

UNIVERSIDADE VILA VELHA - ES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

ALEXANDRA CAROLINE DA SILVA VERONEZ

**RISCO A SAÚDE HUMANA AO CONSUMO DE PESCADO MARINHO
CONTAMINADO COM MERCÚRIO NO ATLÂNTICO SUL**

LINHA DE PESQUISA

Fisiopatologia de Doenças Humanas e Animais

ORIENTADOR

PROF. DR. ALESSANDRO COUTINHO RAMOS

VILA VELHA

FEVEREIRO / 2025

UNIVERSIDADE VILA VELHA - ES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

RISCO A SAÚDE HUMANA AO CONSUMO DE PESCADO MARINHO
CONTAMINADO COM MERCÚRIO NO ATLÂNTICO SUL

Tese apresentada à Universidade Vila Velha, como pré-requisito do Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, para a obtenção do grau de Doutora em Ciências Farmacêuticas.

ALEXANDRA CAROLINE DA SILVA VERONEZ

VILA VELHA
FEVEREIRO / 2025

Catálogo na publicação elaborada pela Biblioteca Central / UUV-ES

A474c Veronez, Alexandra Caroline da Silva.

Risco a saúde humana ao consumo de pescado marinho contaminado com mercúrio no Atlântico Sul / Alexandra Caroline da Silva Veronez. – 2025.

55 f.: il.

Orientador: Alessandro Coutinho Ramos.

Tese (doutorado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Vila Velha, 2025.

Inclui bibliografias.

1. Contaminação. 2. Atum (Peixe). 3. Mercúrio. 4. Alimentos - Consumo I. Ramos, Alessandro Coutinho. II. Universidade Vila Velha. III. Título.

CDD 615.954

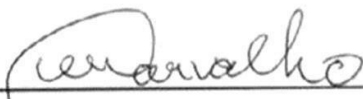
ALEXANDRA CAROLINE DA SILVA VERONEZ

**RISCO A SAÚDE HUMANA AO CONSUMO DE PESCADO MARINHO
CONTAMINADO COM MERCÚRIO NO ATLÂNTICO SUL**

Tese apresentada à Universidade
Vila Velha, como pré-requisito do
Programa de Pós-graduação em
Ciências Farmacêuticas, para a
obtenção do grau de Doutora em
Ciências Farmacêuticas.

Aprovado em 27 de fevereiro de 2025,

Banca examinadora:



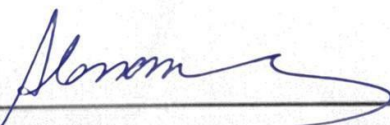
Prof.(a) Dra. Maria Araci Grapiuna Carvalho (UVV)



Prof.(a) Dra. Ana Claudia Hertel Pereira (Faculdade Multivix Vitória)



Prof. Dr. Levy de Carvalho Gomes (FIU)



Prof. Dr. Alessandro Coutinho Ramos (UVV)

Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado força e determinação para me dedicar ao projeto, e sabedoria para saber conduzir nos momentos de dúvidas. Ao professor Dr. Levy de Carvalho Gomes, que me orientou e acolheu em todos os momentos, por sua amizade, apoio, incentivo, orientação, pelos conselhos que me ajudaram a enfrentar os desafios da pesquisa e ter conseguido chegar até este momento. Ao professor Dr. Alessandro Coutinho Ramos, que assumiu a reponsabilidade de me orientar no meio do caminho, mas sempre incentivando e ajudando nas dificuldades encontradas. Meu muito obrigada vocês fizeram a diferença na minha formação.

Aos meus familiares, que sempre estiveram ao meu lado me incentivando a continuar e não desistir do meu sonho do doutorado. Em especial minha mãe e meu pai (*in memoria*) vocês são minha base e referência, pai sei que de onde estiver estará orgulhoso da minha conquista. Amo vocês!

Ao eterno LabPeixe, que passou por inúmeras divisões nestes últimos 4 anos, mas que me fizeram crescer e me dedicar. Aos meus estagiários B1 e B2, Lavínia e Gabriel, vocês foram excelentes estagiários. Obrigada por tudo.

A professora Dra Ana Carolina Lucheiri, UFRN, que me acolheu para realização da coleta de Natal, e o doutorando Thales e mestrando Jessica, que auxiliaram na coleta. A professora Dra Maria Tereza, UFES, que ajudou nas análises de mercúrio, e sua equipe do LabPetro-UFES: Larissa e Bruna. As peixarias de Itaoca/ES, Salvador/BH e Baía Formosa/RN que ajudaram na aquisição dos exemplares de atum.

A professora Dra Christiane Mileib, pelas orientações nas análises estatísticas. Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas que contribuíram para minha formação acadêmica e desenvolvimento da tese. Aos amigos do laboratório Thais, Tatiane, Gabriel, Gustavo, Kaique, Felipe, Erika, que contribuíram para realização do trabalho. Aos demais laboratórios do biopráticas (UVV) e funcionários que ajudaram no desenvolvimento do trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pela concessão da bolsa e financiamento da pesquisa, e a Universidade Vila Velha pela oportunidade de crescimento profissional.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 Mercúrio.....	10
2.2 Ciclo do mercúrio e efeito sobre a biota	12
2.3 Bioacumulação e Biomagnificação	14
2.4 Consumo de pescado e legislação	16
3 REFERÊNCIAS	18
Capítulo 1: Determinação da concentração de mercúrio total e avaliação do risco à saúde humana	21
1 INTRODUÇÃO.....	22
2 OBJETIVOS.....	26
2.1 Objetivo geral.....	26
2.2 Objetivo específicos	26
3 HIPÓTESE	27
4 MATERIAL E METODOS.....	28
4.1 Aquisição dos espécimes de peixe	28
4.2 Determinação do mercúrio total	29
4.3 Análise de risco à saúde humana	30
4.4 Análise estatística	31
5 RESULTADO E DISCUSSÃO	32
5.1 Concentração de mercúrio total.....	32
5.2 Risco à saúde humana.....	33
6 CONCLUSÃO	36
7 REFERÊNCIAS	37
Capítulo 2: Abordagem não letal para avaliação de mercúrio total em <i>Thunnus atlanticus</i>	42
1 INTRODUÇÃO.....	43
2 OBJETIVOS.....	45
2.1 Objetivo geral.....	45
2.2 Objetivo específico	45
3 HIPÓTESE	46

4 MATERIAL E METODO	47
4.1 Aquisição dos exemplares de peixe	47
4.2 Determinação do mercúrio total	47
4.3 Análise estatística	48
5 RESULTADO E DISCUSSÃO	49
6 CONCLUSÃO	53
7 REFERÊNCIAS	54

RESUMO

VERONEZ, Alexandra Caroline da Silva, D.Sc, Universidade Vila Velha – ES, Fevereiro de 2025. **Risco a saúde humana ao consumo de pescado marinho contaminado com mercúrio no Atlântico Sul.** Orientador: Alessandro Coutinho Ramos.

O mercúrio (Hg) é um elemento natural que tem a capacidade de ser transportado para longas distâncias e depositado ou sedimentado em vários ambientes, seja de maneira direta ou indireta. A exposição de animais e humanos ao Hg e MeHg pode prejudicar em diferentes níveis de organização biológica, aumentando as concentrações desses elementos ao longo da cadeia trófica. O consumo de pescado tem crescido exponencialmente em todo mundo, pois o pescado é considerável um alimento saudável, sendo considerado uma das melhores fontes de proteína para a dieta humana. Portanto, a contaminação de organismos aquáticos por mercúrio é preocupante, tanto ecologicamente quanto no contexto de saúde pública. O objetivo do trabalho foi avaliar a contaminação do mercúrio em espécies de peixes marinhos consumidos no Atlântico Sul e associar com risco a saúde humana pelo consumo desse pescado. Por fim, determinar um método não invasivo para monitoramento das concentrações de mercúrio. Os espécimes de *Thunnus atlanticus* foram adquiridos junto a pescadores no momento desembarque, em Piúma, Salvador e Natal. Após a coleta dos indivíduos foram transportados para o laboratório. As amostras de tecido muscular e nadadeiras foram coletadas, para quantificação de mercúrio total pelo analisador DMA-80. Nossos dados mostraram que as concentrações de mercúrio estavam dentro do limite do previsto pela ANVISA sendo os valores considerados seguros para consumo pela legislação brasileira, porém excedem quando comparadas com legislações internacionais. Pela análise de Pearson é possível avaliar uma forte correlação entre a concentração de mercúrio na nadadeira e mercúrio no músculo.

Palavras-chave: Mercúrio; *Thunnus atlanticus*; teia alimentar; consumo.

ABSTRACT

VERONEZ, Alexandra Caroline da Silva, D.Sc, Universidade Vila Velha – ES, Fevereiro de 2025. **Risk to human health from consumption of marine fish contaminated with mercury in the South Atlantic.** Orientador: Alessandro Coutinho Ramos.

Mercury (Hg) is a natural element that can be transported over long distances and deposited or sedimented in various environments, either directly or indirectly. Exposure of animals and humans to Hg and MeHg can harm different levels of biological organization, increasing the concentrations of these elements throughout the food chain. Fish consumption has grown exponentially worldwide, as fish is considered a healthy food and is considered one of the best sources of protein for the human diet. Therefore, contamination of aquatic organisms by mercury is a concern both ecologically and in the context of public health. The objective of this study was to evaluate mercury contamination in marine fish species consumed in the South Atlantic and to associate the risk to human health from the consumption of this fish. And to determine a non-invasive method for monitoring mercury concentrations. Specimens of *Thunnus atlanticus* were acquired from fishermen upon landing in Piúma, Salvador and Natal. After collection, the individuals will be transported to the laboratory. Muscle tissue and fin samples were collected for quantification of total mercury using a DMA-80 analyzer. Mercury concentrations were within the limits established by ANVISA, and values considered safe for consumption by Brazilian legislation, but exceeded those levels when compared to international legislation. Pearson's analysis showed a strong correlation between mercury concentrations in the fin and mercury in the muscle.

Keywords: Mercury; *Thunnus atlanticus*; food web; consumption.

1 INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas podem causar impactos ao ambiente natural em diferentes magnitudes, como a emissão de poluentes que como consequência gera a contaminação da água (Cerveny *et al*, 2016). Certos metais tóxicos, como mercúrio, são considerados persistentes nos ambientes, devido à ausência de degradação natural entrando na teia alimentar por meio da biomagnificação (Rodrigues *et al*, 2019). O mercúrio possui um ciclo biogeoquímico complexo, com interações com diversos elementos aos quais pode se ligar, passando por transformações químicas que aumentam sua toxicidade. Sua presença no ambiente pode ocorrer naturalmente, no entanto, com o passar das décadas e o aumento das atividades industriais houve uma elevação na emissão desse metal (Azad *et al*, 2019).

Os indivíduos presentes no ambiente aquático absorvem os contaminantes por diversas vias de exposição e compartimentos presentes no meio. A exposição de animais e seres humanos ao mercúrio pode comprometer diversos níveis de organização biológica, causando efeitos adversos no sistema nervoso, atravessando a barreira placentária, se estabelecendo nas células sanguíneas, nas terminações nervosas e nos tecidos musculares, comprometer o desenvolvimento do cérebro de feto (Bjørklund *et al*, 2017; Paiva *et al*, 2017).

O pescado tem grande valor nutricional para saúde humana, sendo uma rica fonte de proteína, e essencial para subsistência de comunidades pesqueiras. No entanto o consumo de peixe também está associado a ingestão de contaminantes, por exemplo o mercúrio, que é assimilado ao longo da cadeia trófica, resultando no aumento da sua toxicidade (Paiva *et al*, 2017). Os peixes são organismos usados como indicadores da presença de poluentes no ambiente devido à sua mobilidade e hábitos de forrageamento, podendo ocupar diferentes níveis na teia alimentar. O estudo de espécies residentes permite avaliar a qualidade do ambiente e os riscos à saúde humana associado ao consumo de peixe (Rodrigues *et al*, 2019). Dessa forma, a contaminação de organismos aquáticos metais tóxicos constitui uma preocupação significativa, tanto do ponto de vista ecológico quanto no contexto de saúde pública (Alam, Rohani e Hossain, 2023).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Mercúrio

O mercúrio (Hg) é conhecido como poluente atmosférico persistente, estando presente nos compartimentos ambientais. É um metal que está presente no ambiente na forma líquida (temperatura ambiente), sendo muito volátil e frequentemente liberado como vapor para atmosfera (Das *et al*, 2004; Panebianco *et al*, 2011; Souza, 2016). Devido a estas características é transportado para longas distâncias e depositado ou sedimentado em vários ambientes, estando presente principalmente no ambiente aquático, tendo a capacidade de bioacumular entrando na cadeia alimentar e sendo transferido nos níveis tróficos, por ser um metal não essencial extremamente tóxico de difícil excreção (Azad *et al*, 2019; Rodrigues *et al*, 2019; Pavithra *et al*, 2023).

É encontrado no ambiente de forma natural através do intemperismo, emissões dos gases de vulcões para atmosfera, gaseificação continental, evasão dos oceanos e incêndios florestais e extraído de minérios de cinábrio (Nascimento e Chasin, 2001; Rodrigues *et al*, 2019; Pavithra *et al*, 2023). A presença de sua forma elementar na atmosfera é rara, sendo seu tempo de permanência neste ambiente de 0,8 a 1,7 anos (Pavithra *et al*, 2023).

No relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), de 2015 foi observado que a emissão de mercúrio era de, aproximadamente, 2220 toneladas oriundo de fontes antrópicas (Figura 1), sendo considerado um poluente perigoso pelo PNUMA (Pavithra *et al*, 2023). As fontes antrópicas incluem fábrica de tintas, atividades metalúrgicas indústrias de ferro e aço, indústrias de cimento, mineração e indústria de ouro, indústrias de metais não ferrosos fundição, indústria de cloro-álcalis, indústrias de produção direta de mercúrio (Beckers e Rinklebe, 2017; Pavithra *et al*, 2023) e queima de carvão mineral (Nascimento e Chasin, 2001; Rodrigues *et al*, 2019).

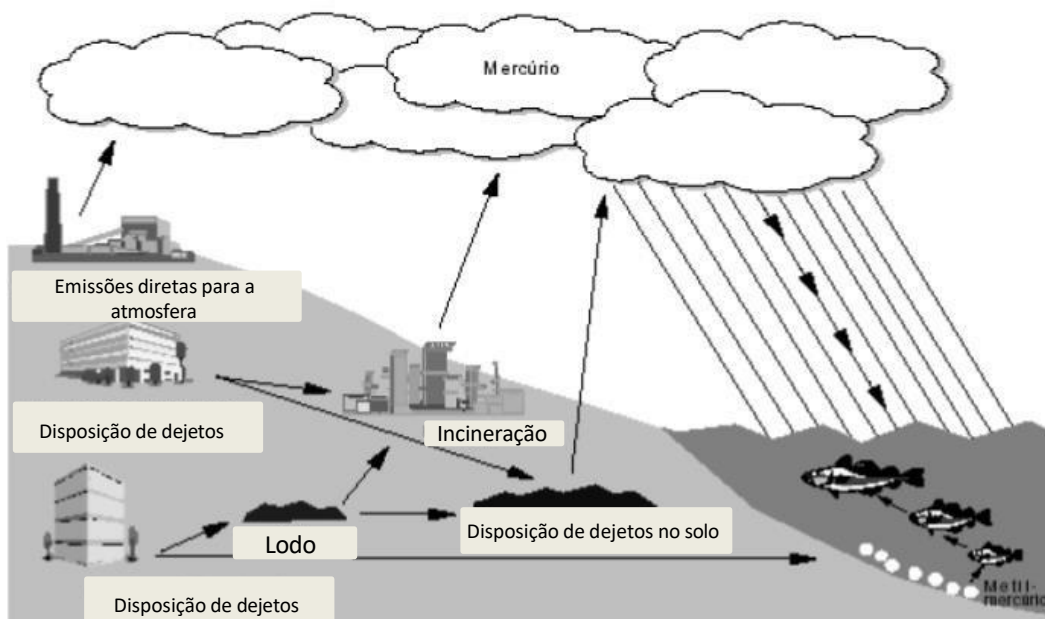


Figura 1: Fontes antrópicas do mercúrio. Fonte: Nascimento e Chasin, 2001.

O desastre mais conhecido com envenenamento de metilmercúrio (MeHg) aconteceu na cidade de Minamata, no Japão. Uma fábrica de produtos químicos despejou efluentes com altas concentrações de compostos de mercúrio, em especial MeHg durante os anos de 1932 a 1968. A doença de Minamata afetou a vida selvagem e da população local, acumulando Hg nos peixes que os moradores se alimentavam. Os primeiros sintomas nas pessoas contaminadas pelo efluente começou em 1950. Estudos apontam que cerca de 3 mil pessoas foram vítimas da doença, das quais 700 morreram pelo envenenamento e muitas ainda vivem com sequelas causadas pela contaminação (FIOCRUZ, 2018).

A Convenção de Minamata sobre o mercúrio foi criada como homenagem às vítimas do envenenamento, e teve sua origem nas discussões que ocorreram no âmbito do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), sobre os riscos do uso de Hg. A partir da Decisão 25/5 UNEP/GC de 2009, que convocou os governos a elaborar um instrumento legalmente vinculante para o controle do uso de Hg visando proteger à saúde humana e ao meio ambiente das emissões e liberação antropogênicas de Hg e de compostos de Hg (Brasil 2018). Foi iniciado um processo de negociação global, chamando a atenção para os riscos ambientais e à saúde humana relacionados à emissão (IBAMA, 2022), reconhecendo o Hg como uma substância química que causa preocupação global devido à sua propagação

atmosférica de longa distância, sua persistência no meio ambiente depois de ser introduzido em atividades antrópicas, e sua capacidade de bioacumular nos ecossistemas e seus efeitos significativamente negativos na saúde humana e no meio ambiente (Brasil 2018),

Em agosto de 2018, se deu a publicação do Decreto nº9470 em que foram estabelecidas as obrigações para o controle de fontes e comércio de mercúrio, controle de emissões, o banimento da mineração primária da substância, os procedimentos para a importação e exportação, o gerenciamento e o monitoramento de locais contaminados por mercúrio, o armazenamento e a destinação adequada da substância. Pela Portaria MMA 125/2021 o IBAMA assumiu a responsabilidade de verificar se o uso do mercúrio está dentro das modalidades previstas na Convenção de Minamata (BRASIL, 2018; 2021).

2.2 Ciclo do mercúrio e efeitos sobre a biota.

O mercúrio pode ocorrer de três formas na natureza, como mercúrio elementar (Hg^0), mercúrio inorgânico, principalmente na forma de sais (HgCl_2 ; HgS) e mercurioso (Hg_2Cl_2); e na forma orgânica, como o etil ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Hg}^+$) e o metilmercúrio (HgCH_3^+) (Bjørklund *et al*, 2017; Rodrigues *et al*, 2019).

O ciclo do Hg no ambiente é caracterizado por várias rotas, ocorrendo a liberação e o transporte pela atmosfera, com a deposição das espécies de mercúrio na água e no solo (Bisinoti e Jardim, 2004; Rodrigues *et al*, 2019). No ciclo do Hg no ambiente a sua forma elementar pode sofrer com as interações com fontes antrópicas (Figura 2), ocorrendo processos oxidativos (Hg^{+2}), formando combinações com cloro, oxigênio e enxofre (HgCl_2 , HgS) estas ligações químicas tornam o elemento inorgânico. E pelo processo de metilação pode mudar o mercúrio inorgânico para espécie química orgânica (HgCH_3^+ , $\text{C}_2\text{H}_5\text{Hg}^+$), este processo ocorre pela ação de microrganismos, especialmente bactérias redutoras de enxofre (Bisinoti e Jardim, 2004; Rodrigues *et al*, 2019), a luz e o pH também influenciam na transformação do Hg no ambiente. O metilmercúrio (MeHg) é considerado a espécie química mais tóxica e ocorre principalmente no sistema aquático, dependendo do teor de oxigênio e da

profundidade do sistema aquático, a biodisponibilidade deste metal é alta quando comparado ao mercúrio elementar (Bisinoti e Jardim, 2004; Bjørklund *et al*, 2017; Paranjape e Hall, 2017; Pavithra *et al*, 2023).

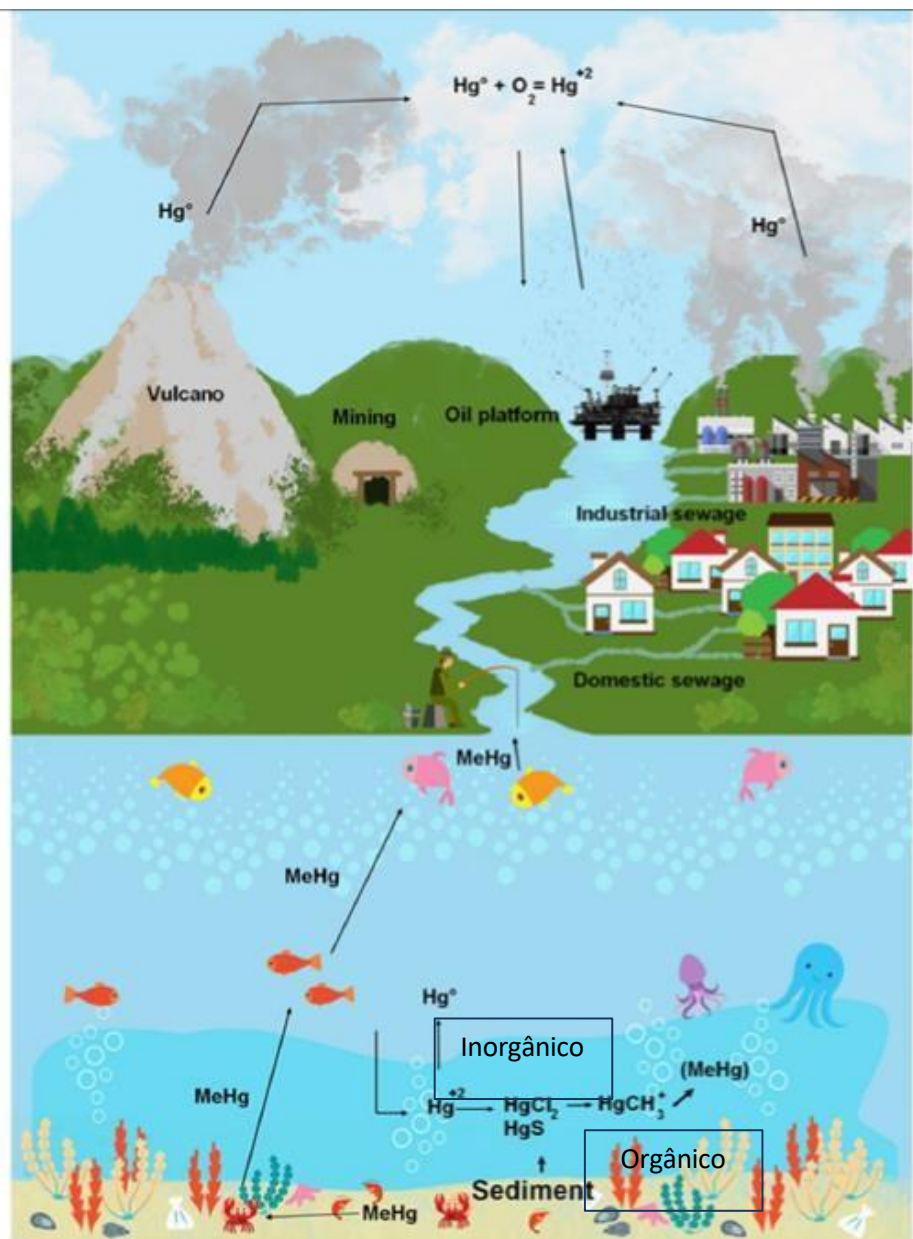


Figura 2: Ciclo do Mercúrio. Fonte: Rodrigues *et al*, 2019.

O ambiente aquático é o sistema que compreende uma rede complexa de interação entre fatores bióticos e abióticos, sendo que cada um desempenha uma função na organização da teia alimentar. Por isso uma preocupação com as interações ecológicas no ambiente aquático é a contaminação com elementos tóxicos (Rodrigues

et al, 2019). Este ambiente também é considerado a principal via de transferência de diversos poluentes, a exposição dos seres vivos presentes neste ambiente sendo capaz de assimilar e reter estes contaminantes acarretando o aumento da concentração em seu sistema corporal, podendo causar efeitos deletérios (Branco *et al*, 2007; Ferreira *et al*, 2012; Zagatto e Bertoletti, 2014; Lino *et al*, 2018; Azad *et al*, 2019).

Embora o mercúrio na crosta terrestre seja predominantemente inorgânico, ao entrar em ambientes aquáticos, ele pode se transformar em metilmercúrio (MeHg), uma forma orgânica solúvel e facilmente incorporada na cadeia alimentar. O MeHg se acumula mais nos tecidos biológicos do que as formas inorgânicas do Hg, representando cerca de 90% do mercúrio nos peixes, e em organismos de níveis tróficos mais baixos esse percentual é cerca de 30% (James, 2013).

Os organismos, portanto, estão expostos ao Hg em algum grau (Azad *et al*, 2019). O efeito tóxico do Hg no organismo depende de sua espécie química, dose e tempo de exposição, podendo levar a distúrbios anatômicos, fisiológicos, bioquímicos e comportamentais quando expostos a doses subletais (Silva e Lima, 2020). Os peixes, por exemplo, são expostos ao Hg, através da dieta, apresentando o potencial de bioacumulação na cadeia alimentar (Paiva *et al*, 2017; Azad *et al*, 2019). A exposição humana ao Hg acontece principalmente pelo consumo de pescado que acumula no tecido destes animais, onde se concentra a maior quantidade do metal sendo transferido pela cadeia trófica (Santos *et al.*, 2006; Kasper *et al.*, 2007; Machado & Oliveira, 2023; Rodrigues *et al.*, 2023; Vieira *et al.*, 2023).

2.3 Bioacumulação e Biomagnificação

A assimilação e retenção de contaminantes podem ocorrer de forma direta, por meio do ambiente onde substâncias químicas são liberadas. Os indivíduos presentes nesse ambiente absorvem os contaminantes por diversas vias de exposição como respiração, nutrição e epiderme. Por meio dos compartimentos presentes no meio aquático, como água e sedimento, ocorrendo a bioacumulação (Zagatto e Bertoletti, 2014; Azad *et al*, 2019).

O processo de bioconcentração em peixe (Figura 3), ocorre quando o contaminante que está dissolvido na água, atravessa o epitélio branquial, posteriormente é transportado pelo sangue através de tecidos vascularizados e seguem para os tecidos de reserva dos indivíduos, onde é constituído de depósitos para substâncias hidrofóbicas (Zagatto e Bertoletti, 2014; Azad *et al*, 2019; Yoshino *et al*, 2020).

O resultado da bioacumulação de contaminantes é a absorção indireta, ou biomagnificação (Figura 3), este processo é definido como o aumento nas concentrações das substâncias químicas através das transferências do produto químico. Esta transferência ocorre principalmente através da dieta e, como consequência a cadeia alimentar e a transferência destes contaminantes através dos níveis tróficos (Zagatto e Bertoletti, 2014; Yoshino *et al*, 2020).

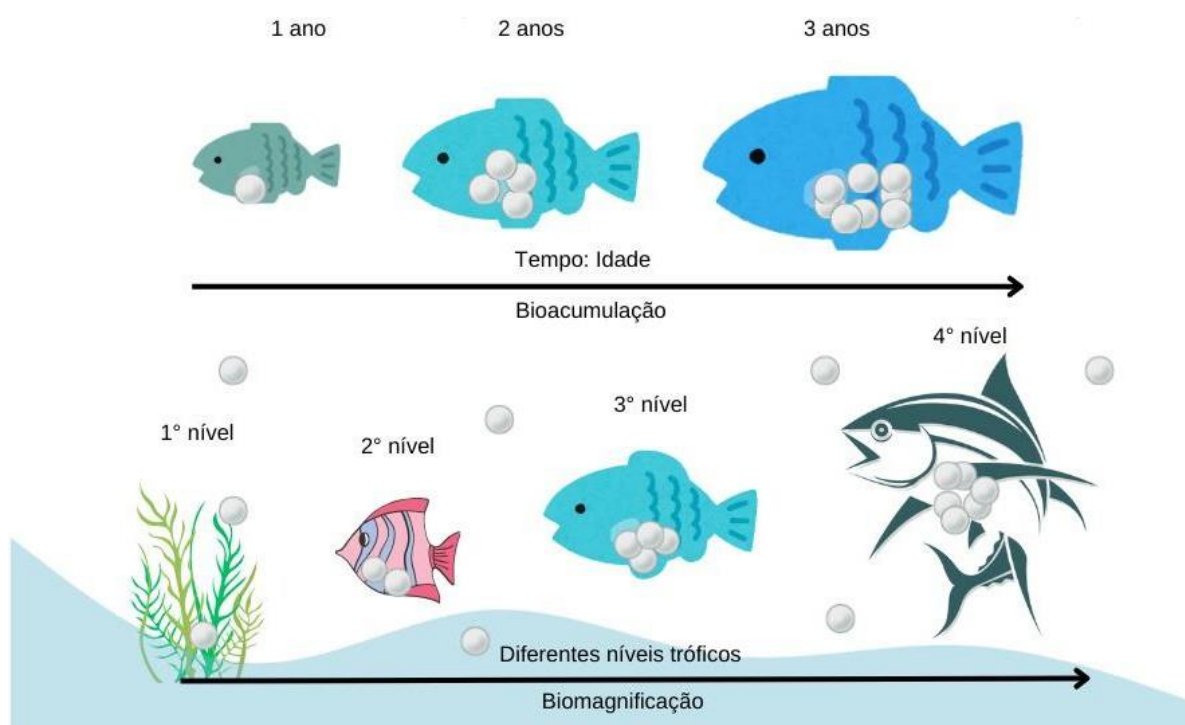


Figura 3: Processo de bioacumulação e biomagnificação. Fonte: A autora.

A exposição de animais e humanos ao Hg e suas espécies químicas pode prejudicar em diferentes níveis de organização biológica e aumentar os níveis ao longo da cadeia trófica (Silva e Lima, 2020). Isso se deve à sua lenta metabolização e o tempo de meia-vida, em função da espécie, variando geralmente de 1 a 3 anos.

2.4 Consumo de pescado e legislação

O consumo de pescado tem crescido de maneira exponencial em todo mundo, pois o é considera um alimento saudável, sendo a melhor fonte de proteína para a dieta humana (Costa *et al*, 2015; Galimberti *et al*, 2016; Paiva *et al*, 2017). É importante economicamente para as comunidades ribeirinha, localizadas em várias regiões do Brasil.

O relatório mundial da pesca e aquicultura (SOFIA, sigla em inglês) indica que no ano de 2022 a produção mundial de pesca e aquicultura foi de 223,2 milhões de toneladas, sendo que 185,4 milhões de toneladas correspondem a animais aquáticos (FAO, 2024). O relatório também destaca que a produção mundial de pesca em 2022 foi de 92,3 milhões de toneladas, sendo 81 milhões de toneladas da pesca marinha. O Brasil se destaca pela grande produção de proteína animal proveniente de uma diversidade de espécies de água doce e salgada. A média de consumo de pescado pela população brasileira é de 9 kg por habitante ao ano, abaixo do que recomendado pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), que é de 12 kg por habitante ao ano (FAO, 2020).

O peixe é uma fonte rica em proteína que tem maior digestibilidade, e é responsável pela construção e reparação de tecido muscular e auxilia na imunidade e regula a qualidade do sangue, e auxilia na redução do colesterol e previne o acidente vascular cerebral; os ácidos graxos como o ômega 3 é importante para sistema cardiovascular e ajuda diminuir a perda óssea. Além disso, apresenta nutrientes essenciais que estão intimamente relacionados as complexas funções enzimáticas e metabólica, como o ferro, cálcio, sódio, fosforo e o selênio (Se) (Lino *et al*, 2018). O Se é um antioxidante necessário para o crescimento normal, auxilia na fertilidade e na prevenção de doenças, e sua concentração maior que em outras carnes (Ferreira *et al.*, 2012). Mas alguns riscos estão relacionados ao consumo de pescado, e o acúmulo de metais no tecido do peixe devem ser monitorados (Galimberti *et al*, 2016; Paiva *et al*, 2017).

Para realizar o monitoramento dos metais a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabeleceu limites máximos toleráveis de contaminantes em alimentos,

visando proteger a saúde pública, os valores para mercúrio de 1,0mg/kg em peixes predadores e de 0,5mg/kg em peixes não predadores (ANVISA, 2013; Vaz e Furlan, 2020). Assim como a como agencias internacionais desenvolveram regulamentos sobre o uso do Hg visando a proteção da saúde humana e do meio ambiente (Quadro 1).

Quadro 1: Lista de órgãos de regulamentação das concentrações permitidas de mercúrio total (Hg) e metilmercúrio (MetHg).

Instituição	Tipo de pescado	Concentração máxima permitida
Anvisa (2013)	Espécie de pescado não-predador	500 µg/kg Hg total
	Espécie de pescado predador	1000 µg/kg Hg total
JECFA (2010)	Pescado e crustáceos	0,57 µg/kg Hg 4 µg/kg por semana Hg
US EPA (2010)	Pescado	0,3 µg/kg Hg total 0,1 µg/kg MeHg
JETRO (2011)	Pescado	400 µg/kg Hg total 300 µg/kg MetHg
CODEX (2009)	Peixes não-predador	500 µg/kg MeHg
	Peixe predador	1000 µg/kg MeHg
FDA (2011)	Peixe	1000 µg/kg MeHg

3 REFERÊNCIAS

- Alam, M., Rohani, M. F., & Hossain, M. S. (2023). Heavy metals accumulation in some important fish species cultured in commercial fish farms of Natore, Bangladesh and possible health risk evaluation. *Emerging Contaminants*, 9(4), 100254.
- ANVISA. (2013). Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Dispõe sobre o regulamento técnico Mercosul sobre limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC, nº42, de 29 de agosto de 2013.
- Azad, A. M., Frantzen, S., Bank, M., Nilsen, B. M., Duinker, A. Madsen, L., Maage, A. (2019). Effects of geography and species variation on selenium and mercury molar ratios in Northeast Atlantic marine fish communities. *Science of the Total Environment*, 652, 1482 – 1496. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.405>.
- Beckers, F., & Rinklebe, J. (2017). Cycling of mercury in the environment: Sources, fate, and human health implications: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47(9), 693–794. <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1326277>.
- Bisinoti e Jardim, (2004). O comportamento do metilmercúrio (METILHg) no ambiente. *Química Nova*, 27, 4, 593-600.
- Bjørklund, G., Dadar, M., Mutter, J., Aaseth, J. (2017). The toxicology of Mercury: Current research and emerging trends. *Environmental Research* 159, 545 – 554. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.051>
- Branco, V., Vale, C., Canário, J., Santos, M. N. (2007). Mercury and selenium in blue shark (*Prinace glauca*, L. 1758) and swordfish (*Xiphias gladius*, L. 1758) from two areas of the Atlantic Ocean. *Environmental Pollution*, 150, 373 – 380. doi:10.1016/j.envpol.2007.01.040.
- Brasil. Decreto Nº 9.470, de 14 de agosto de 2018. Disponível em: Acesso em março de 2022.
- Brasil. Portaria MMA nº 175, de 22 de abril de 2021. Disponível em: Acesso em fevereiro de 2024.
- Cervený, Daniel; Roje, Sara; Turek, Jan, Randak, Tomas. (2016). Fish fin-clips as a non-lethal approach for biomonitoring of mercury contamination in aquatic environments and human health risk assessment. *Chemosphere*, 163, 290-295. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.045>.
- Costa, S., Afonso, C., Cardoso, C., Batista, I., Chaveiro, N., Nunes, M. L., Bandarra, N. M. (2015). Fatty acids, Mercury, and methylmercury bioaccessibility in salmon (*Salmo salar*) using an in vitro model: Effect of culinary treatment. *Food Chemistry* 185, 268 – 276. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.141>.

Das, K. Holsbeek, L., Browning, J., Siebert, U., Birkun Jr, A., Bouquegneau, J. M. (2004). Trace metal and stable isotope measurements ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) in the harbor porpoise *Phocoena phocoena relicta* from the Black Sea. Environmental Pollution, 131, 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.02.006>.

FAO. (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.

FAO (2024). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1696371/>. Acesso em fevereiro de 2025.

Ferreira, M. S., Mársico, E. T., Marques Junior, A. N., Mano, S. B. Clemente, S. C. S., Conte Junior, C. A. (2012). Mercúrio total em pescado marinho do Brasil. Revista Brasileira de Ciência Veterinária, 19, 1, 50 – 58. <http://dx.doi.org/10.4322/rbcv.2014.077>.

FIOCRUZ. Fundação Oswaldo Cruz. (2018). Convenção de Minamata sobre Mercúrio é promulgada. Disponível em: Acesso em outubro de 2023.

Galimberti, C., Corti, I., Cressoni, M., Moretti, V. M., Menotta, S., Galli, U., Cambiaghi, D. (2016). Evaluation of Mercury, cádmium and lead levels in fish and fishery products imported by air in North Italy from extra-European Union Countries. Food Control 60, 329 – 337. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.009>.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. Sobre o Mercúrio metálico. (2022). Disponível em: Acesso em março de 2023.

James, D. Globefish Consultant (2013). Risks and Benefits of Seafood Consumption. Rome: FAO.

Kasper, D., Botaro, D., Palermo, E., Malm, O. (2007). Mercúrio em peixes – Fontes e contaminação. Oecologia Brasiliensis. 11. 228-239. [10.4257/oeco.2007.1102.07](https://doi.org/10.4257/oeco.2007.1102.07).

Lino, A. S., Kasper, D. Guida, Y. S., Thomaz, J. R., Malm, O. (2018). Mercury and selenium in fishes from the Tapajós River in the Brazilian Amazon: Na evalution of human exposure. Hounar of Trace Elements in Medicine and Biology, 48, 196 – 201. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.04.012>.

Machado, C., Oliveira, Dinis R. J. (2023). Clinical and Forensic Signs Resulting from Exposure to Heavy Metals and Other Chemical Elements of the Periodic Table. Journal of Clinical Medicine, 12(7), 2591.

Nascimento, E. S. e Chasin, A. A. (2001). Ecotoxicologia do mercúrio e seus compostos. Série cadernos de referência ambiental, 1, 176.

Paiva, E. L., Milani, R. F., Boer, B. S., Quintaes, K. D., Morgano, M. A. (2017). Methylmercury in fish species used in preparing *sashimi*: A case study in Brazil. Food Control, 80, 104 – 112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.04.027>.

Panebianco, M. V. et al. (2011). Metales pesados en el riñón del delfín franciscana, *Pontoporia blainvillei* (Cetacea: Pontoporiidae) y su relación con parámetros biológicos. *Latin American Journal of Aquatic Research*, v. 39, n. 3, p. 526-533. DOI: 10.3856/vol39-issue3-fulltext-12.

Paranjape, A. R. e Hall, B. D. (2017). Recent advances in the study of Mercury methylation in aquatic systems. *FACETS* 2, 85 – 119. <https://doi.org/10.1139/facets-2016-0027>

Pavithra, K. G., SundarRajan, P., Kumar, P. S., Rangasamy, G. (2023). Mercury sources, contaminations, Mercury cycle, detection and treatment techniques: A review. *Chemosphere*, 312, p. 137314. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137314>.

Rodrigues, P. A., Ferrai, R. G., Santos, L. N., Conte Junior, C. A. (2019). Mercury in aquatic contamination: A systematic review on its dynamics and potential health risks. *Journal of environmental sciences*, 84, 205 – 218. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.02.018>.

Santos, F. L. D. O., Gatti, R. M., Souza, P. R. K. (2006). Presença de mercúrio em peixes e sua correlação com a intoxicação alimentar. *Revista de Atenção à Saúde*, 4(9).

Silva, S. F. e Lima, M. O. (2020). Mercury in fish marketed in the Amazon Triple Frontier and Health Risk Assessment. *Chemosphere*, 248, 125989. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125989>.

Souza, G. B. (2016). Mercúrio e selênio em organismos marinhos da costa Centro-Norte do Estado do Rio de Janeiro, empregando os isótopos estáveis de ^{13}C e ^{15}N como biomarcadores. Tese de Doutorado, Rio de Janeiro.

Vaz, Flavia & Furlan, Erika. (2020). CONTAMINANTES INORGÂNICOS EM PESCADO. *Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos*, v 2. DOI: 10.37885/200801011.

Vieira, J. C. S., Braga, C. P., Queiroz, J. V., Cavecci-Mendonça, B., Oliveira, G., de Freitas, N. G., Magalhães Padilha, P. (2023). The effects of mercury exposure on Amazonian fishes: An investigation of potential biomarkers. *Chemosphere*, 137779.

Youshino, K., Mori, K., Kanaya, G., Kojima, S., Henmi, Y., Matsuyama, A., Yamamoto, M. (2020). Food sources are more important than biomagnification on mercury bioaccumulation in marine fishes. *Environmental Pollution*, 262, 113982. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.113982>.

Zagatto, P. A. e Bertoletti, E. (2014). *Ecotoxicologia aquática princípios e aplicações*. São Carlos: RiMa.

UNIVERSIDADE VILA VELHA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E EXTENSÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

ALEXANDRA CAROLINE DA SILVA VERONEZ

CAPÍTULO 1

Determinação da concentração de mercúrio total e avaliação do risco à saúde humana

1 INTRODUÇÃO

A ingestão alimentar é a principal fonte de exposição aos contaminantes presentes no ambiente, o que representa um componente fundamental na avaliação de risco à saúde humana (Sadhra *et al*, 2007). E com a presença de substâncias tóxicas nos alimentos a necessidade de promover medidas que reduzam a exposição humana a alimentos possivelmente contaminados.

O pescado é considerado um bom indicador de contaminação aquática por metais, pois ocupa diferentes níveis tróficos. Em 12 países foram realizadas análises com diversos tipos de alimentos, nos peixes e mariscos foi encontrado concentração de Hg estava cerca de 10 a 100 vezes maior que o encontrado nos demais alimentos, levando os órgãos sanitários estabelecerem limites máximos toleráveis de Hg no pescado destinado ao consumo humano (Burger *et al*, 2002; Ikem & Egiebor, 2005; FAO/WHO, 2011).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) desenvolveu uma metodologia que estima o limite dos contaminantes nos alimentos que cause danos à saúde, a Ingestão semanal tolerável provisório (PTWI) tem sido utilizado como padrão do consumo seguro (Jardim & Caldas, 2009; FAO/WHO 2010; ANVISA, 2019). Este parâmetro foi desenvolvido para ingestão segura para humanos, baseado no limite de determinados efeitos tóxicos no organismo, como por exemplo a necrose celular (World Health Organization, 1987).

O valor de PTWI para MeHg é de 1,6µg/kg de peso corporal e para Hg total o valor de 4µg/kg de peso corporal, estes valores foram propostos pelo Comitê científico internacional de especialistas em aditivos alimentares (JECFA) em conjunto a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO (Food and Agriculture Organization) e Organização Mundial de Saúde - OMS (World Health Organization) (CODEX, 2016). O valor para o MeHg foi definido após estudos epidemiológico que avaliou a relação da exposição de mulheres que estavam amamentando e os efeitos neurológicos desenvolvidos pelas crianças (EFSA, 2004).

A US EPA utiliza a dose de referência para exposição crônica (RfD) a fim de minimizar certos efeitos tóxicos, estabelecendo o valor de 0,1 µg/kg/dia de metilmercúrio (MeHg) (revisado em 2010), correspondendo ao valor de PTWI de 0,7 µg/kg/semana (US EPA, 2010).

No Brasil quem estabelece os limites máximos de Hg em peixe é a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para peixes que não são predadores o valor é de 0,50 mg/kg e para peixes predadores o valor de 1,0 mg/kg, de acordo com a resolução nº42 de 2013 (Morgano *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2006; ANVISA, 2013; Vaz & Furlan, 2020).

O mercúrio é um metal não-nutriente que é encontrado no ambiente naturalmente e através de ação humana. Está presente no ambiente na forma de Hg metálico ou sais inorgânicos. No ambiente aquático este elemento pode ser alterado para forma orgânica, MeHg, pelo processo de metilação auxiliado por micro-organismos. O MeHg acumula nos tecidos e representa, aproximadamente, 90% no Hg total quantificado no peixe (Rodrigues *et al.*, 2023, Vieira *et al.*, 2023).

A contaminação do alimento por Hg traz graves consequências para a saúde pública, sendo definido pela ocorrência e a gravidade da intoxicação, como forma química, tempo de exposição, dosagem, via de exposição e idade do indivíduo (Azad *et al.*, 2019; Silva e Lima, 2020).

O albacora, *Thunnus atlanticus*, (Figura 1) é uma espécie pelágica, que ocorre apenas no Oceano Atlântico ocidental, sendo sua distribuição do Norte dos Estados Unidos da América (EUA) até Sudeste do Brasil. É uma espécie migratória durante o seu ciclo de vida, encontrado em águas costeiras e com temperaturas acima de 20°C. Tem como característica formar cardumes com outras espécies de atum, suas desovas acontecem junto à costa e tem como alimentação pequenos peixes, polvo e crustáceos (Vieira *et al.*, 2005; FishBase, 2010; Ferreira *et al.*, 2012; Soares *et al.*, 2020).



Figura 1: Atum albacora (*Thunnus atlanticus*). Fonte: a autora.

O atum pertence à família Scombrinae, esta família é composta por 15 gêneros e 51 espécies, destacando-se os gêneros *Thunnus*, *Euthynnus* e *Auxis* (Eschemeyer, et al. 2017). São peixes migratórios e de distribuição mundial, sendo o gênero *Thunnus* correspondente as espécies com maior valor comercial. Na costa do Brasil, há ocorrência de 11 espécies: *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758), *Euthynnus alletteratus* (Rafinesque, 1810), *Euthynnus affinis* (Cantor, 1849), *Auxis rochei rochei* (Risso, 1810), *Auxis thazard* (Lacepède, 1800), *Allothunnus fallai* (Serventy, 1948), *Thunnus obesus* (Lowe, 1839), *Thunnus alalunga* (Bonnaterre, 1788), *Thunnus maccoyii* (Castelnau, 1872), *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758), *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788) e *Thunnus atlanticus* (Lesson, 1831) (Eschemeyer, et al. 2017).

A espécie *T. atlanticus* é encontrada principalmente na região do nordeste brasileiro, sendo setembro até janeiro o período que ocorre com maior abundância, proporcionando um importante parte da pesca na região, demonstrando sua importância econômica para a frota artesanal pesqueira da região (Nóbrega et al, 2009; Kaewprachu et al, 2017).

As capturas direcionadas para as espécies do gênero *Thunnus*, no Brasil se iniciaram no ano de 1955, com a vinda de barcos japoneses para a região Nordeste (Hazin e Travassos. 2007) e posteriormente, em 1959, passou para região Sudeste (Zavala-Camin e Tomás, 1990). As espécies de atum são importantes para a economia em todo o mundo, sendo consumido fresco (*sashimi* e *sushi*) ou armazenado antes do consumo (enlatado), segundo Soares et al (2020) os produtos tornaram-se populares, e no Brasil tem uma ampla aceitação. Sua carne e os produtos derivados, apresentam

alto valor nutricional, fonte de proteína, ácidos graxos e selênio (Kaewprachu *et al*, 2017; Lee, *et al*, 2021).

O atum possui importante valor nutricional, mas o consumo pode estar associado à ingestão de contaminantes (Hg) assimilados ao longo das cadeias tróficas, o que pode resultar no aumento de sua toxicidade. Isso ocorre devido à maior taxa de absorção e à redução na taxa de excreção desses contaminantes, culminando em potenciais danos à saúde humana. Dessa forma, a contaminação de organismos aquáticos por metais pesados constitui uma preocupação significativa, tanto do ponto de vista ecológico quanto no contexto de saúde pública (Azad *et al*, 2019; Custódio *et al*, 2020).

2 OBJETIVO GERAL

Quantificar o nível de mercúrio *Thunnus atlanticus* comercializados em Itaoca-ES, Salvador-BA e Nata-RN, e avaliar o risco do consumo comparando com as legislações brasileiras vigentes e internacionais.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Determinar o teor de mercúrio total no tecido muscular de *Thunnus atlanticus*.
- Verificar a associação entre o teor de mercúrio com os locais de aquisição.
- Relacionar o teor de mercúrio presente no atum com os parâmetros que são estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Organização de Comércio Exterior do Japão (JEPRO), Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA) e Comitê conjunto FAO/OMS de especialistas em aditivos alimentares (JECFA).
- Avaliar o risco a saúde humana no consumo de *Thunnus atlanticus*

3 HIPÓTESE

H0: A espécie *Thunnus atlanticus*, não apresenta dosagem de mercúrio associado a risco a saúde humana de acordo com as diretrizes pelo Brasil e internacional.

H1: A espécie *Thunnus atlanticus*, apresenta dosagem de mercúrio associado a risco a saúde humana de em pelo menos 1 das diretrizes estabelecida.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Aquisição dos exemplares de peixe

Os exemplares de peixes, *Thunnus atlanticus* (Atum), foram obtidos junto de pescadores profissionais no momento do desembarque no porto de Itaoca/ES, Salvador/BA e Natal/RN (Figura 5). A aquisição do atum foi realizada durante o ano de 2022. Foram adquiridos 10 exemplares de atum por local de desembarque, transportados em caixa térmica para laboratório.

Em laboratório foi realizada a biometria dos indivíduos (comprimento e peso) e posteriormente a coleta do tecido muscular da porção dorso lateral de cada exemplar, totalizando 30 amostras tecido, as amostras foram armazenadas em sacolas identificados e congeladas até o momento das análises.

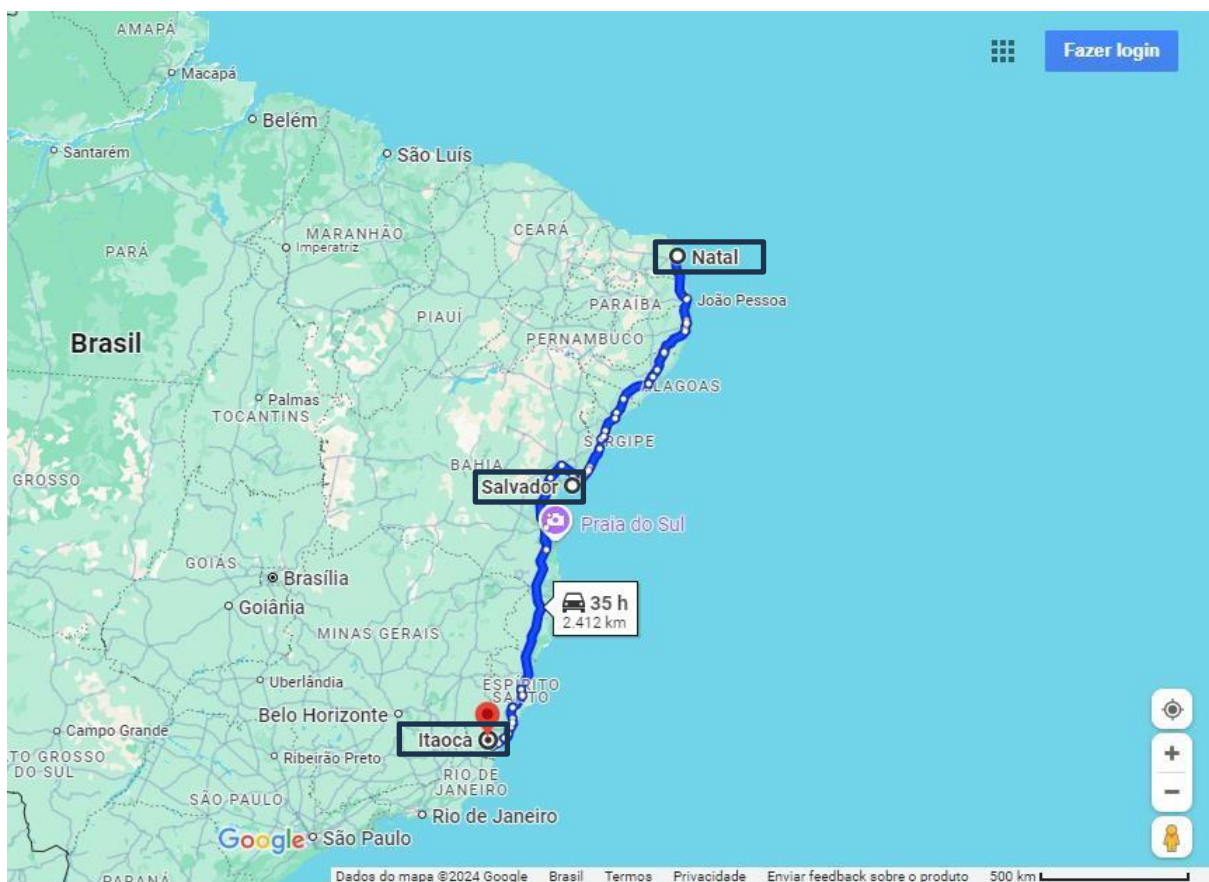


Figura 5: Locais de aquisição de *Thunnus atlanticus*, Atum. Fonte: Google Maps.

4.2 Determinação de mercúrio total

Para determinação de Hg as amostras foram descongeladas homogeneizadas e secas em estufa a 40°C por 48h. Após as amostras foram maceradas e enviadas para o Lab Petro, na Universidade Federal do Espírito Santo – UFES.

A determinação do mercúrio total (HgT) no tecido muscular do atum foi realizada usando o Direct Mercury Analyzer (DMA-80, Milestone, Itália), utilizando a Espectrometria de Absorção Atômica com Termo de composição e Amalgamação. A Tabela 1 apresenta as condições operacionais do equipamento. A calibração do método foi realizada por padronização externa em meio de ácido clorídrico 7% v/v.

Tabela 1: Condições operacionais do DMA-80.

Condições operacionais	
Fonte de luz	Lâmpada de mercúrio de baixa pressão
Comprimento de onda do Hg	253,65 nm
Detectores	Fotodiodos UV

Para realizar a análise, as amostras foram secas em estufa por 2 horas a 40°C. Após este período, foi pesado aproximadamente 0,1000g da amostra em uma barca de níquel, a qual foi introduzida no equipamento seguindo o programa de aquecimento descrito na Tabela 2.

Tabela 2: Programa de aquecimento.

Etapa	Tempo	Temperatura (°C)
1	00:01:00	160
2	00:02:00	650
3	00:01:00	650

*Temperatura máxima de início: 200°C. Purga: 60s.

A exatidão do método foi avaliada através da determinação do mercúrio total no EMR Mussel Tissue (European Reference Material ERM – CE278K). a recuperação foi de 94,36% e o desvio padrão de 4,99.

4.3 Análise de risco à saúde humana

A dose diária estimada (EDI) ($\mu\text{g/kg}$ de peso corporal/dia) (Lopes *et al*, 2020) e a dose semanal estimada (EWI) ($\mu\text{g/kg}$ de peso corporal/semanal) (Alva *et al*, 2020) foram estimadas com as seguintes equações:

$$\text{EDI} = (\text{C}_{\text{fish}} \times \text{dc}_{\text{fish}}) / \text{bw}$$

Onde EDI é a ingestão diária estimada; C_{fish} é a concentração média do metal quantificado no músculo ($\mu\text{g/g}$ peso úmido); dc_{fish} é o consumo diário de peixe (g/dia) per capita; bw é o peso corporal média (kg) da população alvo. Sendo adotado a taxa média de consumo diária de 25 g/dia (FAO, 2010) e o peso médio corporal de 70kg (IBGE, 2008-2009).

$$\text{EWI} = (\text{C}_{\text{fish}} \times \text{dc}_{\text{fish}}) / \text{bw}$$

Onde EWI é a ingestão semanal estimada; C_{fish} é a concentração média do metal quantificado no músculo ($\mu\text{g/g}$ peso úmido); dc_{fish} é o consumo semanal de peixe (g/dia) per capita; bw é o peso corporal média (kg) da população alvo. Sendo adotado a taxa média consumo semanal de 25, 50 e 175 g/semana (Alva *et al*, 2020) e o peso médio corporal de 70kg (IBGE, 2008-2009).

O Quociente de risco (HQ) foi calculado dividindo o EDI (ingestão diária estimada) pelo RfD (Dose de referência) para avaliar a relação do consumo de pescado com a saúde humana. O valor de HQ menor que 1 significa que não tem perigo ao consumir do pescado (Lopes *et al*, 2020). As doses de referência (RfD) usadas para comparação foram da Agência Nacional de Vigilância Sanitária 1000 $\mu\text{g/kg/dia}$ (ANVISA, 2013), Organização de Comércio Exterior do Japão 400 $\mu\text{g/kg/dia}$ (JEPRO, 2011), Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos 0,3 $\mu\text{g/kg/dia}$ (US EPA, 1999) e Comitê conjunto FAO/OMS de especialistas em aditivos alimentares 0,57 $\mu\text{g/kg/dia}$ (JECFA, 2010).

A análise de risco da exposição humano para consumo de pescado, foram levados em consideração os seguintes fatores: EWI e a Ingestão semanal tolerável (PTWI), sendo calculado pela seguinte equação:

$$\%PTWI=(EWI \times 100)/PTWI$$

Onde o EWI é a ingestão semanal estimada; e o PTWI é 4 µg/kg de peso corporal, valor estabelecido pela JECFA (OMS/FAO, 2010). Sendo o risco quando a % for maior que 100.

4.4 Análise estatística

Os dados estão apresentados como média e desvio padrão. Após análise da normalidade e homoscedasticidade os resultados de mercúrio tecidual foram comparados entre os locais de aquisição dos peixes pela ANOVA, seguida do teste de Tukey ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Concentração de mercúrio total

Os peixes adquiridos em Natal apresentam maior comprimento e massa quando comparados estatisticamente aos Itaoca e Salvador (Tabela 3).

Tabela 3: Biometria dos indivíduos.

Local	Comprimento (cm)	Massa (kg)
Itaoca	44,190±7,911 ^b	1,600±1,025 ^b
Salvador	44,690±8,340 ^b	1,595±1,251 ^b
Natal	54,570±9,014 ^a	2,991±1,388 ^a

As letras representam a diferença estatística entre os locais de aquisição dos atuns, através na análise de variância ANOVA pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As concentrações de HgT foram diferentes estatisticamente nos três locais de aquisição, Natal, Itaoca e Salvador (Tabela 4). Estes valores estão atendendo as diretrizes estabelecidas pela ANVISA (1000 µg/kg; 2013), porém quando comparado com diretrizes da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, que é 0,1µg/kg (Environmental Protection Agency – US EPA), que é mais restritiva, a concentração de Hg está acima do limite recomendado para ingestão.

Tabela 4: Concentração de mercúrio total (HgT) no músculo e local de aquisição.

Local	Concentração HgT (µg/kg de peso úmido)		
	Média e desvio	Min	Max
Itaoca	142,25±66,88 ^a	27,49	252,77
Salvador	72,98±36,64 ^b	28,91	169,65
Natal	216,58±64,97 ^c	140,22	319,77

As letras representam a diferença estatística entre os locais de aquisição dos atuns, através na análise de variância ANOVA pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em estudo realizado com peixes comercializados no Brasil foram 113 analisados 113 amostras para determinação de Hg total, sendo que 52 indivíduos era da espécie *Thunnus sp* e apresentavam a média de 220 µg/kg de Hg total, que estão de acordo

com o limite de Hg total recomendado pela ANVISA (2013) e com COTEX (2018), que é de 1000 µg/kg para peixes predadores (Custódio *et al*, 2020). Ikem e Egiebor (2005) encontraram níveis elevados de Hg total que variaram de 53 a 739 µg/kg, em atum, *Thunnus albacares*, que são comercializados na Geórgia e Alabama, nos Estados Unidos da América. Medeiros *et al* (2008) avaliaram tecido muscular vermelho e branco e encontraram as concentrações de 0,156 e 0,172 µg/g, respectivamente, em atum (*Thunnus albacares*) capturados no litoral do Rio de Janeiro (Brasil).

O presente estudo e as demais pesquisas reforçam a importância dos estudos de monitoramento de Hg em atum, seja *in natura* ou enlatado, observando que este metal está presente em várias regiões que são geograficamente distantes, reforçando também que os peixes estão expostos ao metal através da dieta apresentando o potencial de bioacumulação e biotransformação na cadeia alimentar (Paiva *et al*, 2017; Azad *et al*, 2019).

5.2 Risco a saúde humana

O consumo de peixe diário recomendada pela FAO/OMS é de aproximadamente 25g/dia, os peixes que foram adquiridos nos três locais apresentaram o quociente de risco <1 (HQ), estando abaixo da dose referência recomendada pela ANVISA (Tabela 5). O HQ representa que a exposição diária aos níveis de Hg e a taxa de consumo de pescado provavelmente não causara efeito durante a vida dos consumidores (Spanopoulos-Zarco *et al*, 2014). Porém o valor de HQ excede a dose de referência (RfD) como observado no caso da USEPA e JECFA (Tabela 5) onde a RfD tem as concentrações de Hg 0,3 µg/kg/dia e 0,57 µg/kg/dia, respectivamente (USEPA, 2010; JECFA, 2010; Felix *et al*, 2022). Assim, como o comprometimento do PTWI, onde apresentaram os valores superiores a 100%, demonstrando o risco pela exposição alimentar ao mercúrio em algumas áreas do Brasil.

Tabela 5: Consumo de peixe diário e quociente de risco para os três locais de aquisição do *Thunnus atlanticus*.

Local	EDI		HQ			PTWI (%)			
	(µg/kg/dia)	ANVISA	JETRO	US EPA	JECFA	ANVISA	JETRO	US EPA	JECFA
Itaoca	50,80	<1	<1	>1	>1	5,08	12,70	16934	8912
Salvador	26,06	<1	<1	>1	>1	2,61	6,52	8688	4571
Natal	77,35	<1	<1	>1	>1	7,74	19,34	25783	13570

Consumo diário de pescado 25g/dia.

RfD - ANVISA 1000 µg/kg/dia; JETRO 400 µg/kg/dia; US EPA 0,3 µg/kg/dia; JECFA 0,57 µg/kg/dia.

Peso corporal 70kg (IBEGE, 2008-2009)

O risco a saúde humana é definido pelo valor de exposição alimentar, e ocorre quando este excede o valor de PTWI (Alva *et al.*, 2020). No presente estudo é possível observar que isso ocorre em todos os locais de aquisição do pescado ao avaliar o limite recomentado pela USEPA e JECFA, onde o valor da exposição (EDI) é superior a dose de referência, sendo superior a 100%. Quando comparamos com o valor limite estabelecido pela ANVISA, observamos que não ocorre o comprometimento do PTWI, assim como para agência Japonesa, JETRO (Tabela 5).

Em estudo realizado por Felix *et al.* (2022) com peixes adquiridas no mercado Ver-o-Peso localizado na cidade de Belém-PA (Brasil), as concentrações de Hg variaram de 0,078-0,150 µg/kg, e o índice de ingestão semanal indicou que o consumo das espécies adquiridas não apresenta risco a saúde humana, o índice foi calculando usando como limite o estabelecido pela US EPA e OMS. Alva *et al.* (2020) utilizando EWI (estimativa de ingestão semanal) avaliou o risco a saúde em amostras de atum enlatado consumido na cidade do Rio de Janeiro – Brasil, neste estudo foram quantificados mercúrio em 13 marcas, e apenas 1 marca apresentou o resultado de EWI superior ao da PTWI (106,3%).

Margano *et al.* (2011) quantificou Hg em pescado usado na preparação do *sashimi*, atum (*Thunnus thunnus*) e o salmão (*Salmo salar*), que são comercializados pela CEAGESP (Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo), com os resultados foi encontrado os valores de 0,3506 mg/kg no atum e 0,0127 mg/kg no salmão, sendo que o atum atingiu cerca de 41% do PTWI estabelecido pela JECFA, para o consumo de 350g semanal.

Apesar do consumo recomendado pela FAO ser de 25g de pescado, a ingestão semanal de peixe pode variar dependendo do local e da espécie consumida. Com isso foi possível avaliar diferentes cenários de exposição (Tabela 6), que levou em consideração a médias 25 g, 50g e 175 g de consumo de pescado por semana. Com estes resultados é possível observar PTWI de todos os cenários estaria comprometido estando acima do limite tolerável que é recomendado pelo Comitê conjunto FAO/OMS de especialistas em aditivos alimentares.

Tabela 6: Cálculo da estimativa de consumo semanal de peixe e quociente de risco para os três locais de aquisição do *Thunnus atlanticus*, de acordo com os limites da JECFA.

Local	Consumo semanal (g)	EWI ($\mu\text{g/kg/dia}$)	HQ FAO/OMS	PTWI% FAO/OMS
Itaoca	25	50,80	>1	1270
Salvador		26,06	>1	651,5
Natal		77,35	>1	1933,75
Itaoca	50	101,61	>1	2540,17
Salvador		52,13	>1	1303,17
Natal		154,70	>1	3867,50
Itaoca	175	355,25	>1	8881,25
Salvador		182,44	>1	4561
Natal		541,45	>1	13536

PTWI - 4 $\mu\text{g/kg/semanal}$ (FAO/OMS, 2004)
Peso corporal 70kg (IBGE, 2008-2009)

O consumo de pescado no Brasil está dentro do recomendado para saúde da FAO/OMS de duas porções de peixe por semana, contudo existe uma grande diferença no consumo quando comparada as regiões geográficas no Brasil, estudos estimam que pessoas que estão ligadas a atividade pesqueira consomem uma quantidade maior de pescado por semana (duas a três vezes), quando comprado ao um consumidor médio (Ruelas Izanza *et al*, 2011). Sendo necessário o monitoramento deste setor, para gerar informações relacionadas a taxa de consumo de determinadas espécies de peixe e os teores de Hg presente na porção de peixe comestível (Spanopoulos-Zarco *et al*, 2014).

6 CONCLUSÃO

Nosso estudo demonstrou que as concentrações de mercúrio no atum *Thunnus atlanticus*, adquirido em três cidades litorâneas brasileiras, estão dentro dos limites legais estabelecidos pelas diretrizes ANVISA, que é a agência de fiscalização brasileira, local onde o pescado é comercializado. E quando o pescado é exportado cada agência terá o limite de mercúrio estabelecido.

No entanto, a análise de risco para o consumo moderado alerta que, devido ao efeito cumulativo do mercúrio, há risco potencial para a saúde, principalmente quando comparamos os cálculos ANVISA e das agências internacionais. E os cenários são fundamentais para monitorar e avaliar continuamente o grau de contaminação do pescado.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alva, C. V., Marsico, E. T., Ribeiro, R. O. R., Carneiro, C. S., Simões, J. S., Ferreira, M. S. (2020). Concentration and health risk assessment of total mercury in canned tuna marketed in Southest Brazil. *Jornal of Food Composition and Analysis*, 88, 103357. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103357>.

Alves, J. C. (2016). Estimativa do risco à saúde humana segundo o teor de mercúrio presente em *sushi* e *sashimi*. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Saúde e Nutrição, Universidade Federal de Ouro Preto.

ANVISA. (2013). Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Dispõe sobre o regulamento técnico Mercosul sobre limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC, nº42, de 29 de agosto de 2013.

ANVISA (2019). Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. NOTA TÉCNICA Nº 8/2019/SEI/GEARE/GGALI/DIRE2/ANVISA. Avaliação de Risco: Consumo de pescado proveniente de regiões afetadas pelo rompimento da Barragem do Fundão/MG. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/arquivos-noticias-anvisa/1850json-file-1>. Acesso em fevereiro 2025.

Azad, A. M., Frantzen, S., Bank, M., Nilsen, B. M., Duinker, A. Madsen, L., Maage, A. (2019). Effects of geography and species variation on selenium and mercury molar ratios in Northeast Atlantic marine fish communities. *Science of the Total Environment*, 652, 1482 – 1496. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.405>.

Burger J, Gaines KF, Boring CS, Stephens WL, Snodgrass J, Dixon C, McMahon M, Shukla S, Shukla T, Gochfeld M. (2002). Metal levels in fish from the Savannah River: potential hazards to fish and other receptors. *Environ Res*. May;89(1):85-97. doi: 10.1006/enrs.2002.4330. PMID: 12051789.

Codex. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). JOINT FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Contaminants in Foods. Rotterdam, The Netherlands.

Custódio, F. B, Andrade, A. M. G. F., Guidi, L. R., Leal, C. A. G., Gloria, M. B. (2020). Total mercury em commercial fisher and estimation of Brazilian dietary exposure to methylmercury. *Jornal of trace elements in medicine and biology*, 62, 126641. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2020.126641>.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2004. Opinion of the Scientific Panel on contaminants in the food chain [CONTAM] related to mercury and methylmercury in food. *EFSA Journal* 2004; 2(3):34, 14 pp. doi:10.2903/j.efsa.2004.34.

EFSA Scientific Committee, 2015. Statement on the benefits of fish/seafood consumption compared to the risks of methylmercury in fish/seafood. *EFSA Journal* 2015; 13(1):3982, 36 pp. doi:10.2903/j.efsa.2015.3982

ESCHMEYER, W.N.; FRICKE, R.; VAN DER LANN, R.; Catalog of fishes: genera, species, references. 2017. Disponível em: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>.

FAO (2010) Aquaculture development. Ecosystem Approach to Aquaculture. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. [www.fao.org/docrep/013/i1750e/i1750e00 .htm](http://www.fao.org/docrep/013/i1750e/i1750e00.htm). Accessed 20 November 2024

FAO/WHO (2010). Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Health Organization. JOINT FAO/WHO EXPERT COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES Seventy-second meeting. Summary and Conclusions Issued 16th . March 2010.

Felix, C. S. A., Pereira Junior, J. B., Silva Junior, J. B., Cruz, A. S., Dantas, K. G. F., Ferreira, S. L. C. (2022). Determination and human health risk assessment of mercury in fish samples. *Talanta*, 247, 123557. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2022.123557>.

Ferreira, M. S., Mársico, E. T., Marques Junior, A. N., Mano, S. B. Clemente, S. C. S., Conte Junior, C. A. (2012). Mercúrio total em pescado marinho do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária*, 19, 1, 50 – 58. <http://dx.doi.org/10.4322/rbcv.2014.077>.

FishBase. (2010). *Thunnus atlanticus* (Lesson, 1831), Blackfin tuna. Disponível em: <https://www.fishbase.de/summary/144>. Acessado em: janeiro de 2022.

Hazin, F.H.V. e Travassos, P.E. (2007). A pesca oceânica no Brasil no Século 21. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, 2:60-75.

IBGE (2008-2009) Family Budget Research: analysis of personal food consumption in Brazil. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv50063.pdf>. Acesso em novembro de 2024 (In Portuguese).

Ikem, Abua & Egiebor, Nosa. (2005). Assessment of trace elements in canned fishes (Mackerel, Tuna, Salmon, Sardines and Herrings) marketed in Georgia and Alabama (United States of America). *Journal of Food Composition and Analysis*. 18. 771-787. [10.1016/j.jfca.2004.11.002](https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.11.002).

JETRO (2011). Japan External Trade Organization. Specifications and Standards for Foods, Food Additives, etc. Under the Food Sanitation Act (Abstract 2010).

Jardim, Andreia & Caldas, Eloisa. (2009). Exposição humana a substâncias químicas potencialmente tóxicas na dieta e os riscos para saúde. *Química Nova*. 32. [10.1590/S0100-40422009000700036](https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000700036).

JECFA (2010). Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Meeting (72nd 2010: Rome, Italy), World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2011). Safety evaluation of certain contaminants in food: prepared by the Seventy-second meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/44520>.

Kaewrachu, P., Osako, K., Benjakul, S., Suthiluk, P., Rawdkuen, S. (2017). Shelf life extension for Bluenfin tuna slices (*Thunnus thynnus*) wrapped with myofibrillar protein film incorporated with catechin-Kradon extract. Food Control, 79, 333 – 343. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.04.014>.

Lee, B. H., Wu, S.C., Shen, T. L., Hsu, Y. Y., Chen, C. H., Hsu, W. H. (2021). The applications of *Lactobacillus plantarum* - derived extracellular vesicles as a novel natural antibacterial agent for improving quality and safety in tuna fish. Food Chemistry, 340, 128104. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128104>.

Lopes, T. O. M, Passos, L. S., Vieira, L. V., Ointo, E., Dorr, F., Scherer, R., Salustriano, N. A., Carneiro, M. T. W. D., Postay, L. F., Gomes, L. G. (2020). Metals, arsenic, pesticides, and microcystins in tilapia (*Oreochromis niloticus*) from aquaculture parks in Brasil. Environmental Science and Pollution Research, 27:20187-20200.

Medeiros, R.J., Mársico, E.T., São Clemente, S.C., Ferreira, M.S. (2008). Distribuição do metal mercúrio em atum (*Thunnus albacares*) e pescada bicuda (*Cynoscion microlepidotus*) capturados no litoral do Rio de Janeiro, Brasil. Faculdade de Veterinária, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec, v. 60, p. 656- 662.

Morares, M.N. (1962). Desenvolvimento da pesca do atum no Brasil e análise preliminar dos três primeiros anos de dados. A

Morgano, M. A., Gomes, P. C., Mantovani, D., Perrone, A. A., & Santos, T. F. (2005). Níveis de Mercúrio total em peixes de água doce de pisciculturas paulistas. Food Science and Technology, 25, 250-253.

Morgano MA, Rabonato LC, Milani RF, Miyagusku L, Balian SC. (2011). Assessment of trace elements in fishes of Japanese foods marketed in São Paulo (Brazil). Food Control. 22:778-85.

Nóbrega, M. F., Lessa, R., Santana, F. M. (2009). Peixes Marinhos da Região Nordeste do Brasil. Programa Revizee – Score Nordeste. Editora Martins e Cordeiro.

Paiva, E. L., Milani, R. F., Boer, B. S., Quintaes, K. D., Morgano, M. A. (2017). Methylmercury in fish species used in preparing *sashimi*: A case study in Brazil. Food Control, 80, 104 – 112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.04.027>.

Sadhra SS, Wheatley AD, Cross HJ. Dietary exposure to copper in the European Union and its assessment for EU regulatory risk assessment. Sci Total Environ. 2007 Mar 15;374(2-3):223-34. doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.12.041.

Rodellar S, Fontcuberta M, Arqués JF, Calderon J, Ribas Barba L, Serra-Majem LL. (2010). Mercury and methylmercury intake estimation due to seafood products for the Catalan population (Spain). Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess. 27(1):29-35. doi: 10.1080/02652030903150559. PMID: 19787515.

Rodrigues, E. T., Coelho, J. P., Pereira, E., & Pardal, M. A. (2023). Are mercury levels in fishery products appropriate to ensure low risk to high fish-consumption populations?. *Marine Pollution Bulletin*, 186, 114464.

Ruelas-Inzunza, J., Patiño-Mejía, C., Soto-Jiménez, M., Barba-Quintero, G., Spanopoulos-Hernández, M. (2011). Total Mercury in canned yellowfin tuna *Thunnus albacares* marketed in northwest Mexico. *Food Chemistry and Toxicology*, 49, 3070-3073.

Santos, F. L. D. O., Gatti, R. M., Souza, P. R. K. (2006). Presença de mercúrio em peixes e sua correlação com a intoxicação alimentar. *Revista de Atenção à Saúde*, 4(9).

Silva, S. F. e Lima, M. O. (2020). Mercury in fish marketed in the Amazon Triple Frontier and Health Risk Assessment. *Chemosphere*, 248, 125989. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125989>.

Soares, G., Delaqua, D., Pereira, C. O. (2020). Avaliação da contaminação por mercúrio em atum enlatado e suas implicações. *Revista Brasileira de Processos Químicos*, 1, 1, 1 – 58.

Spanopoulos-Zarco P, Ruelas-Inzunza J, Meza-Montenegro M, Osuna-Sánchez K, Amezcua-Martínez F. Health risk assessment from mercury levels in bycatch fish species from the coasts of Guerrero, Mexico (Eastern Pacific). (2014). *Bull Environ Contam Toxicol*. 2014 Sep;93(3):334-8. doi: 10.1007/s00128-014-1311-9. Epub. PMID: 24902649.

Vaz, Flavia & Furlan, Erika. (2020). CONTAMINANTES INORGÂNICOS EM PESCADO. *Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos*, v 2. DOI: 10.37885/200801011.

Vieira, K., Oliveira, J. E. L., Barbalho, M. C., Aldatz, J. P. Aspects of the dynamic population of blackfin tuna (*Thunnus atlanticus* – Lesson, 1831) caught in the Northeast Brazil. (2005). *Collective Volume of Scientific Papers. ICCAT*, 58, 1623 – 1628.

Vieira, J. C. S., Braga, C. P., Queiroz, J. V., Cavecci-Mendonça, B., Oliveira, G., de Freitas, N. G., Magalhães Padilha, P. (2023). The effects of mercury exposure on Amazonian fishes: An investigation of potential biomarkers. *Chemosphere*, 137779.

USEPA, Guidance Manual for Assessing Human Health Risks from Chemically Contaminated, Fish and Shellfish, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1999. <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/about/products?tab=rh>

ES EPA - US Environmental Protection Agency. (2001). Methylmercury (MeHg); CASRN 22967-92-6.

World Health Organization, International Programme on Chemical Safety, Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, WHO Task Group on Updating the Principles for the Safety Assessment of Food Additives and Contaminants in

Food, International Labour Organization. et al. (1987). Principles for the safety assessment of food additives and contaminants in food. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/37578>

Zavala-Camim, L.A. & Tomás, A.R.G. (1990). A pesca de atuns com espinhel no Atlântico Sudoeste por barcos japoneses e brasileiros (1959-1979). B. Inst. Pesca, 17: 61- 75.

UNIVERSIDADE VILA VELHA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E EXTENSÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

ALEXANDRA CAROLINE DA SILVA VERONEZ

Capítulo 2

Abordagem não letal para avaliação de mercúrio total em *Thunnus atlanticus*

1 INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas provocam o aumento da emissão de poluentes no ambiente e como consequência a contaminação de águas superficiais e subterrâneas. Certos metais são persistentes no ambiente, pois seu processo de degradação não ocorre em condições naturais, como por exemplo o mercúrio (Asefi e Zamani-Ahmadmahmoodi, 2015; Cervený *et al*, 2016; Azad *et al*, 2019). Sendo considerado como o metal tóxico perigoso, devido a sua neurotoxicidade e níveis que são encontrados no ambiente aquático, o mercúrio é lançado no ar e retorna para o solo pela precipitação e entra no ambiente aquático (Fretham *et al*, 2012; Cervený *et al*, 2016; Bjørklund *et al*, 2017; Rodrigues *et al*, 2019).

As formas orgânicas e inorgânicas do mercúrio são consideradas neurotóxicas (Fretham *et al*, 2012; Cervený *et al*, 2016). Mas o metilmercúrio (MeHg) é a espécie química que representa um risco considerável para o ecossistema segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 1997). Os seres humanos são expostos ao MeHg principalmente através do consumo de pescado (Hightower e Moore 2003), representando, aproximadamente, 90% do Hg total no tecido muscular dos peixes (Bloom 1992; James, 2013; Custódio *et al*, 2020). O mercúrio acumula nos tecidos dos peixes em concentrações que ultrapassam os limites recomendados para o consumo humano (US EPA, 1997).

Diante destas características, torna-se necessário monitorar as concentrações de Hg no ambiente aquáticos e nos peixes pescados para comercialização (Piraino e Taylor, 2013; Cervený *et al*, 2016). O monitoramento é importante para avaliar os riscos à saúde humana, devido à ausência de degradação do Hg e capacidade de entrar na cadeia alimentar resultando na bioacumulação na cadeia trófica (Li *et al*, 2015; Cervený *et al*, 2016).

O consumo de pescado representa a principal via de exposição à contaminação humana por mercúrio, com isso o tecido muscular de peixes adulto, é de interesse para pesquisa e para as agências reguladoras pelo mundo (Cervený *et al*, 2016; Rodrigues *et al*, 2023). Estudos demonstraram que a abordagem não letal é importante

para avaliação da contaminação por mercúrio no ambiente aquático utilizando o peixe como bioindicador (Cervený *et al*, 2016).

Para garantir a fiscalização e a qualidade dos produtos que são comercializados e consumido, o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) criou o Plano Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes (PNCRC) para garantindo a qualidade do sistema de produção de alimentos de origem animal, assegurando que os produtos estejam dentro do limite estabelecido pela legislação brasileira. Este monitoramento é realizado através da verificação da presença e dos níveis de resíduos de substâncias químicas potencialmente nocivas à saúde, como, os contaminantes químicos (Vaz & Furlan, 2020), para realizar o monitoramento a agência fiscalizadora recolhe uma amostra representativa da população alvo, sacrificam o peixe e removem o tecido muscular para análise. Mas este esforço de amostragem frequente pode prejudicar o ecossistema com a remoção de peixes de níveis tróficos superiores o que compromete a estrutura da cadeia alimentar.

A abordagem não letal oferece diversas vantagens em relação ao método tradicionais, que incluem o aumento do tamanho da amostragem, como a coleta de espécimes em torneios de pesca, pesquisas científicas, expansão da distribuição espacial dos locais de coleta que inclui áreas protegidas com populações ameaçadas (Piraino e Taylor, 2013), a biópsia pode ser avaliada por diferentes técnicas, como escamas e nadadeiras, usadas para previsão da concentração de Hg no tecido muscular. Esta técnica também permite que múltiplas amostras de um único peixe seja analisado o acúmulo de Hg através dos estágios e sequencias da história de vida (Hamilton *et al*, 2002).

A técnica de abordagem não letal vem sendo estudada para avaliar a contaminação por mercúrio no ambiente e usando o peixe como bioindicador (Cervený *et al*, 2016). A técnica é utilizada como preditor da concentração de Hg em tecido muscular em peixes que incluem amostras de nadadeira anal, caudal e pélvica, escamas, sangue (Cervenka *et al*, 2011; Piraino e Taylon, 2013; Ackerson *et al*, 2014), contribuindo para discussão e ampliando o conhecimento sobre a relação da concentração de mercúrio no músculo e na nadadeira em peixes (Cervený *et al*, 2016).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Determinar um método para prever a contaminação do pescado a partir da análise de mercúrio na nadadeira.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Determinar a quantidade de mercúrio na nadadeira e no tecido muscular de *Thunnus atlanticus*.
- Avaliar a relação entre quantificação de mercúrio na nadadeira com o tecido muscular.
- Estimar a concentração de mercúrio no tecido muscular, a partir da nadadeira.

3 HIPÓTESE

H0: Não é possível prever a concentração de mercúrio a partir da análise deste metal na nadadeira, em *Thunnus atlanticus*.

H1: É possível prever a concentração de mercúrio a partir da análise deste metal na nadadeira, em *Thunnus atlanticus*

4 MATERIAL E METODOS

4.1 Aquisição dos exemplares de peixe

Os exemplares de peixes, *Thunnus atlanticus* (Atum), foram obtidos junto de pescadores profissionais no momento do desembarque no porto de Piúma/ES, Salvador/BA e Natal/RN. A aquisição do atum foi realizada durante o ano de 2022. Foram adquiridos 10 exemplares de atum por local de desembarque, transportados em caixa térmica para laboratório.

Em laboratório foi realizada a biometria dos indivíduos (comprimento e peso) e posteriormente a coleta do tecido muscular da porção dorso lateral e a nadadeira peitoral de cada exemplar, as amostras foram armazenadas em sacolas identificadas e congeladas (-6°C, aproximadamente) até o momento das análises.

4.2 Determinação de mercúrio total

Para determinação de Hg as amostras foram descongeladas, homogeneizadas e secas em estufa a 40°C por 48h (Figura 1). Após as amostras foram maceradas e enviadas para o Lab Petro, na Universidade Federal do Espírito Santo – UFES.



Figura 1: Processo de secagem e maceração das amostras de tecido muscular e nadadeira. Fonte: a autora.

A determinação do mercúrio total (HgT) no tecido muscular e na nadadeira do atum foram realizadas usando o Direct Mercury Analyzer (DMA-80, Milestone, Itália), utilizando a Espectrometria de Absorção Atômica com Termo de composição e

Amalgamação. A Tabela 1 apresenta as condições operacionais do equipamento. A calibração do método foi realizada por padronização externa em meio de ácido clorídrico 7% v/v.

Tabela 1: Condições operacionais do DMA-80.

Condições operacionais	
Fonte de luz	Lâmpada de mercúrio de baixa pressão
Comprimento de onda do Hg	253,65 nm
Detectores	Fotodiodos UV

Para realizar a análise, as amostras foram secas em estufa por 2 horas a 40°C. Após este período, foi pesado aproximadamente 0,1000g da amostra em uma barca de níquel, a qual foi introduzida no equipamento seguindo o programa de aquecimento descrito na Tabela 2.

Tabela 2: Programa de aquecimento.

<u>Etapa</u>	<u>Tempo</u>	<u>Temperatura (°C)</u>
1	00:01:00	160
2	00:02:00	650
3	00:01:00	650

*Temperatura máxima de início: 200°C. Purga: 60s.

A exatidão do método foi avaliada através da determinação do mercúrio total no EMR Mussel Tissue (European Reference Material ERM – CE278K). a recuperação foi de 94,36% e o desvio padrão de 4,99. O limite de quantificação foi de 1,0 mg L⁻¹.

4.3 Análise estatística

Os dados estão apresentados como média e desvio padrão. Após análise da normalidade e homoscedasticidade os resultados de mercúrio tecidual foram comparados entre os pontos de aquisição pela ANOVA, seguida do teste de Tukey (p<0,05). E através da análise de correlação predizer a concentração de mercúrio no músculo a partir da nadadeira.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

As concentrações de HgT no músculo e na nadadeira, foram analisadas em *Thunnus atlanticus* que são comercializadas em Piúma, Salvador e Natal, onde a concentração de Hg no músculo foi significativamente maior que na nadadeira. Sendo as concentrações no músculo diferentes estatisticamente quando comparado os três locais de aquisição, as concentrações na nadadeira dos atuns adquiridos em Piúma e Natal foram diferentes estatisticamente dos atuns de Salvador, que tiveram a menor concentração (Tabela3).

Tabela 3: Concentração de mercúrio total (HgT) no músculo e na nadadeira.

Local	Concentração HgT no músculo (µg/kg de peso úmido)					
	Músculo			Nadadeira		
	Média e desvio	Min	Max	Média e desvio	Min	Max
Piúma	142,25±66,88 ^a	27,49	252,77	17,02±5,14 ^a	8,57	22,70
Salvador	72,98±36,64 ^b	28,91	169,65	7,56±2,15 ^b	5,85	13,23
Natal	216,58±64,97 ^c	140,22	319,77	16,37±6,46 ^a	10,29	30,55

As letras representam a diferença estatística entre os locais de aquisição do atum, através na análise de variância ANOVA pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As amostras dos locais de aquisição (Piúma, Salvador e Natal) apresentaram correlação significativa ($p < 0,05$) e positiva, quanto a quantificação de Hg entre a nadadeira e músculo. O coeficiente de determinação variou 0,45 a 0,78 entre as três localidades. A análise estatística demonstrou que existe uma relação forte no teor de Hg quantificado no músculo e na nadadeira (Figura 1B) para os peixes adquiridos em Salvador, tendo menor variabilidade nas concentrações de Hg.

Para os locais Piúma e Natal também existe uma correlação e as variâncias podem ser explicadas, porém de maneira mais fraca, possivelmente isso se deve a variação entres os teores de Hg quantificado no músculo dos indivíduos (Figura 1 A e 1 C).

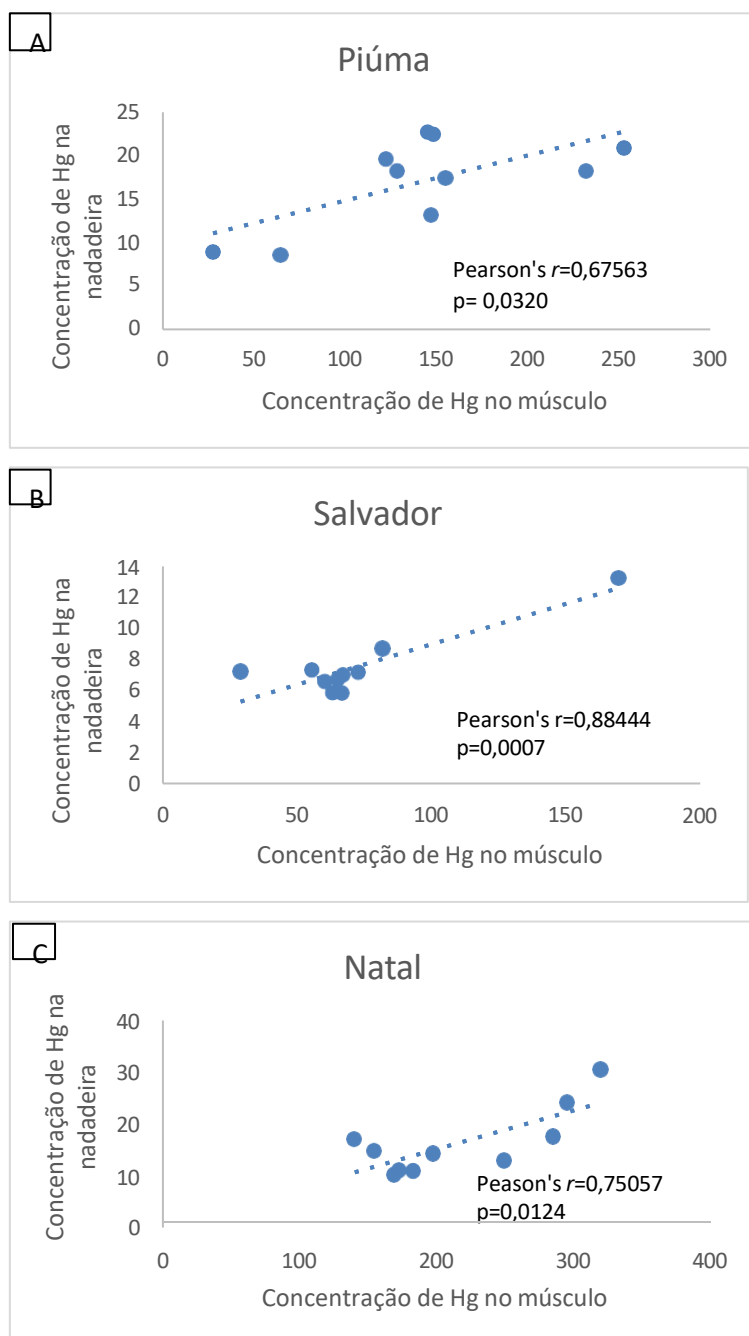


Figura 1: Relação do HgT na nadadeira e no músculo para cada ponto de aquisição do *Thunnus atlanticus*.

No trabalho realizado por Piraino e Taylor (2013) com peixes coletados no estuário da baía de Narraganset (USA) apresentou concentrações de Hg total no músculo de 0,47-1,18 mg/kg de peso seco, na nadadeira caudal de 0,03-0,09 mg/kg de peso seco e na escama de 0,01-0,07 mg/kg de peso seco, havendo uma correlação positiva significativa entre a concentração de Hg nestes tecidos, sendo que a relação da nadadeira apresentou capacidade de previsão da concentração do Hg no músculo. Contudo a análise de Hg na nadadeira para prever a concentração no músculo os autores recomendam que seja usado como uma ferramenta de triagem superficial, auxiliando assim no desenvolvimento da técnica não letal.

Cervený *et al* (2016) avaliou a concentração de Hg em duas espécies de peixe na República Tcheca que são usadas como bioindicador no local, os resultados indicam que o valor médio da concentração de Hg na nadadeira é correlacionado com músculo foram significativos com o coeficiente de determinação foi de 0,83 a 0,95 para *Squalius cephalus* e 0,77 a 0,77 para *Abramis brama*, dependendo do local de amostragem. Os autores concluíram que a relação entre o teor de Hg na nadadeira e o músculo foi fraca para espécie *Abramis brama*, mas também que o uso de nadadeira pode ser considerado uma boa abordagem não letal para biomonitoramento adequado da contaminação de Hg no ambiente aquático.

A técnica não letal, além de ser usada como biomonitoramento de ecossistemas aquáticos, também é uma ferramenta que pode ser utilizada no monitoramento de substância que podem ser nocivas à saúde humana. Desta maneira analisamos todos os exemplares de *Thunnus atlanticus* e a correlação foi significativa ($p < 0,05$) e positiva, quanto a quantificação de Hg entre a nadadeira e músculo (Figura 2). O coeficiente de determinação foi de 0,76.

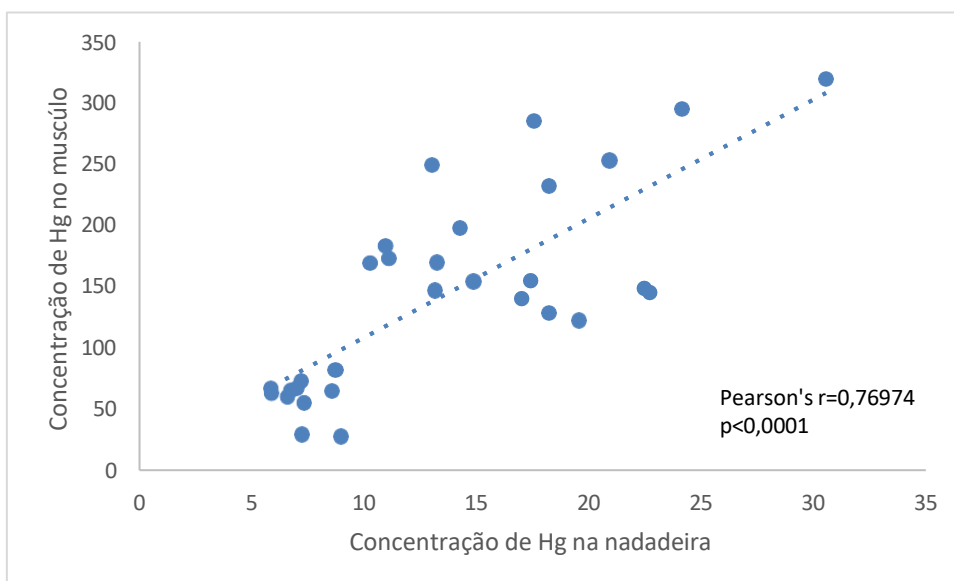


Figura 2: Relação do HgT na nadadeira e no músculo com todos os exemplares de *Thunnus atlanticus*.

Bakhshalizadeh *et al* (2023) com o objetivo de determinar e analisar a concentração de elementos traços no Mar de Cáspio, em seu estudo utilizou o espinho da nadadeira peitoral de esturjão, análise não letal, avaliou a presença de 31 oligoelementos, demonstrando a importância da análise não letal para monitoramento de poluentes nocivos e avaliar a vulnerabilidade do ecossistema. Os autores concluíram que o uso de nadadeira do peixe foi encontrado como alternativa para uma abordagem não letal apropriado para ser usado na avaliação de contaminação de Hg em ambiente aquático e como uma forma de avaliação da saúde humana devido ao consumo de pescado.

6 CONCLUSÃO

O resultado apresentado no presente estudo avaliou que é possível quantificar o mercúrio na nadadeira do *Thunnus atlanticus*, demonstrando que este elemento químico tem capacidade de bioacumular neste tecido, assim como no músculo.

E foi possível avaliar que existe relação positiva entre a quantificação de mercúrio na nadadeira e no músculo. E com isso, demonstra que a nadadeira pode ser utilizada como possibilidade de análise não letal para o biomonitoramentos e avaliação da contaminação de Hg no ambiente aquático em conjunto com a outras metodologias, para reforçar os estudos de monitoramento ambiental e contribuir na fiscalização de produtos que são comercializados.

7 REFERÊNCIAS

- Ackerson, J.R., McKee, M.J., Schmitt, C.J. *et al.* Implementation of a Non-lethal Biopsy Punch Monitoring Program for Mercury in Smallmouth Bass, *Micropterus dolomieu* Lacepède, from the Eleven Point River, Missouri. *Bull Environ Contam Toxicol* **92**, 125–131 (2014). <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1145-x>
- Asefi, Mehrnaz & Zamani-Ahmadmahooodi, Rasool. (2015). Mercury concentrations and health risk assessment for two fish species, *Barbus grypus* and *Barbus luteus*, from the Maroon River, Khuzestan Province, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. 187. 10.1007/s10661-015-4845-3.
- Azad, A. M., Frantzen, S., Bank, M., Nilsen, B. M., Duinker, A. Madsen, L., Maage, A. (2019). Effects of geography and species variation on selenium and mercury molar ratios in Northeast Atlantic marine fish communities. *Science of the Total Environment*, 652, 1482 – 1496. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.405>.
- Bakhshalizadeh, S., Nasibulina, B.M., Kurochkin, T.F., Ali, A.M., Hermann, T.W. (2023). *Estuarine, Coastal and shelf science* 292, 108483. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108483>.
- Bjørklund, G., Dadar, M., Mutter, J., Aaseth, J. (2017). The toxicology of Mercury: Current research and emerging trends. *Environmental Research* 159, 545 – 554. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.051>
- Bloom, N.S. (1992). On the chemical form of mercury in edible fish and marine invertebrate tissue. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 49:1010-1017.
- Červenka, R., Bednařík, A., Komárek, J. Ondracková, M., Jurajda, P., Vítek, T., Spurný, P. (2011). The relationship between the mercury concentration in fish muscles and scales/fins and its significance. *cent.eur.j.chem.* **9**, 1109–1116. <https://doi.org/10.2478/s11532-011-0105-8>.
- Cerveny, Daniel; Roje, Sara; Turek, Jan, Randak, Tomas. (2016). Fish fin-clips as a non-lethal approach for biomonitoring of mercury contamination in aquatic environments and human health risk assessment. *Chemosphere*, 163, 290-295. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.045>.
- Custódio, F. B., Andrade, A. M. G. F., Guidi, L. R., Leal, C. A. G., Gloria, M. B. A. (2020). Total Mercury in commercial fishes and estimation of Brazilian dietary exposure to methylmercury. *Jornal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 62, 126641. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2020.126641>.
- Fretham, S.J.B., Caito, S., Martinez-Finley, E.J., Aschner, M. (2012). Mechanisms and modifiers of methylmercury-induced neurotoxicity. *Toxicol. Res. UK* (1), 32e38.
- Hamilton, S.J., Holley, K.M., Buhl, K.J., Bullard, F.A., Weston, L.K., McDonald, S.F. (2002). Impact of selenium and other trace elements on the endangered adult razorback sucker. *Environ Toxicol.* 17(4):297-323. doi: 10.1002/tox.10064. PMID: 12203951.

Hightower J.M., Moore D. (2003). Mercury levels in high-end consumers of fish. *Environ Health Perspect* 111:1–6

James, D. Globefish Consultant (2013). *Risks and Benefits of Seafood Consumption*. Rome: FAO.

Li, J., Zhou, Q., Yuan, G., He, X., Xie, P. (2015). Mercury bioaccumulation in the food web of Three Gorges Reservoir (China): Tempo-spatial patterns and effect of reservoir management, *Science of The Total Environment*, 527–528, 203-210, 0048-9697. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.115>.

Piraino, Maria & Taylor, David. (2013). Assessment of Nonlethal Methods for Predicting Muscle Tissue Mercury Concentrations in Coastal Marine Fishes. *Archives of environmental contamination and toxicology*. 65. 10.1007/s00244-013-9946-9.

Rodrigues, P. A., Ferrai, R. G., Santos, L. N., Conte Junior, C. A. (2019). Mercury in aquatic contamination: A systematic review on its dynamics and potential health risks. *Jornal of environmental sciences*, 84, 205 – 218. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.02.018>.

Rodrigues, E. T., Coelho, J. P., Pereira, E., & Pardal, M. A. (2023). Are mercury levels in fishery products appropriate to ensure low risk to high fish-consumption populations?. *Marine Pollution Bulletin*, 186, 114464.

United States Environmental Protection Agency (USEPA) (1997). *Mercury study report to congress, volumes I–VII: fate and transport of mercury in the environment* EPA-452/R-97-005. USEPA, Washington

Vaz, F. & Furlan, E. (2020). CONTAMINANTES INORGÂNICOS EM PESCADO. *Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos*, v 2. DOI: 10.37885/20080101.