-15,38
	Média±dp		
	Mediana		14,15±0,76 cd
Pescada			
<i>Seca</i> (6)	Faixa	6,58-6,87	18,87-35,94
	Média±dp	6,71±0,10 a	
	Mediana		24,84±6,96 a

*Médias (±desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

**Medianas (±desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes (Kruskal-Wallis, $p \leq 0,05$) por comparação pareada, corrigida pelo teste de Bonferroni).

5.3.3. Influência do horário da coleta sobre os índices de qualidade (pH e BVT)

A Tabela 12 apresenta a relação entre o horário de coleta das amostras, entre 07:00 e 08:00 h e entre 10:10 e 11:20 h, e as características físico-químicas de pH e BVT das cinco espécies de peixes.

Tabela 12. Influência do horário da coleta (7:00-8:00h e 10:10-11:20h) nas características físico-químicas de cinco espécies de peixes do Rio Madeira adquiridas no mercado de Humaitá, AM.

Peixe/Estação (n)	Horário	pH*	BVT (mg N/100 g) **
Jatuarana			
<i>Seca</i> (6)	7-8h	6,41±0,24a	13,32±5,16a
	10:10-11:20h	6,31±0,24a	17,18±2,19a
<i>Cheia</i> (6)	7-8h	6,25±0,11a	13,68±1,38a
	10:10-11:20h	6,27±0,20a	13,39±0,51a
Tambaqui			
<i>Seca</i> (12)	7-8h	6,42±0,10a	18,10±2,65ab
	10:10-11:20h	6,41±0,10a	20,59±2,91a
<i>Cheia</i> (12)	7-8h	6,10±0,28b	13,36±1,83b
	10:10-11:20h	6,32±0,14ab	14,48±1,19b
Matrinxã			
<i>Seca</i> (12)	7-8h	6,19±0,40a	22,89±1,75a
	10:10-11:20h	6,20±0,18a	18,58±7,71ab
<i>Cheia</i> (12)	7-8h	6,43±0,08a	14,98±2,03b
	10:10-11:20h	6,20±0,16a	15,84±1,09b
Pacu			
<i>Seca</i> (12)	7-8h	6,16±0,48b	16,09±2,06ab
	10:10-11:20h	6,65±0,10a	18,13±2,61a
<i>Cheia</i> (12)	7-8h	-	14,32±0,83bc
	10:10-11:20h	-	14,15±0,73c
Pescada			
<i>Seca</i> (3)	7-8h	6,69±0,03a	19,31±2,86b
	10:10-11:20h	6,75±0,15a	32,16±3,23a

*Médias (±desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

**Medianas (±desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes (Kruskal-Wallis, $p \leq 0,05$) por comparação pareada, corrigida pelo teste de Bonferroni).

- não analisado.

As amostras das cinco espécies de peixes apresentaram-se com valores de pH e BVT mais elevados na estação seca, quando comparados as amostras coletadas na estação de cheias. De acordo com Assis et al. (2021) fatores como pH e BVT podem ser influenciados pelo

desenvolvimento de microrganismos contaminantes que causam decomposição bacteriana, reduzindo a vida útil dos peixes expostos ao comércio.

Os parâmetros de temperatura ambiente, pH e Bases Voláteis Totais (BVT) em carne de peixes são importantes e bastante utilizados na verificação da qualidade do pescado. Segundo Corrêa et al. (2016), variações de pH e BVT na carne de peixes estão diretamente ligadas à temperatura de armazenamento do produto. Ao avaliar a qualidade de peixes amazônicos de piscicultura, Silva et al. (2022) encontraram valores médios para os teores de pH e BVT em peixes frescos eviscerados e armazenados a $0,0 \pm 1,0$ °C, que variaram o pH de 5,86 (Tambatinga) a 6,38 (Tambaqui), e BVT de 5,74 mg N/100 g (Tambaqui) a 19,09 mg N/100 g (Pintado).

No estudo de Ritter et al. (2016) com Tambatinga eviscerada armazenada em gelo, o valor de pH encontrado variou de 6,25 a 6,74 e BVT entre 7,52 a 13,12 mg N/100 g. Do mesmo modo Siqueira et al. (2015) observaram que a Tambatinga eviscerada armazenada no gelo, expressou uma variação de pH entre 6,00 e 6,73 e de BVT de 10,78 a 18,29 mg N/100 g. No estudo de Lanzarin et al. (2016) com o pintado eviscerado da Amazônia armazenado em gelo, foi observada variação de pH de 6,11 a 6,63 e de BVT de 9,45 a 13,37 mg N/100 g.

Estes diferentes resultados de pH e BVT podem ser devidos a diversos fatores, como a dieta nutricional dos peixes, o estresse causado no momento da captura ou manipulação *post mortem*. Contudo ao comparar com a literatura, os valores encontrados no presente estudo se apresentam significativamente mais elevados, evidenciando a necessidade da aplicação adequada da temperatura de conservação de peixes durante sua comercialização.

5.4. Ocorrência de mercúrio

A ocorrência de mercúrio total nas diferentes espécies de peixe analisadas está indicada na Tabela 13. Observa-se que 100% das amostras de Pacu e de Pescada, 37,5% das amostras de Tambaqui e 79,2% das amostras de Jatuarana e de Matrinxã continham níveis detectáveis de mercúrio ($\geq 0,0050$ mg/kg).

Os resultados de mercúrio total não seguiram uma distribuição normal, assim sendo, as medianas foram comparadas pelo teste de Kruskal-Wallis por comparação pareada com $p=0,05$, corrigida pelo teste de Bonferroni. Soares et al (2018) também encontraram distribuição não normal dos teores de mercúrio total em diferentes espécies de peixes do Rio Madeira – AM, sendo então usado também o teste de Kruskal-Wallis.

Tabela 13. Ocorrência e teores de mercúrio total em cinco espécies de peixes do Rio Madeira obtidas no mercado consumidor de Humaitá, AM.

Peixe (n)	Ocorrência	Teores de mercúrio (mg/kg)			CV (%)	Atendimento a legislação* (%)
	%	Faixa	Mediana**	Média ± dp		
Jatuarana (24)	79,2	< 0,005-0,402	0,125 b	0,124±0,101	82,0	100
Tambaqui (24)	37,5	< 0,005-0,021	0,000 d	0,004±0,006	159,8	100
Matrinxã (24)	79,2	< 0,005-0,201	0,078 bc	0,083±0,061	74,1	100
Pacu (24)	100	0,020-0,097	0,047 c	0,051±0,020	39,2	100
Pescada (6)	100	0,338-0,852	0,619 a	0,592±0,185	31,2	100

Dp: desvio padrão; CV: coeficiente de variação.

*Legislação: 0,5 µg/g, para peixes não predadores e 1 µg/g para peixes predadores (Anvisa, 2021).

**Mediana (±desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes (teste de Kruskal-Wallis por comparação pareada com $p \leq 0,05$, corrigida pelo teste de Bonferroni).

Com relação as concentrações de mercúrio total encontrado nas amostras, observa-se que o maior teor foi encontrado em Pescada (0,852 mg/kg); seguido por Jatuarana com 0,402 mg/kg; Matrinxã com teor máximo de 0,201 mg/kg, Pacu com 0,097 mg/kg e Tambaqui, com o menor valor máximo – 0,021 mg/kg. Percebe-se que esta ordem decrescente dos teores de mercúrio está diretamente relacionada com os respectivos níveis tróficos (4,4; 3,0; 2,7; 2,1; e 2,2). Os teores medianos seguiram a mesma ordem decrescente com relação aos teores de mercúrio, com maiores valores para Pescada, seguido por Jatuarana, Matrinxã, Pacu e Tambaqui. Os maiores teores de mercúrio encontrados em Pescada são coerentes com o fato deste peixe ser piscívoro e estar no nível trófico de 4,4. Estes resultados confirmaram a ocorrência de biomagnificação trófica, com as espécies piscívoras. De fato, a presença de mercúrio nos peixes segue o processo de biomagnificação relacionada com o hábito alimentar dos peixes ao longo da cadeia trófica, aumentando na ordem de herbívoros, detritívoros, onívoros e carnívoros (LIMA et al., 2015). Uma vez que o Pacu é herbívoro, Jatuarana, Tambaqui e Matrinxã são onívoros e a Pescada é piscívora, os teores de mercúrio total em cada peixe são coerentes com os seus hábitos alimentares. Relacionando o nível trófico e a concentração de Hg acumulado, o trabalho de Milhomem Filho et al. (2016) apresentou maior concentração de Hg nas espécies de peixe de

hábito piscívoro ($0,2775 \pm 0,0551 \mu\text{g/g}$) enquanto o menor nível foi encontrado na espécie de hábito detritívoro ($0,0308 \pm 0,0108 \mu\text{g/g}$).

Corroborando com os resultados do presente estudo, Soares et al. (2018) ao analisarem teores de mercúrio em quatro espécies de peixes em Humaitá - AM, incluindo Pacu (*Mylossoma duriventre*), Jaraqui (*Semaprochilodus insignis*), Curimatã (*Prochilodus nigricans*) e Sardinha (*Triportheus angulatus*), determinaram que 100% das amostras analisadas (n=384) continha níveis detectáveis de mercúrio total. No estudo de Gomes et al. (2021) realizado no Reservatório Três Marias - MG, foi investigada a biomagnificação de mercúrio em 13 espécies de peixes. Assim como os resultados obtidos no presente estudo, observou-se que as espécies carnívoras *Serrasalmus brandtii* (pirambeba) e *Pygocentrus piraya* (piranha) apresentaram maiores concentrações médias de mercúrio no tecido muscular, assim como o Pescada (*Plagioscion squamosissimus*) aqui analisado.

Em contrapartida aos níveis de mercúrio total encontrados dentro da faixa de limite determinado por regulamentos específicos nos peixes provenientes do Rio Madeira em Humaitá - AM, estudo recente desenvolvido por pesquisadores da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), aponta que os pescados coletados na Bacia do Rio Branco – RR, apresentaram concentrações de mercúrio maiores ou iguais ao limite estabelecido pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e a Organização Mundial da Saúde (OMS). A pesquisa alerta que a contaminação é tão alta para algumas espécies de peixes carnívoros, que já não existe nível seguro para o seu consumo, não importando a quantidade ingerida (BRASIL, 2023). Do mesmo modo Fuentes et al. (2023) ao analisarem a concentração de Hg em espécies de peixes em Galápagos, encontraram amostras acima da concentração máxima permitida tanto para espécies de peixes não predatórios (0,5 mg/kg), como para espécies de peixes predadores (1 mg/kg).

5.5. Fatores que influenciam os teores de mercúrio nos peixes

A tabela 14 apresenta a influência da estação (seca e cheia) nos teores de mercúrio nas cinco espécies de peixes do Rio Madeira adquiridas no mercado de Humaitá – AM. Os teores de mercúrio nos peixes coletados nas duas estações climáticas da região amazônica (chuvosa e seca) foram estatisticamente significantes, principalmente entre as espécies Jatuarana e Matrinxã que na estação seca apresentaram ocorrência em 100% das amostras e nas cheias em 58,3%. Todos os anos, na época chuvosa, quando o rio transborda e invade a floresta, suas águas ricas em matéria orgânica em decomposição misturam-se a grande quantidade de matéria orgânica jovem (ANDRADE, 2018). Com a chegada da seca, sob a ação da luz solar, estes compostos produzem peróxido de hidrogênio (água oxigenada), que ajuda a liberar o mercúrio inorgânico estocado no

solo. Em seguida, bactérias anaeróbicas convertem a substância em metilmercúrio, que entra na cadeia alimentar aquática (ANDRADE, 2018; GOMES et al., 2021).

Azevedo et al. (2019) avaliaram a distribuição de Hg de peixes carnívoros entre estações sazonais no Rio Madeira - AM. Três espécies apresentaram concentrações de Hg acima do limite aceitável para consumo humano: *Calophysus macropterus* ($1,95 \pm 0,86 \mu\text{g/g}$; seca), *Hoplias malabaricus* ($1,10 \pm 0,72 \mu\text{g/g}$; seca) e *Pellona flavipinnis* ($1,17 \pm 0,45 \mu\text{g/g}$; cheia). Assim como no presente estudo, os resultados indicaram que a interação entre sazonalidade e habitats podem influenciar nas concentrações de mercúrio total de peixes, uma vez que, na estação seca se apresentaram os maiores níveis de Hg e na estação cheia foram similares em espécies específicas. A sazonalidade pode ser então um fator determinante para a concentração de Hg nos peixes, levando em consideração que os níveis de Hg na Amazônia são influenciados pelo pulso da inundação, já que este evento altera a disponibilidade de alimentos, as características físico-químicas da água e conseqüentemente a disponibilidade de Hg para a biota aquática (AZEVEDO et al., 2019; SILVA et al., 2019).

Tabela 14. Influência da estação (seca e cheia) nos teores de mercúrio em cinco espécies de peixes do Rio Madeira adquiridas no mercado de Humaitá, AM.

Peixe (n)	Mercúrio(mg/kg)	
	Seca*	Cheia*
Jatuarana		
Ocorrência	100%	58,3%
Faixa	0,0883-0,4019	0,0000-0,1851
Mediana	0,1642±0,0924 ab	0,0453±0,0678 cde
Tambaqui		
Ocorrência	75%	0%
Faixa	0,0000-0,0215	nd
Mediana	0,0050±0,0068 de	0,0000 e
Matrinxã		
Ocorrência	100%	58,3%
Faixa	0,0596-0,1706	0,0000-0,2008
Mediana	0,0782±0,0308 abc	0,0561±0,0829 bcde
Pacu		
Ocorrência	100%	100%
Faixa	0,0196-0,0563	0,045-0,097
Mediana	0,04±0,0121 cde	0,06±0,018 abcd
Pescada		
Ocorrência	100%	-
Faixa	0,338-0,852	
Mediana	0,62±0,185 a	

- não analisado.

nd – não detectado (limite de detecção - 0,0050 mg/kg).

*Mediana (\pm desvio padrão) com letras diferentes com letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes (teste de Kruskal-Wallis $p \leq 0,05$) por comparação pareada, corrigida pelo teste de Bonferroni.

A tabela 15 apresenta o grau de correlação entre os teores de mercúrio encontrados os parâmetros físicos, físico-químicos avaliados e o nível trófico. Aplicando o método de correlação de Spearman observa-se correlação positiva principalmente associando teor de mercúrio (mg/kg) ao nível trófico igual a 0,55 com $P\text{-Value} = 0.00$. Os teores de pH e BVT identificados nas amostras de peixes apesar de apresentarem relação positiva entre si e com o mercúrio, não expressaram significância. Os parâmetros de peso, tamanho e temperatura apresentaram correlação negativa aos teores de mercúrio. Parâmetros de peso e tamanho apresentaram correlação negativa significativa com relação a valores de pH e BVT, sugerindo que quanto menor o peixe mais rápido ocorre o seu processo de deterioração. Pereira et.al. (2017) afirmam que a determinação do tamanho de sarcômeros musculares demonstra uma correlação positiva entre sua dimensão e o desenvolvimento do processo de *rigor mortis* e início do processo deteriorante de carnes.

Tabela 15. Correlação entre teores de mercúrio, parâmetros físicos, físico-químicos e nível trófico.

	Mercúrio (mg/kg)	Peso (g)	Tamanho (cm)	Nível Trófico	Temperatura (°C)	pH	BVT (mg/100 g)
Mercúrio (mg/kg)							
P. value							
Peso (g)	- 0,21						
P. value	0,11						
Tamanho (cm)	- 0,16	0,97					
P. value	0,21	0,00					
Nível trófico	0,55	0,06	0,08				
P. value	0,00	0,65	0,56				
Temperatura (°C)	- 0,12	- 0,25	- 0,22	0,12			
P. value	0,36	0,05	0,09	0,37			
pH	0,30	- 0,54	- 0,44	0,29	0,30		
P. value	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02		
BVT (mg/100 g)	0,28	- 0,45	- 0,37	- 0,09	- 0,01	0,40	
P. value	0,03	0,00	0,00	0,49	0,95	0,00	

* correlação de Spearman.

R²: 0,90 a 1 – correlação muito forte; 0,70 a 0,89 – correlação forte; 0,40 a 0,89 – correlação moderada – as demais são fracas e muito fracas, e, portanto, sem expressão.

A quantidade de mercúrio encontrada nos peixes pode variar com o tipo de tecido. O que mais apresenta relação com o armazenamento de Hg recente no organismo é o fígado, enquanto, em outros tecidos estudados, músculo e pele, a concentração está relacionada principalmente à

acumulação do metal ao longo do tempo (RODRIGUES et al., 2021). O presente estudo analisou teor de mercúrio apenas na porção muscular dos peixes, não sendo possível apresentar informações sobre o nível de contaminação aguda destas amostras. No entanto, a partir dos resultados apresentados entende-se que a Pescada tem sofrido biomagnificação crônica em níveis elevados.

Além da posição na cadeia trófica, a ocorrência e a concentração de mercúrio no pescado podem ter influência de fatores, como a localização geográfica, e, principalmente, o comprimento e peso do pescado por esse fator está associado à idade do peixe. O Hg se acumula ao longo do tempo e quanto mais jovem o peixe, menor o tempo de exposição ao mercúrio. Soares et al. (2018) e Fuentes et al. (2023) estabeleceram correlações positivas entre a concentração de Hg encontrada no músculo, o comprimento e o peso total das amostras de peixe, onde animais de maior porte apresentaram níveis mais elevados de mercúrio. Estes resultados sugerem que este metal pode ser submetido a um processo de bioacumulação, e pode ser influenciado pela disponibilidade de alimentos, idade e/ou estação. No presente estudo apesar de o Tambaqui naturalmente apresentar os maiores valores de comprimento e peso, entre as espécies amostradas, faz parte da classe mais baixa de nível trófico, e por ser produzido em viveiros com disponibilidade de dieta balanceada tem seu processo de crescimento acelerado, estando menos tempo susceptível a bioacumulação de mercúrio.

Outros estudos verificaram também a concentração de Hg em peixes e sua relação com o comprimento e o peso (COSTA et al., 2009; COSTA et al., 2014; LACERDA et al., 2016). No estudo de Costa et al. (2009) valores acima do limite considerado seguro para consumo foram observados em *Scomberomorus cavalla* de comprimento maior que 100 cm. Lacerda et al. (2016), ao avaliarem 16 espécies de peixes, mostraram que espécies de comprimento maior apresentam as concentrações de Hg mais elevadas, 509 ng/g em *Rhizoprionodon porosus* (Cação-frango) de 85 cm, 500 ± 330 ng/g em *Ginglymostoma cirratum* (Tubarão-Lixa) de 185 cm e 231 ± 43 ng/g em *Thunnus obesus* (Atum) de $82 \pm 4,4$ cm. Níveis mais baixos de Hg foram encontrados em espécies de menor comprimento, $14 \pm 1,2$ ng/g em *Syacium micrurum* (Linguado) de 32,5 cm, $15 \pm 8,0$ ng/g em *Haemulon plumieri* (Biquara) de 27,1 cm e $39 \pm 7,6$ ng/g em *Pomadasys corvinaeformis* (Coró) de 23,9 cm. Para Sinkus et al. (2017), a forte relação entre tamanho e idade dos peixes e a concentração de mercúrio sustenta a hipótese de que a bioacumulação deste contaminante está associada ao crescimento dos peixes, assim como ao tempo de exposição ambiental e dietético ao mercúrio.

Assim, outro fator que afeta o teor de mercúrio em peixes mesmo os não carnívoros é o acúmulo deste metal por meio de alimentação contaminada. A contaminação dos peixes ocorre através da absorção intestinal de mercúrio presente na água e alimentos, e o nível de acúmulo

depende da quantidade de alimento contaminado que foi ingerido (RODRIGUES et al., 2021). Oliveira et al. (2015) verificaram a presença de mercúrio na ração utilizada para alimentação de peixes em um reservatório da região nordeste do Brasil e relacionou com a concentração de Hg em diversos órgãos. Foram avaliadas as quantidades de Hg presente em cinco tipos de ração utilizada para alimentar peixe do tipo *Oreochromis niloticus* (Tilápia), encontrando maior concentração nas rações aplicadas nos estágios inicial de alevinos e juvenis, mais proteicas enriquecidas a partir de farinha de peixe, média (30,1±6,3 ng/g) e menor concentração na alimentação oferecida na fase de engorda (1,4±0,5 ng/g) quando o teor de proteína é menor e os grãos, particularmente a soja, compõem a maioria do conteúdo. As amostras de Tambaqui analisadas no presente estudo são provenientes de viveiros e apresentaram os menores valores de Hg (faixa entre 0,000-0,021) dentre as cinco espécies analisadas. Apesar de não haver uma padronização da produção, com registro de inspeção, tal resultado aponta que a existência de controle na qualidade de água e o uso de rações de boa qualidade, comprovam que peixes de pisciculturas podem apresentar menores teores de mercúrio do que peixes expostos a dinâmicas naturais afetados pela deposição de contaminantes no ambiente.

5.6. Risco associado a ingestão de mercúrio

Um potencial risco para a saúde da população é identificado quando o valor estimado da exposição alimentar ao mercúrio excede o valor de referência para ingestão semanal tolerada provisória (PTWI), que é de 1,6 µg/kg de peso corporal para o metilmercúrio (JECFA, 2007). Embora os níveis de mercúrio detectados nas amostras de peixes estavam em conformidade com a legislação, o consumo da maioria destes peixes representa uma exposição ao MeHg acima do limite da dose de referência toxicológica, principalmente no cenário de ingestão de peixes praticado por comunidades ribeirinhas da região amazônica. De acordo com os resultados obtidos (Tabela 16), ao usar o Tambaqui (peixe onívoro) como principal fonte de proteína pela população Brasileira, região norte e por ribeirinhos, os níveis de metilmercúrio apresentam uma exposição abaixo do limite seguro de ingestão (13% do PTWI). Ao considerar o teor de metilmercúrio calculado em peixes onívoros de nível trófico mais elevado e piscívoros (Jatuarana e Pescada) a exposição varia de 11,8 % a 57 % respectivamente, da PTWI para o cenário nacional, 40 % a 194 % da PTWI para a região norte, e de 446 % a 2.135 % da PTWI para as comunidades ribeirinhas de Humaitá - AM.

Ao considerar as comunidades ribeirinhas do rio Madeira, que utilizam o peixe como principal fonte de proteína, o consumo de peixe (180 kg per capita / ano) é muito maior em comparação ao consumo nacional e população da região norte. Considerando os resultados de

Soares et al. (2018), onde foram identificadas exposições ao metilmercúrio de 133% a 773% acima do limite seguro de ingestão semanal por populações ribeirinhas de Humaitá – AM, os valores aqui encontrados podem chegar a acima de vinte vezes mais elevados do que os estimados para a exposição do metilmercúrio nas populações ribeirinhas do Norte do Brasil. Estes resultados sugerem que a seleção de peixes para consumo seja direcionada para aqueles classificados como herbívoros, ou que tendem a acumular concentrações mais baixas de mercúrio. Dentre os peixes incluídos neste estudo, espécies como Tambaqui poderia ser consumido sem restrições, Pacu e Matrinxã devem ser consumidos com moderação e peixes como a Jatuarana e a Pescada devem ser evitados, principalmente para mulheres em idade fértil e crianças.

Tabela 16. Níveis de metilmercúrio e estimativa de exposição pelo consumo de cinco espécies de peixes do rio Madeira pela população nacional, região norte do Brasil e população ribeirinha de Humaitá - AM.

Peixes	Teor (mg/kg)/peixe MeHg	Consumo semanal de peixe (Kg)	Exposição (µg/kg/pc/semana)	PWTI %
Brasil				
Matrinxã	0,0828	0,092	0,127	7,9
Jatuarana	0,1236	0,092	0,190	11,8
Tambaqui	0,0038	0,092	0,006	0,3
Pacu	0,051	0,092	0,078	4,8
Pescada	0,592	0,092	0,907	56,7
Média	0,17064	0,092	0,262	16,3
Região Norte				
Matrinxã	0,0828	0,315	0,435	27,2
Jatuarana	0,1236	0,315	0,649	40,5
Tambaqui	0,0038	0,315	0,020	1,2
Pacu	0,051	0,315	0,268	16,7
Pescada	0,592	0,315	3,108	194,2
Média	0,17064	0,315	0,896	56,0
Ribeirinhos				
Matrinxã	0,0828	3,462	4,778	298,6
Jatuarana	0,1236	3,462	7,132	445,8
Tambaqui	0,0038	3,462	0,219	13,7
Pacu	0,051	3,462	2,943	183,9
Pescada	0,592	3,462	34,158	2134,9
Média	0,17064	3,462	9,846	615,4

Vasconcelos et al. (2021) avaliaram os teores de mercúrio presentes em peixes coletados em comunidades indígenas da etnia Munduruku, no Pará - PA. Foi feita a avaliação do risco para o consumo dos peixes, baseada nos hábitos alimentares, e utilizando dados sobre a população e

seu consumo foi estabelecida uma razão de risco. Os resultados corroboram com o presente estudo ao demonstrarem que o consumo diário de metilmercúrio excedeu os valores limite de referência no cenário considerado. Mulheres em idade reprodutiva, representaram a população mais vulnerável à intoxicação por mercúrio, e apresentaram um nível de ingestão 7 vezes maior que as doses de referência recomendadas pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2012).

Um fator importante a ser mencionado é o isolamento geográfico das populações amazônicas que as põe em uma situação de maior vulnerabilidade devido à ineficácia do sistema de saúde pública para atingir toda sua demanda. De acordo com Castro e Lima (2021), existe uma lacuna nos registros de informação de saúde referentes aos estados do Amazonas, Pará, Roraima, Amapá, Maranhão e Rondônia sobre casos de intoxicação por mercúrio. Dos 220 casos reportados ao SINAN (Sistema de Informação de Agravos de Notificação) entre 2006 e 2014, a maioria vinha dos Estados de São Paulo e Paraná. Os autores apontam ainda notável a ausência de registros de intoxicação por mercúrio advindos da região amazônica, onde ocorre parte considerável do garimpo de ouro, com registros dos níveis de mercúrio capilar acima de 6 $\mu\text{g/g}$ nos moradores da região.

Como mencionado anteriormente os sintomas neurológicos ocasionados pela exposição ao mercúrio incluem ataxia (perda da coordenação motora), prejuízo da fala, constrição do campo visual, hipoestesia (perda ou diminuição da sensibilidade de determinada parte do corpo), disartria (fraqueza dos músculos usados na fala, resulta na fala arrastada), perda de audição e distúrbios sensoriais (NABI, 2014). O conjunto dos sintomas é denominado doença de Minamata, devido ao desastre ocorrido no Japão, durante a década de 1950, ocasionado pelo consumo de peixes contaminados por metilmercúrio. Alguns desses sintomas são observados nas populações indígenas e ribeirinhas avaliadas, como o prejuízo na função motora e cognitiva relatado entre indígenas Munduruku adultos (OLIVEIRA et al., 2021), o impacto na percepção visual das cores em crianças da região do Tapajós (FREITAS et al., 2018) e déficits neurológicos em crianças Munduruku (PERINI et al., 2021).

Em recente publicação, Bittencourt et al. (2022) demonstraram, diversas alterações moleculares, associadas ao aumento da citotoxicidade e apoptose, com padrão neurodegenerativo na camada de células de Purkinje e má coordenação motora e no equilíbrio. Segundo os autores, esses achados caracterizam um processo neurodegenerativo desencadeado pelo mercúrio inorgânico no cerebelo, que culminou em déficits nas funções motoras, que estão associados a diversas características moleculares e podem estar relacionados aos desfechos clínicos de pessoas expostas ao contaminante por longos períodos. Fagundes et al. (2022) apresentaram resultados de uma investigação do efeito da exposição ao metilmercúrio durante a vida

intrauterina e lactação nas funções motoras e cognitivas. A exposição durante o desenvolvimento do sistema nervoso central aumentou os níveis de mercúrio no parênquima hipocampal e cerebelar, desencadeou estresse oxidativo e diminuição de glutatona reduzida (GSH), aumentou os níveis de peroxidação lipídica e nitrito. Essas alterações resultaram em redução da locomoção espontânea e estimulada e déficits de memória de curto e longo prazo.

6. CONCLUSÕES

A totalidade de amostras analisadas atenderam ao critério estabelecido para pH da porção muscular do peixe fresco (inferior a 7,0). Por outro lado, os teores de bases voláteis totais para algumas amostras de Matrinxã e de Pescada excederam ao limite permitido se apresentando impróprias ao consumo.

Os teores de mercúrio total analisados por espectrometria de absorção atômica de combustão após amalgamação em ouro variaram amplamente nos peixes. A mediana mais elevada foi encontrada na Pescada, seguido pelo Jatuarana, Matrinxã, Pacu e Tambaqui. Houve correlação positiva significativa entre o teor do mercúrio total e o respectivo hábito alimentar ao longo da cadeia trófica.

Os peixes analisados apresentaram concentrações de mercúrio dentro do limite considerado seguro para consumo estabelecido pelas normas brasileiras para peixes predadores e não predadores. Porém, quanto a estimativa de exposição ao metilmercúrio as espécies de peixes de nível trófico elevado como Jatuarana, e principalmente de hábito piscívoro, como a Pescada, apresentaram teores de MeHg acima dos limites estabelecidos.

Portanto, a partir dos resultados obtidos se sugere observar com cautela a ingestão dietética dos peixes fornecidos no município de Humaitá. Dentre as espécies analisadas o Tambaqui pode ser ingerido sem restrições, Matrinxã e Pacu podem ser consumidos moderadamente e Jatuarana e Pescada devem ser evitados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 487 de 26/03/2021. Dispõe sobre os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos, os princípios gerais para o seu estabelecimento e os métodos de análise para fins de avaliação de conformidade. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/alimentos/contaminantes>. Acesso em: 07-03-23.

ANVISA-Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n.42, 29 de agosto de 2013. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. Brasília: ANVISA, 2013.

ANDRADE, R.O. Áreas da Amazônia alagadas por hidrelétricas podem aumentar níveis de mercúrio em peixes consumidos por moradores locais. Revista Pesquisa FAPESP, v. 19(265): p. 61-63, 2018.

ASSIS, L.O.; DUARTE, M.C.K.H.; FRANCO, R.M. Processamento tecnológico de pescado como barreira para o crescimento microbiano, 2021. Disponível em: <https://portalefood.com.br/artigos/processamento-tecnologico-de-pescado-como-barreira-para-o-crescimento-microbiano/>. Acesso em: 22-03-23.

AZEVEDO, L.S.; PESTANA, I.A.; NERY, A.F.C.; BASTOS, W.R.; SOUZA, C.M.M. Variation in Hg accumulation between demersal and pelagic fish from Puruzinho Lake, Brazilian Amazon. Ecotoxicology, v. 28, n. 10, p. 1143–1149, 2019.

BITTENCOURT, L.O.; CHEMELO, V.S.; ARAGÃO, W.A.B.; PUTY, B.; DIONIZIO, A.; TEIXEIRA, F.B.; FERNANDES, M.S.; SILVA, M.C.F.; FERNANDES, L.M.P.; OLIVEIRA, E.H.C.; BUZALAF, M.A.R.; CRESPO-LOPEZ, M.E.; MAIA, C.S.F.; LIMA, R.R. From molecules to behavior in long-term inorganic mercury intoxication: unraveling proteomic features in cerebellar neurodegeneration of rats. International Journal of Molecular Sciences, v. 23, n. 111, p. 1-17, 2022.

BRASIL. Portaria nº 185, de 13 de maio de 1997 - Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Peixe Fresco (Inteiro e Eviscerado). BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 42, de 20 de dezembro de 1999, MAPA, 1999. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/plano-de-nacional-de-controle-de-residuos-e-contaminantes/documentos-da-pncrc/instrucao-normativa-sda-n-o-42-de-20-de-dezembro-de-1999.pdf>. Acesso em: 05-04-23.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Guia alimentar para a população brasileira / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica. – 2. ed., 1. reimpr. – Brasília: Ministério da Saúde, 156 p. 2014.

BRASIL. Regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal.

BRASIL. Ministério das relações exteriores – MRE: Decreto nº 9.470 de 14 de agosto de 2018. Promulga a convenção de Minamata sobre mercúrio, firmada pela república federativa do Brasil. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2015-2018/2018/decreto/d9470.htm. Acesso em: 07-03-23.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Instrução Normativa - In Nº 160, de 1º de Julho de 2022. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Pescado: Manual de procedimentos de inspeção e fiscalização de pescado e derivados em estabelecimentos sob inspeção federal (SIF), 2ª ed. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde - Serviços e Informações do Brasil. Estudo revela altos índices de mercúrio em pescados e aponta riscos para o consumo em RR. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/saude-e-vigilancia-sanitaria/2023/02/estudo-revela-altos-indices-de-mercuro-em-pescados-e-aponta-riscos-para-o-consumo-em-rr>. Acesso em: 07-04-23.

CAMPOS, B.M. Peixes – Características físicas, comportamento, habitat, alimentação e reprodução, 2023. Disponível em: <https://www.gestaoeducacional.com.br/peixes-caracteristicas/>. Acesso em: 22-03-2023.

CAMPOS, D.S.; PAIVA, Z.C. Condição higiênico-sanitária do pescado comercializado em feira no município de Manaus-AM. Caderno de Pós-Graduação Fazu, v. 2, p. 1-7, 2011.

CASATTI, L. IN REIS, R.E; KULLANDER, S.O; FERRARIS, C.J. (eds.) Checklist of the Freshwater Fishes of South and Central America. Porto Alegre: EDIPUCRS, Brasil. Sciaenidae (Drums or croakers). p. 599-602, 2003.

CASTRO, N.S.S.; LIMA, M.O. The disconnection between the Brazilian health information system and the cases of mercury exposure in Amazon. Health Information Management Journal, v. 50, n. 1–2, p. 103–104, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1177/1833358319833063>.

CHANG, J.P.; PARIANTE, C.M.; SU, K.P. Omega-3 fatty acids in the psychological and physiological resilience against COVID-19. Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids. 2020; 161:102177. DOI: 10.1016/j.plefa.2020.102177.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. Joint FAO/WHO Food Standards Programme. Codex Committee on Contaminants in Foods. CF 10/INF 1, 2016.

COMMISSION REGULATION (EC) Nº 1881. Setting Maximum Levels for Certain Contaminants in Foodstuffs, 2006.

CORRÊA, F.C.; SANTOS, L.P.; SILVA, F.E.R.; BARBOSA, I.C.C.; ROSA, R.M.S. Avaliação físico-química e composição centesimal de filés de peixe comercializados em Belém do Pará, Brasil. Scientia Plena, v. 12 n. 12, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2016.127201>.

COSTA JUNIOR, J.M.F.; SILVA, C.I.M.; LIMA, A.A.S.; RODRIGUES JÚNIOR, D.; SILVEIRA, L.C.L.; SOUZA, G.S.; PINHEIRO, M.C.N. 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.

COSTA, A.F.; CUSTÓDIO, F.B.; SILVA, N.O.C.; LABANCA, R.A. Mercúrio em peixes comercializados em Minas Gerais e possíveis riscos associados ao seu consumo. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.6881>.

CRAVEIRO, C.; REAL, H.; BARBOSA, M.; XARÁ, S.; CARVALHO, T.; RODRIGUES, T. *Pescar Saúde*. Associação Brasileira de Nutricionistas, p. 1–65, 2016.

CUSTÓDIO, F.B.; ANDRADE, A.M. G.F.; GUIDI, L.R.; LEAL, C.A.G.; GLORIA, M.B.A. Total mercury in commercial fishes and estimation of Brazilian dietary exposure to methylmercury. *Journal Of Trace Elements In Medicine And Biology*. v. 62, p. 126641, 2020.

DENG, L.; LI, Y.; YAN, X.; XIAO, J.; MA, C.; ZHENG, J.; LIU, S.; YANG, R. Ultrasensitive and highly selective detection of bioaccumulation of methyl-mercury in fish samples via Ag⁰/Hg⁰ amalgamation. *Analytical Chemistry*, v. 87 n.4, p. 2452-2458, 2015.

DOF - Diario Oficial de La Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009. Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba. Secretaría de Gobernación, Ciudad de México, 2009.

DONADT, C.; COOKE, C.A.; GRAYDON, J.A.; POESCH, M.S. Mercury bioaccumulation in stream fish from an agriculturally dominated watershed. *Chemosphere*, v. 262, p. 128059, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128059>.

DOAEI, S.; GHOLAMI, S.; RASTGOO, S.; GHOLAMALIZADEH, M.; BOURBOUR, F.; BAGHERI, S. E. The effect of omega-3 fatty acid supplementation on clinical and biochemical parameters of critically ill patients with COVID-19: a randomized clinical trial. *Journal of Translational Medicine*, 2021; 19(1):128. DOI: 10.1186/s12967-021-02795-5.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA J*. 2012, 10, 24. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2985>.

EFSA - European Food Safety Authority. Statement on the benefits of fish/seafood consumption compared to the risks of methylmercury in fish/seafood. *EFSA Journal*, v. 13, n. 1, p. 3982, 2015.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa. O despertar para a ciência - Contribuições dos alunos de iniciação científica para a pesquisa socioeconômica na Amazônia (O cultivo de peixes no estado do Amazonas). 1º ed. 186 p; Brasília, 2022.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Meio-Norte/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Métodos para Análise de Pescados. 1ª edição, 40 p. Embrapa Meio-Norte, Teresina-PI, 2009.

FAGUNDES, B.H.F.; NASCIMENTO, P.C.; ARAGÃO, W.A.B.; CHEMELO, V.S.; BITTENCOURT, L.O.; EIRÓ-QUIRINO, L.; SILVA, M.C.F.; FREIRE, M.A.M.; FERNANDES, L.M.P.; FERRAZ MAIA, C.S.; CRESPO-LOPEZ, M.E.; LIMA, R.R.

Methylmercury exposure during prenatal and postnatal neurodevelopment promotes oxidative stress associated with motor and cognitive damages in rats: an environmental-experimental toxicology study. *Toxicology Reports*, v. 1, p. 563-574, 2022.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4060/cc0461en>.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020 –La sostenibilidad en acción. Roma: FAO, 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca9229es/ca9229es.pdf>. Acesso em: 04-04-23.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Consumo de Peixe. 2020.

FERNÁNDEZ, A.A.; REY, F.S. Relationship between energy allocation and reproductive strategy in *Trisopterus luscus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 416–417, p. 8–16, 2012.

FERREIRA, N.A.; ARAÚJO, R.V.; CAMPOS, E.C. Boas práticas no pré-abate e abate de pescado. *Pubvet*, v. 12, n. 7, p.1-14, 2018.

VIEIRA FILHO, J.P.B. O mercúrio na Amazônia, ação antropogênica, contaminação das populações indígenas e ribeirinhas pelo consumo dos peixes contendo mercúrio orgânico (MeHg), proveniente da atividade dos garimpos ilegais na procura do ouro. São Paulo: UNIFESP. Relatório de Pesquisa; no prelo, 2021.

FLÓREZ, L.R.; PÉREZ, F.M.; CONTRERAS, C.R. La química verde como herramienta para la gestión ambiental en laboratorios de ensayo: aplicación en la determinación de mercurio en aguas por espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío. *Revista EIA*, v. 20 n. 39, p. 1-24, 2023. DOI: <https://doi.org/10.24050/reia.v20i39.1644>.

FREITAS, J.; LACERDA, E.M.C.B.; MARTINS, I.C.V.S.; RODRIGUES, D.; BONCI, D.M.O.; CORTES, M.I.T.; CORVELO, T.C.O.; VENTURA, D.F.; SILVEIRA, L.C.L.; PINHEIRO, M.C.N.; SOUZA, G.S. Cross-sectional study to assess the association of color vision with mercury hair concentration in children from Brazilian Amazonian riverine communities. *NeuroToxicology*, v. 65, p. 60–67, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2018.02.006>.

FROESE, R.; D. PAULY. Editors. 2023. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (02/2023).

FSSR. FOOD SAFETY AND STANDARDS REGULATIONS, 2011. Disponível em: https://archive.fssai.gov.in/dam/%20jcr:755c6420A74b-44f4-9301-4ddd289b23fc/contaminant_regulations. Acesso em: 04-04-23.

FUENTES, E.F.; MOITY, N.; GONZÁLEZ, J.R.; VERA, S.A.; HARDISSON, A.; PAZ, S.; RUBIO, C.; MARTÍN, V.; GUTIÉRREZ, A.J. Mercury in fish tissues from the Galapagos marine reserve: Toxic risk and health implications. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 115, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104969>.

GAMA, C.S.; JASTER, G.G.; DIAS, B.E.; PINHEIRO, E. Percepção de risco à contaminação por mercúrio em peixes em Macapá, AP. *Revista Arquivos Científicos (IMMES)*, v. 3, n. 1, p. 142-146, 2020.

GENDZIER, J. Risk and regulation: methylmercury exposure and fish consumption. *Engineering and Natural Sciences*, v. 6 n. 1, p. 1-9, 2010.

GHASEMI, F.S.; WANG, F.; SINCLAIR, A.J.; ELLIOTT, G.; TURCHINI, G.M. How does high DHA fish oil affect health? A systematic review of evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*; v. 59 n. 11, p. 684-727; 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1425978>.

GOMES, B.L.C.; MALATO, A.M.P.; RIBEIRO, I.N.; SILVA, C.C.F.; SILVA, E.V.; SANTANA, D.S.; MARTINS, M.E.L.; LOURINHO, M.C.L.; SANTOS, R.C.; MONTEIRO, E.L. Análise temporal da exposição ao mercúrio na população ribeirinha da Amazônia: revisão integrativa. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, v. 13 n.5, p. 1-10; 2021. DOI: <https://doi.org/10.25248/REAS.e7172.2021>.

GOMES, M.V.T.; GARCIA, C.A.B.; SATO, Y.; MENDES, E.A.; MIRANDA, M.O.T.; COSTA, S.S.L. Determination and evaluation of mercury concentration in fish in the São Francisco River Watershed, Brazil. *Ambiente & Água*, v. 16 n. 2, e2647, 2021. DOI: 10.4136/1980-993X.

GUZMÁN, E.S.C. Métodos químicos para análise do pescado. In: Kai, M.; Ruivo, U. E. *Controle de qualidade do pescado*. Santos: Leopoldianum, 1988. p. 196-209.

HACON, S.S.; COSTA, M.O.; GAMA, C.S.; FERREIRA, R.; BASTA, P.C.; SCHRAMM, A.; YOKOTA, D. 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.

HATHAWAY, D.; PANDAV, K.; PATEL, M.; RIVA-MOSCOSO, A.; SINGH, B.M.; PATEL, A.; MIN, Z.C. Omega 3 Fatty Acids and COVID-19: A Comprehensive Review. *Infection & Chemotherapy*. 2020; 52(4):478-495. DOI: 10.3947/ic.2020.52.4.478.

HERRAIZ, A.D.; SILVA, M.N.S. Social and environmental diagnostic of the family mining in the river Madeira region, Humaitá, Brazilian Amazonia. *Revista Pegada*, v. 16(2), p. 202-226; 2015.

HEALTH CANADA - Health Canada's Maximum Levels for Chemical Contaminants in Food, 2020. Disponível em: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/food-safety/chemical-contaminants/maximum-levels-chemical-contaminants-foods.html>. Acesso em 04-04-2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2021. Consultado em 28 de março de 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia. Pesquisa de orçamentos familiares 2017-2018: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil. Coordenação de Trabalho e Rendimento. 120 p. Rio de Janeiro, 2020.

IDAM - Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas. Jaraquí é o peixe mais pescado, consumido e comercializado no Amazonas; 2020. Disponível em: <http://www.idam.am.gov.br/jaraqui-e-o-peixe-mais-consumido-no-amazonas/>. Acesso em: 04-03-23.

IDAM - Instituto De Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas. Relatório de Atividades - RAT 2021. – Manaus: 2021. 129p. Disponível em: <http://www.idam.am.gov.br/biblioteca/relatorio-de-atividades-rat-2020/>. Acesso em: 06-04-23.

IOMC (Inter-Organisation Programme for the Sound Management of Chemicals), 2008. Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure. UNEP / WHO, Geneva; 2008.

JAYEDI, A. Healthy and unhealthy dietary patterns and the risk of chronic disease: An umbrella review of meta-analyses of prospective cohort studies. *British Journal of Nutrition*. v. 124 n 11, p. 1133–44; 2020.

JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Safety evaluation of certain contaminants in food: Methylmercury. WHO Food Additives Series. 58, 269-315, 2007.

JÉGU, M.; REIS, R. E.; KULLANDER, S.O.; FERRARIS, C.J (eds.) Checklist of the Freshwater Fishes of South and Central America. Porto Alegre: EDIPUCRS, Brasil. Serrasalminae (Pacus and piranhas). p. 182-196, 2003.

KIRSCHNIK, P. Avaliação da estabilidade de produtos obtidos de carne mecanicamente separada de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*). 2007. 92 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas e Veterinárias, Centro de Aquicultura da UNESP, Jaboticabal.

KUS-YAMASHITA, M.M.M.; MANCINI FILHO J. Ácidos graxos. In: (2. ed.) ILSI ed. Série de Publicações ILSI Brasil - Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes. São Paulo: ILSI, v.17, 2017.

KUS-YAMASHITA, M.M.M.; MANCINI FILHO, J. Considerações sobre a participação dos ácidos graxos poli-insaturado ômega 3 na epidemia por COVID 19. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 5, n. 3, p. 8655-8673; 2022. DOI: 10.34119/bjhrv5n3-053.

LANZARIN, M.; RITTER, D.O.; NOVAES, S.F.; MONTEIRO, M.L.G.; ALMEIDA FILHO, E.S.; FRANCO, R.M.; CONTE, C.A.; FREITAS, M.Q. c Quality Index Method (QIM) for ice stored gutted Amazonian pintado (*Pseudoplatystoma fasciatum* × *Leiarius marmoratus*) and estimation of shelf life. *LWT-Food Science and Technology*, v.65, p.363-370, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.019>.

LIMA, M.A.L.; FREITAS, C.E.C.; MORAES, S.M.; DORIA, C.R.C. Small-scale fishing in the municipality of Humaitá, middle Madeira River, Amazonas, Brazil. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 42(4), p. 914–923; 2016.

LIMA, R.G.D.S.F.; SOARES, B.E.; BARROS, T.F.; MAZZONI, R.; CARAMASCHI, E.P. Length-weight relationships in 45 Neotropical fish species from the upper Tocantins River basin (Brazil). *Journal of Applied Ichthyology*, p. 1-9, 2022.

LUSTOSA, E.A.; MEDEIROS, T.K.F.; CABRAL, T.V.A.; SILVA, E. Bioacumulação de mercúrio (hg) em espécies ícticas. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*. v. 21 n. 1 p. 1-14; 2022.

MACHACEK, H. *World Records Freshwater Fishing*. (ed.), 2007. Disponível em: www.fishing-worldrecords.com. Acesso em: 07-04-23.

MENDES, V. A.; SANTOS, D.A.S.; FARIAS, E.S.; CARVALHO, D.P.; BASTOS, W.R. Prevalência e fatores associados à exposição ao mercúrio em comunidades ribeirinhas na Amazônia Ocidental Brasileira. *Revista Brasileira de Enfermagem*. v. 73(supl. 5): e20200100; 2020.

MCGRATH, D. G.; CASTELLO, L.; BRABO, M.F.; NEPSTAD, D.C. Policy brief can fish drive development of the Amazon Bioeconomy? San Francisco, CA, USA: Earth Innovation Institute, 2020. 8p.

MILHOMEM FILHO, E.O.; OLIVEIRA, C.S.B.; SILVEIRA, L.C.L.; CRUZ, T.M.; SOUZA, G.S.; COSTA JUNIOR, J.M.F.; PINHEIRO, M.C.N. A ingestão de pescado e as concentrações de mercúrio em famílias de pescadores de Imperatriz (MA). *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 19, n. 1, p. 14–25, 2016.

MOZAFFARIAN, D.; WU, J. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: Effects on risk factors, molecular pathways, and clinical events. *Journal of the American College of Cardiology*, v. 58 (20):2047–67, 2011.

MUNIR, M.A.; KHAN, B.; MIAN, Y.A.; RAFIQ, M.; SHAHZADI, S.; NAEEM, K.; AHMAD, I. Assessment of Hg accumulation in fish and scalp hair in fishing communities along river Swat, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 67159–67166, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15348-6>.

OLIVEIRA, R.C.; DOREA, J.G.; BERNARDI, J.V.E.; BASTOS, W.R.; ALMEIDA, R.; MANZATTO, A.G. Fish consumption by traditional subsistence villagers of the Rio Madeira (Amazon): Impact on hair mercury. *Annals of Human Biology*, v. 37 n. 5, p. 629–642, 2010.

OLIVEIRA, R.A.A.; PINTO, B.D.; REBOUÇAS, B.H.; ANDRADE, D.C.; VASCONCELLOS, A.C.S.; BASTA, P.C. Neurological impacts of chronic methylmercury exposure in munduruku indigenous adults: somatosensory, motor, and cognitive abnormalities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph181910270>.

OLIVEIRA, K.F.; LACERDA, L.D.; PERES, T.F.; BEZERRA, M.F.; DIAS, F.J.S. Emission factor and balance of mercury in fish farms in an artificial reservoir in NE Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 22(22), 2015. DOI: 10.1007/s11356-015-5102-6.

PeixesBR-Associação Brasileira da Piscicultura. Anuário Brasileiro da Piscicultura. 2023. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/>. Acesso em: 01-03-23.

PERINI, J. A.; SILVA, M.C.; VASCONCELLOS, A.C.S.; VIANA, P.V.S.; LIMA, M.O.; JESUS, I.M.; KEMPTON, J.W.; OLIVEIRA, R.A.A.; HACON, S.S.; BASTA, P.C. Genetic polymorphism of delta aminolevulinic acid dehydratase (Alad) gene and symptoms of chronic mercury exposure in munduruku indigenous children within the Brazilian Amazon.

International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 18, n. 16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18168746>.

PINTO, U.M.; LANDGRAF, M.; FRANCO, B.D.G.M. Deterioração Microbiana de Alimentos. In: Jackline Freitas Brilhante de São José; Monise Viana Abranches. (Org.). Microbiologia e Higiene de Alimentos – Teoria e Prática. 1ªed. Rio de Janeiro: Editora Rubio, 2019, v. 1, p. 33-52.

RADOMYSKI, A.; GIUBILATO, E.; CRITTO, A.; LIN, C.; MARCOMINI, A. Bioaccumulation of trace metals in aquatic food web. A case study, Liaodong Bay, NE China. Marine Pollution Bulletin, v. 137, p. 555-565, 2018.

REKSTEN, A.M.; BØKEVOLL, A.; FRANTZEN, S.; LUNDEBYE, A.K.; KÖGEL, T; KOLÅS, K. Methods Sampling protocol for the determination of nutrients and contaminants in fish and other seafood – The EAF-Nansen Programme. Methods. V. 7:101063; 2020.

RIBEIRO, M.S.; CASTILHOS, Z.C.; DOMINGUES, L.M.B. Avaliação espaço-temporal de teores de mercúrio em peixes da Amazônia (2000-2022). XXX Jornada de Iniciação Científica e VI Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 2022.

RITTER, D.O.; LANZARIN, M.; NOVAES, S.F.; MONTEIRO, M.L.G.; ALMEIDA FILHO, E.S.; MÁRSICO, E.T.; FRANCO, R.M.; CONTE-JUNIOR, C.A.; FREITAS, M.Q. Quality Index Method (QIM) for gutted ice-stored hybrid tambatinga (*Colossoma macropomum* × *Piaractus brachypomum*) and study of shelf life. LWT-Food Science and Technology, v.67, p.55-61, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.041>.

ROGERO, M.M; LEÃO, M.C; SANTANA, T.M; PIMENTE, L.M.V.M.B; CARLINI, G.C.G. Potential benefits and risks of omega-3 fatty acids supplementation to patients with COVID-19. Free Radical Biology and Medicine, v. 20 n. 156 p. 190-199, 2020. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2020.07.005.

RODRIGUES, S.L.; ASSIS, R.C.; CELEDONIO, R.F.; VALENTIM, A.B.; MAIA, C.S.C. Teor de mercúrio em peixes do Nordeste brasileiro: uma revisão integrativa. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 1, p.223-231, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0019>.

SANDSTROM, B.; LYHNE, N.; PEDERSEN, J.I.; ARO, A.; THORSDDOTTIR, I.; BECKER, W. Nordic nutrition: Recommendations. Vol. 40, Scandinavian Journal of Nutrition/Naringsforskning, p. 1-629 p, 2012.

SANTOS, G.M.; SANTOS, A.C.M. Sustentabilidade da pesca na Amazônia. Estudos Avançados, v. 19, n. 54, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/Ng4SsFTVqL6WwfHkJ4pGmwp/?format=pdf>. Acesso em: 06-04-23.

SILVA, A.G.; ALENCAR, M.E.P.; RODRIGUEZ, A.F.R.; LACERDA, R.F. Efeitos da ingestão de óleo de peixe para a saúde da população. Multidisciplinary Sciences Reports, v. 2 n. 2, 2022. DOI: <https://doi.org/10.54038/ms.v2i2.20>.

SILVA, S.M.; RAMIREZ, J.R.B.; SILVA, S.M.; FILHO, J.V.D.; MARMENTINI, R.P.; SCHONS, S.V.; CAVALI, J. Quality assessment of amazonian fish from fish farming stored

on ice. *Acta Veterinaria Brasilica*, v.16 p.134-140, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21708/avb.2022.16.2.10492>.

SIQUEIRA, A. B.; LANZARIN, M.; MARTINS, E.F.F.; ALMEIDA FILHO, E.S. Avaliação de deterioração de Tambatinga (*Colossoma macropomum* X *Piaractus brachypomus*), eviscerada durante estocagem em gelo. *Revista Higiene Alimentar*, v. 29, n. 248/249, p. 218-223, 2015.

SINKUS, W.; SHERVETTE, V.; BALLENGER, J.; REED, L.A.; PLANTE, C.; WHITE, B. Mercury bioaccumulation in offshore reef fishes from waters of the Southeastern USA. *Environmental Pollution*, v. 228, p. 222–233, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.057>.

SOARES, J.M.; GOMES, J.M.; ANJOS, M.R.; SILVEIRA, J.N.; CUSTÓDIO, F.B.; GLORIA, M. B. A. Mercury in fish from the Madeira River and health risk to Amazonian and riverine populations. *Food Research International*, v. 109, p. 537–543, 2018.

SOUZA, J.; BATISTA, G.; BERNSTEIN, A. Mercúrio na Amazônia: a bomba relógio bioquímica. *Educação Pública*, v. 20, n. 22, p. 1–8, 2014.

USEPA. Food & Drug Administration. Eating fish: What pregnant women and parents should know, 2017. Disponível em: <https://www.fda.gov/downloads/food/foodborneil%20nesscontaminants/metals/ucm537120.pdf>. Acesso em: 08-04-23.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. – Method 7473 (SW-846): Mercury in solids and solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry. 2007. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/epa-7473.pdf>. Acesso em: 04-04-23.

VASCONCELLOS, A.C.S.; HALLWASS, G.; BEZERRA, J.G.; ACIOLE, A.N.S.; MENESES, H.N.M.; LIMA, M.O.; JESUS, I.M.; HACON, S.S.; BASTA, P.C. Health Risk Assessment of mercury exposure from fish consumption in Munduruku Indigenous Communities in the Brazilian Amazon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 15, p. 7940, 2021.

WAN, Y.; ZHENG, J.; WANG, F.; LI, D. Fish, long chain omega-3 polyunsaturated fatty acids consumption, and risk of all-cause mortality: a systematic review and dose-response meta-analysis from 23 independent prospective cohort studies. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, v. 26 n.5 p. 939–956; 2017.

WHO/ UNEP - World Health Organization / United Nations Environment Programme. *Guidance for Identifying Populations at Risk from Mercury Exposure*. Genebra, Suíça: WHO, 2008.

XIMENES, L.F. Produção de Pescado no Brasil e no nordeste brasileiro. *Caderno Setorial – ETENE*, nº 150, 2021.

ZANIBONI FILHO, E.; CARVALHO, J.L.; CORREA, M.A.V.; RESENDE, E.K. Caracterização morfológica do matrinxã, *Brycon cephalus* (Günther, 1869) (Teleostei: Characidae). *Revista Brasileira de Biologia* v. 48 n. 1 p. 41-50, 1988.