

Mercúrio em peixes comercializados em Minas Gerais e possíveis riscos associados ao seu consumo

Mercury in fish commercialized in Minas Gerais and possible risks associated with its consumption

Mercurio en pescado comercializado en Minas Gerais y posibles riesgos asociados a su consumo

Recebido: 19/07/2020 | Revisado: 04/08/2020 | Aceito: 06/08/2020 | Publicado: 13/08/2020

Ághata de França Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7642-2838>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: aghatafcosta@gmail.com

Flávia Beatriz Custódio

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0991-1751>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: flaviabcustodio@gmail.com

Nilton de Oliveira Couto e Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0077-5856>

Fundação Ezequiel Dias, Brasil

E-mail: nilton.couto@funed.mg.gov.br

Renata Adriana Labanca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2120-0082>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: renatalabanca@ufmg.br

Resumo

O objetivo do trabalho foi analisar o teor de mercúrio em peixes comercializados em Minas Gerais, coletados pelo Programa de Monitoramento de Alimentos da Vigilância Sanitária de Minas Gerais - PROGVISA, e verificar com base nesses valores o risco do consumo de peixes. Foi analisado o teor de mercúrio total em 80 amostras de peixes coletadas de forma aleatória no mercado de Minas Gerais. As análises foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica após amalgamação em ouro. A partir desses valores foi estimada a ingestão de metilmercúrio em Minas Gerais e esta estimativa foi comparada com parâmetros

toxicológicos de referência. Dentre as amostras, 38,8% eram de peixes não predadores e 61,2% eram de peixes predadores. Os resultados indicaram que os teores de mercúrio encontrados na maioria das amostras de peixes de Minas Gerais foram inferiores aos limites máximos permitidos pela legislação brasileira. Somente 8,2% das amostras de peixes predadores apresentaram resultados insatisfatórios (teores $>1,0$ mg/kg), sendo somente o peixe cação. Em geral, peixes não predadores e peixes usualmente de aquicultura, como tilápia, panga e salmão, apresentaram teores de mercúrio baixos. A ingestão de mercúrio estimada para a população de Minas Gerais foi considerada aceitável, sem risco apreciável à saúde. O consumo de peixes seguindo a recomendação de duas a três porções semanais, desde que não se inclua peixes do topo da cadeia alimentar, parece ser seguro. Os resultados indicam que teores de mercúrio abaixo dos limites estabelecidos pela legislação brasileira são importantes para garantir ingestões desse contaminante em níveis seguros.

Palavras-chave: Metais pesados; Exposição dietética; Contaminação de alimentos; Toxicidade; Saúde Pública.

Abstract

The aim of the present study was to analyze the mercury content in fish commercialized in Minas Gerais, collected by the Food Monitoring Program of the Health Surveillance of Minas Gerais - PROGVISA, and to verify, based on these values, the risk of fish consumption. The total mercury content in 80 fish samples randomly collected from the Minas Gerais market was analyzed. The analyses were performed by atomic absorption spectrometry with gold amalgamation. From these values, the intake of methylmercury in Minas Gerais was estimated and it was compared with the toxicological reference parameters. Among the samples, 38.8% were from non-predatory fish and 61.2% were from predatory fish. The results indicated that the mercury levels found in most fish samples from Minas Gerais were below the maximum limits allowed by Brazilian legislation. Only 8.2% of the samples of predatory fish showed unsatisfactory results (contents > 1.0 mg / kg), only shark, in this case. In general, non-predatory fish and usually aquaculture fish, such as Tilapia, Panga and Salmon, had low mercury levels. The estimated mercury intake for the population of Minas Gerais was considered acceptable, without appreciable risk to health. Fish consumption following the recommendation of two to three servings per week, excluding fish at the top of the food chain, appears to be safe. The results indicate that mercury contents below the limits established by the Brazilian legislation are important to guarantee intake of this contaminant at safe levels.

Keywords: Heavy metals; Dietary exposure; Food Contamination; Toxicity; Public health.

Resumen

El objetivo del trabajo fue analizar el contenido de mercurio en el pescado comercializado en Minas Gerais, recogido por el Programa de Monitoreo de Alimentos de la Vigilancia Sanitaria de Minas Gerais - PROGVISA, y verificar, en base a estos valores, el riesgo de consumo de pescado. Se analizó el contenido total de mercurio en 80 muestras de peces recolectados al azar en el mercado de Minas Gerais. El análisis se realizaron por espectrofotometría de absorción atómica. A partir de estos valores, se estimó la ingesta de metilmercurio en Minas Gerais y esta estimación se comparó con los parámetros toxicológicos de referencia. Entre las muestras, 38.8% eran de peces no depredadores y 61.2% eran de peces depredadores. Los análisis indicaron que los niveles de mercurio encontrados en la mayoría de las muestras de peces de Minas Gerais estaban por debajo de los límites máximos permitidos por la legislación brasileña. Solo el 8.2% de las muestras de peces depredadores mostraron resultados no satisfactorio (contenido > 1.0 mg / kg), siendo solo los peces catiónicos. En general, los peces no depredadores y, por lo general, los peces de acuicultura, como la tilapia, el panga y el salmón, tenían niveles bajos de mercurio. La ingesta de mercurio, estimada para la población de Minas Gerais se consideró aceptable, sin un riesgo apreciable para la salud. El consumo de pescado, siguiendo la recomendación de dos o tres porciones por semana, siempre y cuando el pescado en la parte superior de la cadena alimentaria no esté incluido, parece ser seguro. Los resultados indican que el contenido de mercurio, por debajo de los límites establecidos por la legislación brasileña, son importantes para garantizar la ingesta de este contaminante a niveles seguros.

Palabras clave: Metales pesados; Exposición dietética; Contaminación alimenticia; Toxicidad; Salud pública.

1. Introdução

O mercúrio é uma substância presente em diversos ecossistemas e pode apresentar efeitos nefrotóxico, hepatotóxico e neurotóxico, dependendo da espécie química, isto é, formas elementar e inorgânica e, após sofrer metilação, forma orgânica, principalmente como metilmercurio (MeHg) (IOMC, 2008, Watanabe *et al.*, 2012). A forma orgânica é a mais abundante em pescado e mais absorvida após ingestão (cerca de 95%) (FAO/WHO, 2011, EFSA, 2012, Cao *et al.*, 2019).

Após ser ingerido, o MeHg passa pelos processos de bioacumulação, variando com idade, ambiente e fonte da alimentação, dentre outros fatores, e biomagnificação, que resulta no seu acúmulo em organismos vivos, ocasionando um aumento na sua concentração conforme aumenta o nível da cadeia alimentar (Azevedo *et al.*, 2017, Soares *et al.*, 2018, Cao *et al.*, 2019, Silva & Lima, 2020, Yoshino *et al.* 2020). O MeHg possui afinidade por hemácias e células do tecido nervoso, atravessando facilmente a barreira hematoencefálica e também a barreira placentária, se acumulando no feto e podendo causar toxicidade (Caserta *et al.*, 2013, Ekino *et al.*, 2007, Myers *et al.*, 2015).

Considerando o efeito neurotóxico, o Comitê Conjunto da FAO (Organização para Alimentação e Agricultura das Nações Unidas) e da OMS (Organização Mundial de Saúde) de Especialistas em Aditivos Alimentares e Contaminantes (JECFA, acrônimo em inglês de *Joint FAO/OMS Expert Committee on Food Additives*) estabeleceu um valor de ingestão semanal tolerável provisória (PTWI) para o metilmercúrio de 1,6 µg/kg peso corpóreo (JECFA, 2007). De acordo com o Sistema Integrado de Informação de Risco (IRIS, acrônimo em inglês de *Integrated Risk Information System*) da Agência de Proteção Ambiental (EPA, acrônimo em inglês de *Environmental Protection Agency*) dos Estados Unidos da América, é recomendado que seja evitada a ingestão de peixes com concentração superior a 0,46 mg/kg (EPA, 2001), e que a ingestão de peixes com níveis mais baixos de mercúrio seja limitada à porções de aproximadamente 110 g antes do preparo, no máximo três vezes por semana (US, 2017).

A importância da ingestão de peixes para a manutenção da saúde de gestantes e de crianças (Myers *et al.*, 2015, Taylor *et al.*, 2016, Sirisha *et al.*, 2017) e o risco associado ao alto consumo de mercúrio justifica o monitoramento de alimentos que possam conter esse metal. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) regulamenta os valores de concentrações máximas permitidas de mercúrio total de 0,5 mg/kg para peixes não predadores e 1,0 mg/kg para peixes predadores (Brasil, 2013). Estes limites estabelecidos, na Resolução RDC 42/2013, foram baseados nos níveis de orientações estabelecidos nos padrões gerais do *Codex Alimentarius* em suas versões anteriores a 2019, (FAO/WHO, 1995) que recomendava os mesmos valores, porém para metilmercúrio. Essa diferença é pouco significativa, uma vez que, de forma geral, 90% do mercúrio encontrado em peixes estão na forma de MeHg (FAO/WHO, 2011, Watanabe *et al.*, 2012, Kim *et al.*, 2019, Cao *et al.*, 2019).

De uma forma geral, os benefícios do consumo de peixe superam significativamente o possível risco de exposição ao mercúrio e a OMS enfatiza a importância de se realizar

políticas para reduzir a exposição ao metilmercúrio entre mulheres em idade fértil e crianças e para a vigilância dos níveis a que essa população é exposta. (JECFA, 2007, Sheehan *et al.*, 2014, Myers *et al.*, 2015). Para verificar se os parâmetros determinados pela legislação estão sendo respeitados, a ANVISA, em conjunto às Vigilâncias Sanitárias estaduais e municipais, realiza monitoramentos da segurança de alimentos, com coleta de amostras aleatórias e avaliação dos parâmetros pertinentes. Em Minas Gerais, existe o Programa de Monitoramento da Qualidade dos Alimentos (PROGVISA), que realiza a quantificação e identificação dos possíveis contaminantes presentes nos alimentos mais consumidos pela população. O monitoramento é realizado anualmente e as análises dos produtos são realizadas no Laboratório Central de Saúde Pública do Estado de Minas Gerais (LACEN/MG) do Instituto Octávio Magalhães / Fundação Ezequiel Dias (FUNED), sendo o programa financiado pela ANVISA (Almeida, 2015). Desta forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar os teores de mercúrio em peixes analisados pelo monitoramento PROGVISA no LACEN/MG e avaliar a exposição alimentar ao mercúrio.

2. Metodologia

Amostras

Foram analisadas pelo LACEN/MG 80 amostras de peixes coletados pelo PROGVISA entre os anos de 2013 a 2017. As amostras de peixes foram coletadas pelas vigilâncias sanitárias municipais de forma aleatória nos comércios de diversas regiões do estado de Minas Gerais. Foram desconsideradas as amostras de contraprova ou testemunha neste estudo.

Determinação de mercúrio total

A determinação de mercúrio em peixes foi realizada após decomposição térmica, amalgamação e leitura por espectrofotometria de absorção atômica (EPA, 2018), em equipamento Analisador de Mercúrio do fabricante Nippon Instruments Corporation, modelo MA3000.

A análise foi realizada utilizando 200 mg do músculo do peixe cru triturado e homogeneizado, pesados em barca de porcelana, própria do equipamento. As barcas com os padrões, os materiais de referência certificados e as amostras foram colocadas no amostrador

automático e iniciada a rotina do ensaio, utilizando uma rampa de aquecimento por 60 segundos a 250 °C para secagem, decomposição por 120 segundos a 650 °C e amalgamação dos resíduos da decomposição por 12 segundos.

Para a construção da curva analítica, uma solução padrão de mercúrio 1000 mg/L foi diluída utilizando uma solução de cisteína 100 mg/L, para se obter soluções padrão de mercúrio com concentrações de 1000; 100 e 1,0 µg/L. A curva foi construída utilizando no total 10 pontos com concentrações de: 0; 0,1; 0,2; 2,0; 5,0; 10; 20; 50 e 100 µg/L de mercúrio.

Avaliação do desempenho do método analítico

Para a confirmação do método, foram utilizados quatro materiais de referência certificados: amostra de proteína de peixe (DORM-3- *National Research Council Canada*), amostra de carvão LECO 502-685, amostra do *Joint Research Centre (Institute for reference materials and measurements BCR-143R)* e amostra NIST 2781 (*domestic sludge*). Para os materiais certificados foram determinados os teores de umidade por secagem em estufa a 105 °C para correção dos resultados, uma vez que os certificados indicavam a necessidade de correção.

Os parâmetros avaliados foram reprodutibilidade, repetitividade, Z-score e limite de quantificação (LQ) (INMETRO, 2016). O LQ foi determinado pela análise de dez replicatas da amostra certificada LECO 502-685 por conter o menor teor de Hg disponível. Todas as amostras foram analisadas em triplicata para o cálculo do resultado com incerteza para um nível de confiança de 95%.

Estimativa da ingestão de mercúrio pelo consumo de peixe pela população de Minas Gerais

Para o cálculo da ingestão de MeHg presente em peixes, foi utilizado o modelo determinístico (Exposição = [concentração de mercúrio (µg/kg) x consumo de peixe (kg)]/peso corpóreo (kg)) (IOMC, 2008). Diferentes cenários de consumo foram considerados: o consumo da população de Minas Gerais e o consumo teórico de diferentes quantidades de porções semanais de 110 g. O consumo de peixes foi obtido a partir da Pesquisa de Orçamentos Familiares conduzida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) entre os anos de 2008 e 2009 com população acima de 10 anos (IBGE, 2011). Foram considerados os dados de consumo de peixes frescos e preparações. O valor de

peso corpóreo (65,1 kg) foi derivado dos dados do IBGE para a população de Minas Gerais acima de 10 anos (IBGE, 2010).

3. Resultados e Discussão

Desempenho do método analítico para quantificação do mercúrio total

Os valores encontrados no teste dos materiais certificados foram comparados aos valores informados pelos fabricantes dos Materiais de Referência Certificados (MRC), estando descritos na Tabela 1. Apenas o Z-Score da amostra BCR-143R ficou na faixa questionável, porém, como os outros parâmetros de desempenho estavam na faixa aceitável, foi considerado como normal.

Tabela 1: Teor de mercúrio entre Materiais de Referência Certificados.

MRC	Valor certificado (mg/kg)	Erro relativo	Z-Score	CV	Recuperação
DORM-3	0,382 ± 0,0602	-3,84%	-0,49	2,67%	96,2%
Leco 502-685	0,043 ± 0,007	-6,72%	-1,14	3,60%	93,3%
BCR-143R	1,10 ± 0,07	-7,14%	-2,24	1,37%	92,9%
NIST 2781	3,64 ± 0,25	-2,13%	-0,62	1,92%	97,9%

CV: Coeficiente de Variação. Fonte: Autores.

O LQ obtido foi de 0,015 mg/kg. De acordo com os limites regulamentados pela ANVISA (Brasil, 2013) o menor valor de interesse para análise de mercúrio nos peixes é de 0,5 mg/kg. Para maior segurança na análise recomenda-se que o valor do limite de quantificação do método seja menor ou igual a um quinto do valor regulamentado, ou seja, 0,1 mg/kg (Codex, 2018). O método atendeu às recomendações e demonstrou possuir sensibilidade, acurácia e reprodutibilidade à pequenas quantidades de mercúrio.

Mercúrio total nas amostras de peixes

Dentre as amostras analisadas pelo LACEN/MG foram identificadas 16 espécies de peixes, sendo que 61% dessas eram de peixes predadores. A tilápia foi a espécie coletada de forma mais frequente, representando quase 30% do total de amostras. Isso é condizente com a

importância dessa espécie, visto que a tilápia é a espécie aquícola mais cultivada no Brasil e Minas Gerais é um importante polo de produção (Kubtiza, 2015, Valladão *et al.*, 2018). Das 16 espécies, oito tiveram apenas uma ou duas amostras analisadas, tornando seu espaço amostral pouco representativo. As amostras de peixes analisadas no laboratório LACEN/MG foram classificadas em dois grupos: peixes predadores e não predadores (Tabela 2) de acordo com seus hábitos alimentares para fins de comparação com os limites descritos na Resolução RDC 42/2013 (Brasil, 2013).

O teor médio de mercúrio em peixes não predadores (0,020 mg/kg) foi significativamente menor que em peixes predadores (0,207 mg/kg). A biomagnificação do mercúrio, ou seja, aumento do teor desse contaminante a medida que aumenta o nível do pescado na cadeia alimentar, é um fator importante a ser considerado para explicar essa diferença. (Soares *et al.*, 2018, Cao *et al.*, 2019, Silva & Lima, 2020) Os teores de mercúrio em peixes não predadores variaram de <0,015 mg/kg a 0,190 mg/kg e apresentaram 74,2% dos resultados abaixo do limite de quantificação (<0,015 mg/kg). A variação dos teores de mercúrio em peixes predadores foi mais ampla (0,015 mg/kg a 1,80 mg/kg) e apenas 22,4% das amostras apresentaram teores de mercúrio abaixo do limite de quantificação. Além da biomagnificação, o mercúrio é bioacumulado nos organismos vivos e vários fatores podem influenciar esses fenômenos, como idade, ambiente e as fontes alimentares. (Azevedo *et al.*, 2017, Soares *et al.*, 2018, Cao *et al.*, 2019).

Tabela 2: Classificação das espécies de peixes analisadas no laboratório LACEN/MG de acordo com seus hábitos alimentares (não predadores e predadores) e teores médios de mercúrio total

Nome popular	Nome científico	n	Teor médio Hg (mg/kg)	Desvio padrão
Peixes não predadores				
Cascudo	<i>Plecostomus sp.</i>	1	0,190	NA
Polaca	<i>Theragra chalcogramma</i>	1	0,030	NA
Piau	<i>Laemolyta varia</i>	1	0,052	NA
Sardinha	<i>Triportheus elongatus</i>	5	0,034	0,019
Tilápia	<i>Oreochromis niloticus</i>	23	<0,015	NA
Média	-		0,020	0,035
Peixes predadores				
Atum	<i>Thunnus thynnus</i>	14	0,117	0,077
Bacalhau	<i>Gadus morhua</i>	1	0,100	NA
Bonito	<i>Scomber japonicus</i>	1	0,380	NA
Cação	<i>Carcharhinus spp</i>	4	1,490	0,236
Dourado	<i>Coryphaena hippurus</i>	3	0,118	0,085
Merluza	<i>Merluccius hubbsi</i>	4	0,021	0,014
Panga	<i>Pangasius sp.</i>	11	0,013	0,013
Pescada	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	2	0,059	0,072
Piramutaba	<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>	6	0,066	0,071
Salmão	<i>Salmo salar</i>	1	0,027	NA
Traíra	<i>Hoplias malabaricus</i>	2	0,420	0,368
Média	-		0,207	0,408

NA = Não se aplica

* Valores em negritos são referentes a valores acima do limite permitido.

Fonte: Autores.

Dentre as amostras analisadas 5% apresentaram teores de mercúrio maior do que o permitido pela legislação brasileira (Brasil, 2013), sendo todas essas amostras da espécie cação (*Carcharhinus spp*), que é um peixe predador. Resultados semelhantes, com altos teores de mercúrio em peixes do mesmo gênero das amostras de cação analisadas, já foram relatados. (McKinney *et al.*, 2016, Terrázazs-López *et al.*, 2019) Em 2018, a Comissão do

Codex Alimentarius (FAO/WHO, 2019) estabeleceu limite máximo para metilmercúrio em cação de 1,6 mg/kg. Por esse regulamento internacional, apenas 25% das amostras de cação estavam acima do limite estabelecido, considerando que 100% do mercúrio total é referente ao metilmercúrio. No entanto, já foi relatado que em cações essa relação é de 90% (IOMC, 2008, Watanabe *et al.*, 2012, Kim *et al.*, 2016) e nesse caso, todas as amostras de cação analisadas poderiam estar de acordo com o limite Codex (FAO/WHO, 2019).

Por outro lado, 100% das amostras de tilápia, 82% das amostras de panga e 25% das amostras de merluza apresentaram resultados de concentração menores que o limite de quantificação (<0,015 mg/kg). Esses três tipos de peixes, principalmente tilápia e panga, geralmente tem origem de aquicultura. (Scorvo Filho, 2014, Kubitza, 2015, Valladão *et al.*, 2018) Baixos teores de mercúrio total (0,014 a 0,031 mg/kg) em tilápias, cultivadas nos estados do Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro, foram encontrados por Botaro *et al.* (2012) No entanto, a qualidade da água e da ração disponibilizada são fatores importantes na bioacumulação de mercúrio nos peixes cultivados (Botaro *et al.*, 2012, Lacerda *et al.*, 2014, Yoshino *et al.*, 2020) e valores mais altos podem ser encontrados em condições diferentes das estudadas.

Os atuns são peixes amplamente consumidos no Brasil, principalmente em comida japonesa e enlatado. Os teores encontrados no atual estudo foi baixo para um peixe predador (0,117 mg/kg), mas pode ser mais variável em amostragens mais amplas ou origens e tamanhos diferentes, visto que outros estudos brasileiros encontraram uma faixa mais ampla de contaminação de mercúrio em atuns frescos (Lacerda *et al.*, 2017) e enlatados (Alva *et al.*, 2020), encontrando amostras acima dos limites estabelecidos pela legislação brasileira (Brasil, 2013).

O cascudo (*Plecostomus sp.*) apresentou o valor mais elevado de mercúrio dentre os peixes não predadores. No entanto, como há apenas uma amostra de cascudo não é possível afirmar que esse é um perfil da espécie. Não foram encontrados dados na literatura sobre o teor de mercúrio em cascudo do gênero *Plecostomus sp.* No entanto, sabe-se que esses peixes são detritívoros e resultados semelhantes já foram relatados com teores um pouco mais elevados de mercúrio em peixes com este hábito alimentar, comparados a outros peixes não predadores (Bastos *et al.*, 2008, Soares *et al.*, 2018).

Estimativa da ingestão de mercúrio pelo consumo de peixe pela população de Minas Gerais

O consumo médio de peixe pela população de Minas Gerais (79,8 g semanais per capita) apresenta valores abaixo da recomendação da FAO/OMS (FAO/WHO, 2011) de duas porções semanais. Devido aos benefícios no desenvolvimento dos fetos (Myers *et al.*, 2015, Taylor *et al.*, 2016, Sirisha *et al.*, 2017), a inclusão de peixes nas refeições de gestantes é uma recomendação recorrente. Dependendo da frequência adotada, o consumo de peixes por gestantes ou outros grupos populacionais pode ser diferente da média do estado de Minas Gerais. Dessa forma, além da ingestão de metilmercúrio estimada pelo consumo médio da população de Minas Gerais, consumos teóricos de duas a três porções semanais de 110 g foram considerados. A estimativa da ingestão de mercúrio em diferentes cenários de consumo de peixes está apresentado na Tabela 3.

Como o consumo médio de peixes em Minas Gerais é baixo, a ingestão média de metilmercúrio é aceitável mesmo considerando teores frequentes de MeHg inferiores a 1,0 mg/kg de peixe. No entanto, mesmo com consumo baixo, se houver exposição constante a peixes com teores elevados de mercúrio, como observados entre as amostras, a população pode atingir o valor de referência toxicológica, estabelecida pelo JECFA (JECFA, 2007) e apresentar efeitos deletérios. Esse dado indica a importância do limite máximo para mercúrio estabelecido pela legislação brasileira (Brasil, 2013).

Tabela 3: Estimativa da ingestão alimentar de metilmercúrio a partir de diferentes cenários de consumo de peixes e respectiva caracterização do risco da exposição crônica ao metilmercúrio pela população de Minas Gerais

Peixes	Teor médio de MeHg (mg/kg)	Ingestão semanal MeHg ^a (µg/kg pc)	%PTWI	Percentil 95 do teor de MeHg (mg/kg)	Ingestão semanal MeHg ^b (µg/kg pc)	%PTWI
<i>Consumo de peixes pela população de Minas Gerais^c</i>						
<i>Todos</i>	0,135	0,17	10.3	0,709	0,87	54.3
<i>Peixes não predatórios</i>	0,020	0,02	1.5	0,059	0,07	4.5
<i>Peixes predatórios</i>	0,207	0,25	15.9	1,318	1,62	101.1
<i>Consumo de duas porções semanais de peixes (220 g)</i>						
<i>Todos</i>	0,135	0,46	28.5	0,709	2,40	149.8
<i>Peixes não predatórios</i>	0,020	0,07	4.2	0,059	0,20	12.5
<i>Peixes predatórios</i>	0,207	0,70	43.7	1,318	4,46	278.8
<i>Consumo de três porções semanais de peixes (330 g)</i>						
<i>Todos</i>	0,135	0,68	42.8	0,709	3,59	224.6
<i>Peixes não predatórios</i>	0,020	0,10	6.3	0,059	0,30	18.7
<i>Peixes predatórios</i>	0,207	1,05	65.6	1,318	6,69	418.2

MeHg: Metilmercúrio, pc: peso corpóreo, PTWI: Ingestão Semanal Tolerável Provisória

^a Consumo médio de peixes e teor médio de metilmercúrio.

^b Consumo médio de peixes e percentil 95 dos teores de metilmercúrio.

^c Consumo médio semanal de peixes e preparações per capita na Região Sudeste (79,8 g ^{IBGE, 2011})

Referência toxicológica = 1,6 µg/kg peso corpóreo (^{JECFA, 2007})

Fonte: Autores.

Para os casos de consumo semanal de peixes entre duas porções a três porções, que é recomendado para alcançar os benefícios nutricionais dos peixes, observa-se que a ingestão média é aceitável para os peixes estudados, não representando risco significativo. No entanto, da mesma forma que comentado anteriormente para o perfil de consumo médio de peixes em Minas Gerais, no caso de exposição frequente a peixes mais contaminados, como ocorre com alguns peixes predadores, o valor de ingestão pode extrapolar o limite toxicológico. Peixes do topo da cadeia alimentar como o cação, deve ser evitado, principalmente por mulheres em idade fértil e crianças. Para esses grupos populacionais, o consumo de peixes não predadores e alguns outros predadores, com teores mais baixos, como merluza, panga, pescada, piramutaba e salmão, apresenta uma opção mais segura.

É importante ressaltar que nem todos os peixes contêm as mesmas quantidades de ácidos graxos poli-insaturados, não garantindo a todas as espécies os mesmos efeitos protetores verificados nos estudos existentes. (Scherr *et al.*, 2014) Sugere-se realizar uma correlação entre a concentração de mercúrio e a concentração de ácidos graxos poliinsaturados, para uma avaliação do risco e benefício do consumo dos peixes comumente consumidos em Minas Gerais. Outro nutriente que tem sido considerado nessas avaliações de risco e benefício é o selênio (Se), que tem se mostrado como um fator protetor a intoxicação por metilmercúrio em uma proporção molar Se/Hg superior a 1:1 (Bjørklund *et al.*, 2017, Spiller, 2017, Ralston and Raymond, 2019).

4. Considerações Finais

Dos resultados obtidos foi possível observar que 95% das amostras de peixes analisadas no LACEN/MG apresentam valores abaixo dos limites estabelecidos pela legislação brasileira. A ingestão de mercúrio pela população de Minas Gerais estimada foi considerada aceitável, sem risco apreciável à saúde. O consumo de peixes seguindo a recomendação de duas a três porções semanais de 110 g, desde que não se inclua peixes do topo da cadeia alimentar, como o caçã, parece ser seguro. Os resultados indicam que teores de mercúrio abaixo dos limites estabelecidos pela legislação brasileira são importantes para garantir ingestões desse contaminante em níveis seguros.

Referências

- Almeida G. P. B., (2015). Qualidade dos alimentos monitorados pelo PROGVISA/MG no período de 2007 a 2013 [Tese] Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.
- Alva, C. V., Mársico, E. T., Ribeiro, R. D., da Silva Carneiro, C., Simões, J. S., da Silva Ferreira, M. (2020). Concentrations and health risk assessment of total mercury in canned tuna marketed in Southeast Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*. May 1,88, 103357.
- Azevedo, L. S., Almeida, M. G., Bastos, W. R., Suzuki, M. S., Recktenvald, M. C. N. N., Bastos, M. T. S., Vergílio, C. S., Souza, C. M. M. (2017). Organotropism of methylmercury in fish of the southeastern of Brazil. *Chemosphere*; 18, 746-753.

Bastos, W. R., Rebelo, M. F., Fonseca, M. F., Almeida, R., & Malm, O. (2008). A description of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. *Acta Amazonica*, 38(3), 431 – 438.

Bjørklund, G., Aaseth, J., Ajsuvakovad, O. P., Nikonorove, A. A., Skalny, A. V., Skalnay, M. G., Tinkov, A. A. (2017). Molecular interaction between mercury and selenium in neurotoxicity. *Coordination Chemistry Reviews*, 332, 30-37.

Botaro, D., Torres, J. P. M., Schramm, K. W., & Malm, O. (2012). Mercury levels in feed and muscle of farmed Tilapia. *American Journal of Industrial Medicine*. 55, 1159-1165.

Brasil - ANVISA. Resolução da diretoria colegiada – RDC nº 42, de 29 ago. 2013. Retrieved from http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/rdc0042_29_08_2013.pdf/c5a17d2d-a415-4330-90db-66b3f35d9fbd.

Cao, L., Liu, J., Dou, S., & Huang, W., (2019). Biomagnification of methylmercury in a marine food web in Laizhou Bay (North China) and associated potential risks to public health. *Mar. Pollut. Bull.* 150, 110762.

Caserta D., Graziano A., Monte G. L., Bordi G., & Moscarini M. (2013). Heavy metals and placental fetal-maternal barrier: a mini-review on the major concerns European. *Review for Medical and Pharmacological Sciences*; 17, 2198-2206.

Codex Secretariat (FAO/WHO). Procedural Manual of the Codex Alimentarius Commission. (26th ed.) Rome: FAO. 2018. 264 p. Retrieved from <http://www.fao.org/document/s/card/en/c/i8608en/>

EFSA (*European Food Safety Authority*), (2012). 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.* 10(12): 2985, 241 p.

Ekino, S., Susa, M., Ninomiya, T., Imamura, K., & Kitamura, T., (2007). Minamata disease revisited: An update on the acute and chronic manifestations of methyl mercury poisoning. *J. Neurol. Sci.* 262(1), 131-144.

EPA - United States Environmental Protection Agency. - Integrated Risk Information System, 2001 (IRIS) Methylmercury (MeHg). Retrieved from https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicallanding.cfm?substance_nmbr=73.

EPA – United States Environmental Protection Agency. - Method 7473 (SW-846): Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry. 2018. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/production/files/201507/documents/epa-7473.pdf>.

FAO/WHO (Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization) (1995), Codex Alimentarius Commission – Versão 193 1995. Rome: WHO, FAO.

FAO/WHO (Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization) (2011). Report of the Joint FAO/WHO expert consultation on the risks and benefits of fish consumption. *FAO Fish Aquacult. Rep.* 978, 1-50.

FAO/WHO (Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization) (2019). *General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed CXS 193-1995*. Amended in 2019. Retrieved from <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/committees/committee/related-standards/en/?committee=CCCF>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2011). Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: Tabela de composição nutricional para os alimentos consumidos no Brasil. Rio de Janeiro: IBGE.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009. Rio de Janeiro: IBGE; 2010. Retrieved from http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2008_2009/POFpublicacao.pdf

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Orientação Sobre Validação de Métodos Analíticos. 2016. Retrieved from http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/Arquivos/CGCRE/DOQ/DOQ-CGCRE-8_05.pdf.

IOMC (Inter-Organisation Programme for the Sound Management of Chemicals), 2008. Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure. UNEP / WHO, Geneva; 2008. Retrieved from <http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/mercuryexposure.pdf>.

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

Kim, S-J., Lee, H-K., Badejo, A. C., Lee, W.-C., & Moon, H.-B., (2016). Species-specific accumulation of methyl and total mercury in sharks from offshore and coastal waters of Korea. *Mar. Pollut. Bull.* 102, 210-215.

Kubitza, F., (2015). Aquicultura no Brasil: Principais espécies, áreas de cultivo, rações, fatores limitantes e desafios. *Panor. Aquic.*, 150.

Lacerda, L. D., Costa, B. G. B. C., Lopes, D. N., Oliveira, K., Bezerra, M. F., Bastos, W. R. (2014). Mercury in indigenous, introduced and farmed fish from the Semiarid Region of the Jaguaribe River Basin, NE Brazil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 93, 31-35.

Lacerda, L. D., Goyanna, F., Bezerra, M. F., & Silva, G. B. (2017). Mercury concentrations in tuna (*Thunnus albacares* and *Thunnus obesus*) from the Brazilian Equatorial Atlantic Ocean. *Bull Environ Contam. Toxicol.*, 98, 149-155.

McKinney, M. A., Dean, K., Hussey, N. E., Cliff, G., Wintner, S. P., Dudley, S. F. J., Zungu, M. P., & Fisk, A. T., (2016). Global versus local causes and health implications of high mercury concentrations in sharks from the east coast of South Africa. *Sci. Total Environ.* 541, 176-183.

Myers, G. J., Davidson, P. W., Watson, G. E., Wijngaarden, E. V., Thurston, S. W., Strain, J. J. Conrad, F. S., & Bovetd, P. (2015). Methylmercury exposure and developmental neurotoxicity. *Bull World Health Organ*; 93, 132A–132B.

Ralston, N. V. C., Kaneko, J. J., & Raymond, L. J. (2019). Selenium health benefit values provide a reliable index of seafood benefits vs. risks. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 55, 50-57.

Scherr, C., Gagliardi, A. C. M., Miname, M. H., & Santos, R. D. (2014). Concentração de ácidos graxos e colesterol de peixes habitualmente consumidos no brasil. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*.

Scorvo Filho, J. D. (2014). Panga “Made in Brasil”! Além de importar o país também já cria o peixe vietnamita. *Panor. Aquic.*, 145.

Sheehan, M. C., Burke, T. A., Navas-Acien, A., Breyse, P. N., Mc Gready, J., Fox, M. A. (2014). Global methylmercury exposure from seafood consumption and risk of developmental neurotoxicity: a systematic review. *Bull world health Organ*; 92(11):254-269.

Silva, S. F., & Lima, M. O., (2020). Mercury in fish marketed in the Amazon Triple Frontier and Health Risk Assessment. *Chemosph.* 248. 125989.

Sirisha, A., Menon, A., & Parikh, S. (2017). Role of omega 3 fatty acids on pregnancy outcome. *International journal of reproduction, contraception, obstetrics and gynecology*. 6(12):5396-5400.

Soares, J. M., Gomes, J. M., Anjos, M. R., Silveira, J. N., Custódio, F. B., Gloria, M. B. A., (2018). Mercury in fish from the Madeira River and health risk to Amazonian and riverine populations. *Food Res. Int.* 109, 537-543.

Spiller, H. A. (2018). Rethinking mercury: the role of selenium in the pathophysiology of mercury toxicity. *Clinical Toxicology*, 56, 313-326.

Taylor, C. M., Golding, J., & Emond, A. M. (2016). Mercury levels and fish consumption in pregnancy: Risks and benefits for birth outcomes in a prospective observational birth cohort. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 219, 513-520.

Terrazas-López, R., Arreola-Mendozal, L., Galván-Magaña, F., Sujitha, S. B., & Jonathan, M. P., (2019). Understanding the antagonism of Hg and Se in two shark species from Baja California South, México. *Sci. Total Environ*. 650, 202-209.

U.S. Food & Drug Administration. Eating fish: What pregnant women and parents should know. 2017. Retrieved from <https://www.fda.gov/downloads/food/foodborneillnesscontaminants/metals/ucm537120.pdf>

Valladão, G. M. R., Gallani, S. U., & Pilarski, F., (2018). South American fish for continental aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 10, 351–369.

Watanabe, N., Tayama, M., Inouye, M., & Yasutake, A., (2012). Distribution and chemical form of mercury in commercial fish tissues. *J. Toxicol. Sci.* 37, 853-861.

Yoshino, 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. *Environ. Pollut.* 262, 32146359.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Ághata de França Costa– 25%

Flávia Beatriz Custódio intelectual – 25%

Nilton de Oliveira Couto e Silva – 25%

Renata Adriana Labanca: concepção – 25%