

Estimativa de exposição ao mercúrio e recomendação ao consumo de pescado no Estado do Ceará

Coordenador: João Felipe Oliveira Matias
Pesquisadores: Moisés Fernandes Bezerra
Isabelle Bezelga Caracas
Marcus Vinicius da Silva Duarte Vale
Luiz Drude de Lacerda



Fortaleza, Outubro de 2023

FUNDAÇÃO CEARENSE DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO
PROGRAMA CIENTISTA CHEFE
PESCA & AQUACULTURA

Instituição Executora	Universidade Federal do Ceará – Instituto de Ciências do Mar
Título do Projeto	Quantificação da contaminação do pescado, ameaça à segurança alimentar pela exposição humana e a sustentabilidade das cadeias produtivas da pesca e aquacultura no Estado do Ceará
Grande Área	Pesca & Aquacultura
Área	Segurança Alimentar
Sub-Área	Contaminação dos produtos da pesca e aquacultura
Coordenador Geral	Dr. João Felipe Nogueira Matias
Pesquisadores Principais	Dr. Moisés Fernandes Bezerra MSc. Isabelle Bezelga Caracas Marcus Vinicius da Silva Duarte Vale Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda

Apresentação do Projeto:

A contaminação do pescado e produtos da aquacultura pode se revelar um óbice ao atingimento do potencial econômico do setor no Estado do Ceará e representar caso evidenciado, em fonte de risco à saúde pública e à segurança alimentar. Assim, é necessário formular cenários futuros de exposição à contaminantes e subsidiar medidas para melhorar em curto e médio prazo a sustentabilidade do setor pesqueiro. Em curto prazo, precisa fornecer dados ao setor e ao governo do estado em contraponto às recomendações constantes em auditorias de qualidade do pescado, que podem resultar em prejuízo às cadeias produtivas, como recente restrição imposta pela Comunidade Europeia. O projeto *“Quantificação da contaminação do pescado, ameaça à segurança alimentar pela exposição humana e a sustentabilidade das cadeias produtivas da pesca e aquacultura no Estado do Ceará”* fortalece a integração de pesquisas no âmbito do Programa Cientista Chefe na área de “Aquacultura e Pesca e Artesanal” e objetiva uma avaliação da contaminação dos produtos da pesca e da aquacultura por metais e sulfitos e da estimativa da exposição e do risco humano associado ao seu consumo. Estes objetivos integrarão os seguintes produtos: i) inventário regionalizado das concentrações de metais e sulfitos vis-à-vis o atendimento a guias nacionais e internacionais de segurança alimentar; ii) protocolo de custódia e análise de metais em amostras biológicas; iii) estimativa do risco humano à exposição à metais pelo consumo de produtos da pesca e aquacultura; iv) proposição de ações mitigadoras; v) aumento da percepção pública sobre a temática. Os produtos iv e v são objeto do presente relatório.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
1.2. SETOR PRODUTIVO PESQUEIRO E AQUÍCOLA NO ESTADO DO CEARÁ	8
1.3. RECOMENDAÇÕES NACIONAIS E INTERNACIONAIS ACERCA DO CONSUMO DE PESCADO	9
1.4. TOXICOLOGIA DO MERCÚRIO (Hg) E GRUPOS DE RISCO	10
2. QUANTIFICAÇÃO DE MERCÚRIO (Hg) E CÁLCULOS DE ESTIMATIVA DE EXPOSIÇÃO	10
3. CONCENTRAÇÕES DE MERCÚRIO (Hg) OBSERVADAS EM PESCADO DO ESTADO DO CEARÁ	11
4. ESTIMATIVAS DE EXPOSIÇÃO AO MERCÚRIO (Hg) ATRAVÉS DO CONSUMO DE PESCADO	12
4.1. Cenário "a" ($TC_{NE} = 0,0245 \text{ kg.dia}^{-1}$)	16
4.2. Cenário "b" ($TC_{OMS} = 0,0285 \text{ kg.dia}^{-1}$)	17
4.3. Cenário "c" ($TC_{subs} = 0,142 \text{ kg.dia}^{-1}$)	17
5. RECOMENDAÇÕES AO CONSUMO DE PESCADO NO ESTADO DO CEARÁ EM RELAÇÃO AS CONCENTRAÇÕES DE MERCÚRIO	18
5.1. Consumidores em geral	18
5.2. Mulheres grávidas e/ou lactantes	20
5.3. Produtos da aquicultura	20
6. REFERÊNCIAS	22
ANEXO A – NÚMERO DE REFEIÇÕES POR MÊS RECOMENDADA PARA O CONSUMO, COM BASE NOS VALORES MÉDIOS (Hg E COMPRIMENTO TOTAL) POR ESPÉCIE DE PESCADO, EM DIFERENTES GRUPOS DE CONSUMIDORES NO ESTADO DO CEARÁ.	25
ANEXO B – CURVAS DE BIOACUMULAÇÃO DE MERCÚRIO EM PESCADO COMERCIALIZADOS NO ESTADO DO CEARÁ.	26
ANEXO C – PERGUNTAS FREQUENTES	28

Lista de Tabelas

Tabela 1. Limites estabelecidos em legislação no Brasil e no mundo para contaminação por mercúrio (Hg) em pescados (mg.kg^{-1} peso úmido).	7
Tabela 2. Tipos de pescado avaliado no presente trabalho.	13
Tabela 3. Dados biométricos e concentrações de Hg total medidas no pescado do estado do Ceará.	15

Lista de figuras

Figura 1. Mapa do Estado do Ceará e localização dos pontos de coleta.	9
Figura 2. Quantidades seguras de consumo considerando o risco de exposição ao mercúrio (Hg) em alguns tipos de pescado comercializados no estado do Ceará.	19
Figura 3. Recomendação para consumo de pescado comercializado no Ceará considerando o risco de exposição ao mercúrio (Hg).	21

1. INTRODUÇÃO

Esse relatório apresenta recomendações sobre o consumo de pescado comercializado no estado do Ceará no que se refere ao risco de exposição excessiva ao mercúrio (Hg). O termo “pescado” refere-se aos produtos da pesca e aquicultura proveniente de ambientes aquáticos oceânicos, costeiros e continentais, e incluem peixes, crustáceos, moluscos, entre outros. Ambientes aquáticos podem ser alterados por atividades antrópicas poluidoras por meio de esgotamento doméstico, efluentes industriais e urbanos, resíduos agrícolas e queima de combustíveis fósseis. Essas fontes de contaminação emitem uma variedade de elementos e compostos, entre eles os metais pesados, incluindo o mercúrio (Hg), que podem ser incorporados e acumulados pelos organismos aquáticos comprometendo a qualidade do pescado como fonte de alimento para populações humanas (Chiocchetti et al., 2017).

Mercúrio (Hg) é um metal pesado que pode ser tóxico aos humanos e outros organismos. O Hg ocorre naturalmente no ambiente na forma de Hg metálico ou elementar (Hg^0), inorgânico (Hg^{2+}) e formando complexos orgânicos (e.g. CH_3Hg^+) (Clarkson et al., 2006). O estado do Ceará não apresenta fontes naturais significativas de Hg, como por exemplo depósitos minerais de cinábrio e/ou atividades vulcânicas. No entanto, atividades antrópicas, como queima de combustíveis fósseis, efluentes industriais e urbanos e outros, podem contribuir com a emissão desse poluente para o ambiente, incluindo a atmosfera, águas, sedimento e biota.

A legislação brasileira estabelece limites de referência para os teores de Hg nos diversos meios do ambiente. A CONAMA 420/2009 estabelece que as concentrações de Hg não devem ultrapassar 0,5 mg.kg^{-1} no solo e 0,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em águas subterrâneas. A Portaria GM/MS 888/2021 define os limites de contaminação em águas para o consumo humano e estabelece uma concentração máxima para o Hg de 0,001 mg.L^{-1} em águas potáveis. Finalmente, a CONAMA 357/2005 estabelece níveis máximos de contaminação em corpos hídricos de diferentes classes, incluindo águas doces (Classe 1 e 2 – 0,0002 mg.L^{-1} ; Classe 3 – 0,002 mg.L^{-1}), salinas (Classe 1 – 0,0002 mg.L^{-1} ; Classe 2 – 1,8 mg.L^{-1}), salobras (Classe 1 – 0,0002 mg.L^{-1} ; Classe 2 – 1,8 mg.L^{-1}) e de efluentes (0,01 mg.L^{-1}). Todos esses limites são para o Hg total que é a soma de todas as formas químicas (orgânicas e inorgânicas) de Hg existentes em uma determinada amostra.

A forma mais tóxica de Hg é o metilmercúrio (CH_3Hg^+), forma orgânica produzida por organismos decompositores no sedimento e/ou coluna d’água, que apresenta capacidade de bioacumulação nos organismos e biomagnificação na cadeia trófica podendo se concentrar em organismos do topo da cadeia alimentar, em níveis até 1.000 vezes maiores que os encontrados na água e no sedimento (UN Environment, 2019). Dessa forma, o consumo de pescado é a principal rota de exposição ao metilmercúrio em humanos (Benford et al. 2012). A exposição humana excessiva ao Hg pode causar problemas no sistema nervoso, especialmente em populações sensíveis como por exemplo mulheres em idade fértil, recém-nascidos e crianças. (UN Environment, 2019). Visando diminuir os riscos de problemas de saúde provenientes do consumo de pescado contaminados, autoridades sanitárias desenvolveram recomendações estabelecendo os níveis máximos de contaminantes em alimentos, incluindo o pescado (FAO/WHO, 1995). Essas recomendações são amplamente utilizadas na regulamentação e legislação da indústria pesqueira, no Brasil e no mundo. A Tabela 1 apresenta

os limites estabelecidos para Hg em pescados de acordo com diversas legislações no mundo. Seguindo esses valores gerais, os organismos aquáticos do litoral do Ceará têm mostrado níveis de Hg abaixo desses limites máximos.

Tabela 1. Limites estabelecidos em legislação no Brasil e no mundo para contaminação por mercúrio (Hg) em pescados (mg.kg⁻¹ peso úmido).

Tipo de pescado	Concentração máxima (mg.kg⁻¹)	Legislação de referência	Região
Peixes (músculo)	0,5 – 1,0	EU 420/2011 Canada, 2021	União Europeia Canada
Peixes predadores	1,0	Instrução Normativa ANVISA/DC Nº 88 DE 26/03/2021	Brasil
Outros peixes (não predadores)	0,5	Instrução Normativa ANVISA/DC Nº 88 DE 26/03/2021	Brasil
Moluscos	0,5	FSANZ F2015C00052; Instrução Normativa ANVISA/DC Nº 88 DE 26/03/2021	Austrália Brasil
Crustáceos	0,5	FSANZ F2015C00052; Instrução Normativa ANVISA/DC Nº 88 DE 26/03/2021	Austrália Brasil

Em geral, organismos aquáticos de ambientes estuarinos e marinhos do Ceará apresentam concentrações médias de Hg inferiores a 1,0 mg.kg⁻¹ (Costa & Lacerda, 2014; Lacerda et al., 2016; Moura & Lacerda, 2018; Moura et al., 2020) e produtos da aquicultura cearense apresentam níveis ainda menores (< 0,5 mg.kg⁻¹) (Soares et al., 2011; Oliveira et al., 2015). No entanto, além da concentração medida no organismo consumido, outros fatores determinam o risco de exposição excessiva, por exemplo a faixa etária do consumidor, o peso corpóreo, a frequência de ingestão e quantidade ingerida durante um dado período, sendo essas variáveis utilizadas para determinar quais tipos de pescado podem trazer algum risco aos consumidores (Bezerra et al., 2023).

O programa Cientista-Chefe, sancionado em 2021 pela lei estadual 17.378 e instituído no âmbito da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP, promove a aplicação do conhecimento científico no aprimoramento das políticas públicas em 20 áreas de atuação do Estado, incluindo Agricultura, Aquicultura, Ciência de dados, Ciência e Tecnologia, Cultura, Economia, Educação, Energia, Infraestrutura, Inovação, Justiça, Meio Ambiente, Pecuária, Pesca, Proteção Social, Recursos Hídricos, Saúde, Segurança Pública, Transformação Digital e Tribunal de Contas. Dentre essas, a área de Aquicultura desenvolve inovações tecnológicas para modernização da pesca artesanal e aquicultura do Ceará além de atender as demandas socioeconômicas e de sustentabilidade das cadeias produtivas através da avaliação de contaminantes no pescado como ameaça a segurança alimentar para os consumidores de pescado.

Utilizando como base o inventário que identificou as espécies de maior interesse e comercialização dentro do estado (Bezerra et al., 2022) e o protocolo de custódia e análise de metais pesados em amostras biológicas (Caracas et al., 2022), ambos desenvolvidos previamente no âmbito deste projeto, o presente trabalho tem como principal objetivo estimar a exposição ao Hg através do consumo de pescado e estabelecer recomendações claras e objetivas direcionadas aos consumidores de pescado no Ceará visando a melhoria da percepção de risco associado ao consumo de pescado.

1.2. SETOR PRODUTIVO PESQUEIRO E AQUÍCOLA NO ESTADO DO CEARÁ

Em seu último Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura, publicado em 2011, a então Secretaria de Monitoramento e Controle do Ministério da Pesca e Aquicultura, colocava a região Nordeste do Brasil como a maior produtora de pescado do país, respondendo por cerca de 30% da produção nacional. O estado do Ceará (Fig. 1) figurava entre as cinco unidades da federação com maior produção de pescados no país naquele período (MPA, 2012). Atualmente, embora não haja dados oficiais compilados da produção nacional, em termos de volume de exportação de pescado o Ceará ocupa o segundo lugar no Brasil (COMEXSTAT, 2022). Nesse contexto, o setor produtivo pesqueiro no Ceará tem não só grande relevância no cenário econômico nacional como também um enorme potencial de crescimento e geração de renda para o estado. Somente no ano de 2021, o Ceará exportou cerca de 8,6 mil toneladas de pescado, esse volume representa um crescimento de 53% com relação ao ano anterior e equivale a cerca de 105 milhões de dólares (COMEXSTAT, 2022).

A aquicultura tem crescido rapidamente como uma fonte de proteína animal de alta qualidade no Brasil. O cultivo intensivo de Camarão girou entre 20.000 e 60.000 toneladas entre anos de 2013 e 2020 no Brasil (Ximenes, 2021). Somente em 2021, o estado do Ceará produziu cerca de 23.917,68 toneladas de Camarão (IBGE, 2021), o que reflete um crescimento de 14% comparado com o ano anterior (Vidal, 2022). Em contraste, a produção de Tilápia no estado do Ceará não mostra o mesmo crescimento. Em 2019, o Ceará produziu cerca de 5.800 toneladas (Ximenes, 2021), enquanto no ano de 2021 a produção foi de apenas 1.278,15 toneladas (IBGE, 2021). Essa queda é atribuída ao longo período de estiagem que reduziu a capacidade produtiva nos reservatórios do estado devido ao baixo volume de água acumulado. No entanto, o Camarão e a Tilápia somaram o equivalente a R\$ 410.447.346,00 no ano de 2021 (IBGE, 2021), o que é uma excelente contribuição do setor para o desenvolvimento do estado.

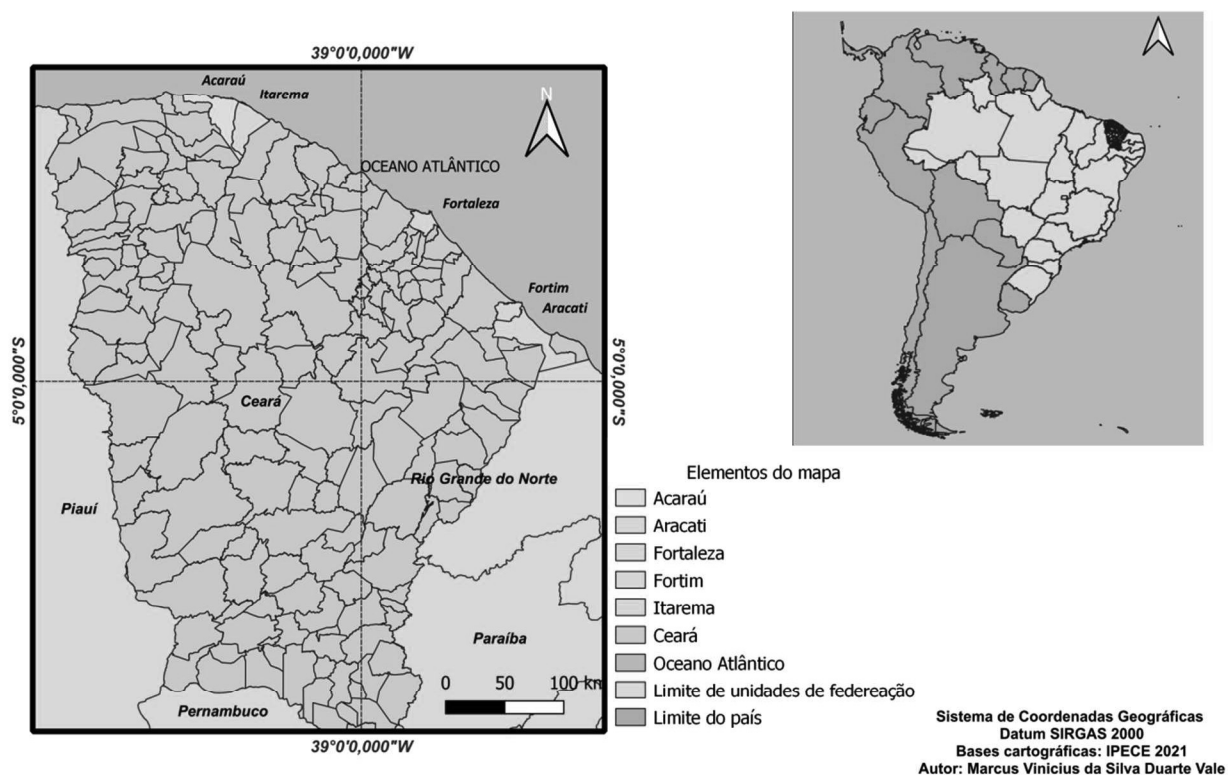


Figura 1. Mapa do Estado do Ceará e localização dos pontos de amostragem de pescado.

1.3. RECOMENDAÇÕES NACIONAIS E INTERNACIONAIS ACERCA DO CONSUMO DE PESCADO

A Organização Mundial de Saúde (OMS) e a *Food and Aquaculture Organization* (FAO) apontam o consumo de pescado como importante fonte de proteína animal, sendo composta de nutrientes e minerais essenciais para o bom desenvolvimento humano (OMS/FAO, 2010). Estudos mostram que existe uma correlação entre o consumo de peixes e a redução no risco de desenvolvimento de doenças coronárias e infarto o que é atribuído ao alto nível de ácidos graxos poli-insaturados (Ômega 3 e 6) presente em algumas espécies de peixes (Nesheim & Yaktine, 2007; Raatz et al., 2013). Dessa forma, a recomendação é que populações em geral consumam, no mínimo, duas refeições de pescado por semana (cada refeição contendo cerca de 100 g de pescado), equivalente a uma taxa de consumo diária de 28,5 g.dia⁻¹ (FAO/WHO, 2010; Raatz et al., 2013). De fato, o pescado é um alimento de alto teor proteico, mineral e de vitaminas, especialmente os chamados “*oily fishes*” que são espécies de salmão, anchovas, sardinhas, entre outros (USDA, 2010).

Existem fortes evidências de que o consumo de pescado em populações sensíveis – mulheres em idade fértil e crianças – reduz o risco de doenças cardíacas e melhora o desenvolvimento neurológico de recém-nascidos e crianças quando a mãe mantém uma dieta rica em peixes (FAO/WHO, 2010). Por isso, agências internacionais recomendam fortemente o consumo de pescado como fonte de proteína e nutrientes essenciais para populações de adultos e crianças em geral. Em contraste, em situações em que o pescado apresenta altos níveis de Hg, o consumo pode trazer riscos (FAO/WHO, 2010). Portanto, é reconhecida a necessidade de oferecer recomendações claras e objetivas para que os consumidores tenham conhecimento de quais tipos de pescado, da frequência e das quantidades a serem consumidas. A presente recomendação considera as principais espécies de pescado disponíveis para o consumo no

estado do Ceará, as respectivas concentrações de Hg quantificadas neste estudo e as taxas de consumo de pescada observada.

1.4. TOXICOLOGIA DO MERCÚRIO (Hg) E GRUPOS DE RISCO

A toxicidade do Hg depende fortemente de sua forma química (elementar, inorgânica, orgânica) e da rota de exposição (oral, dérmica, inalação). O metilmercúrio é a forma orgânica mais tóxica e que mais representa risco para populações humanas (UN Environment, 2019). Em geral, mais de 90% do Hg presente na musculatura de peixes está na forma de metilmercúrio (NRC, 2000), incluindo em algumas espécies comercializadas no estado do Ceará (Lacerda et al., 2007; Moura et al., 2020). Dessa forma, considerando os custos analíticos, os estudos do risco de exposição ao Hg pela ingestão de pescado avaliam os níveis de Hg total, assumindo que a maior parte deste está na forma orgânica mais tóxica (Mergler et al., 2007; UN Environment, 2019). Uma vez ingerido o metilmercúrio é absorvido no trato gastrointestinal e distribuído pelo corpo, e acumulando em órgãos e tecidos. A capacidade desse contaminante de ser transferida através da placenta e de se acumular no tecido cerebral e no feto tornam o sistema nervoso especialmente sensível aos efeitos tóxicos do Hg (ATSDR, 2022).

O metilmercúrio tem uma meia-vida biológica (tempo de permanência) no corpo humano de 44 a 74 dias, sendo esse o tempo necessário para o metabolismo humano eliminar metade do metilmercúrio ingerido. Essa eliminação se dá através da conversão do metilmercúrio em Hg inorgânico e posterior eliminação pelas fezes e urina. O metilmercúrio também pode ser excretado através do leite materno, sendo essa uma das formas de contaminação de recém-nascidos (ATSDR, 2022). A toxicidade do Hg em humanos tem sido amplamente estudada desde a década de 50, quando o primeiro caso de intoxicação em grande escala por Hg foi identificado na Baía de Minamata, no Japão (Harada, 1995).

Atualmente, existem fortes evidências de problemas neurológicos e de desenvolvimento em recém-nascidos e crianças associado com a exposição ao metilmercúrio durante o desenvolvimento do feto devido ao consumo de pescado contaminado pela mãe durante a gravidez (FAO/WHO, 2010). Dessa forma, os grupos de risco considerados mais sensíveis a contaminação por Hg, são mulheres em idade fértil (entre 18 e 45 anos) e crianças entre 1 e 12 anos (EFSA, 2012). Apesar do elevado consumo de pescado, casos de toxicidade por Hg não foram detectados em áreas onde não há fontes pontuais de contaminação por Hg, como é o caso do estado do Ceará.

2. QUANTIFICAÇÃO DE MERCÚRIO (Hg) E CÁLCULOS DE ESTIMATIVA DE EXPOSIÇÃO

A quantificação das concentrações de Hg nas amostras de pescado avaliadas neste estudo foi realizada por Espectrometria de Absorção Atômica por Vapor Frio (CVAAS). Os procedimentos de coleta, processamento de amostras e tratamento de dados seguem recomendações da US EPA (2000, 2001; 2022) revisados detalhadamente e adaptados à situação regional em Caracas et al. (2022). A estimativa de exposição para os diferentes cenários de consumo de pescado foi calculada segundo procedimentos aceitos internacionalmente (USEPA, 2002, 2022) e está detalhadamente descrita abaixo.

Utilizando a Eq (1) foi calculado o *Fish Safe Level* (FSL) que consiste na concentração máxima de segurança estimada *apriori* utilizando como base o peso corpóreo médio (PCM) de cada grupo de consumidores, em kg, e a taxa de consumo de pescado (TC) para cada um dos três cenários: a) $TC_{NE} = 0,0245 \text{ kg.dia}^{-1}$, segundo consumo per capita de pescado estimado para a região nordeste do Brasil (IBGE, 2021); b) $TC_{OMS} = 0,0285 \text{ kg.dia}^{-1}$, segundo consumo mínimo de pescado recomendado por

organizações internacionais (FAO/WHO, 2010; USDA, 2010); e c) $TC_{subs} = 0,142 \text{ kg.dia}^{-1}$, segundo estimativa para populações que consomem pescado como subsistência (USEPA, 2001). Rfd é a dose de referência para Hg, $0,0001 \text{ mg.kg de peso corpóreo}^{-1}$ por dia (USEPA, 2001) e é definido como o nível de exposição diária ao Hg em que efeitos adversos não são esperados:

$$FSL = \frac{PCM \times RfD}{TC} \quad (1)$$

O peso corpóreo médio (PCM) varia de acordo com os diferentes grupos de consumidores, mulheres em idade fértil (18 a 45 anos, 56,5 kg); crianças (1 a 12 anos, 24,3 kg); homens adultos (mais de 18 anos, 66,8 kg); e mulheres adultas (mais de 46 anos, 59,3 kg).

Em seguida, foi calculado a taxa de consumo seguro máxima (TC_{max}), em kg.dia^{-1} , utilizando os parâmetros PCM, Rfd e a concentração média de Hg medida no pescado ($[Hg]_{pescado}$), em mg.kg^{-1} :

$$TC_{max} = \frac{PCM \times RfD}{[Hg]_{pescado}} \quad (2)$$

Utilizando a Eq (3), foi calculada a taxa de incorporação de Hg (TIHg), em $\text{mg.kg peso corpóreo}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, para cada grupo de consumidores nos diferentes cenários de consumo. Essa taxa foi comparada com a dose de referência para o Hg (Rfd).

$$TIHg = \frac{[Hg]_{pescado} \times TC}{PCM} \quad (3)$$

Por fim, foi estimado o *Target Hazard Quotient* (THQ), ou índice de risco associado, utilizando a Eq (4), segundo USEPA (2022). Esse índice representa o risco de exposição crônica para contaminantes não-carcinogênicos sendo definido que para $THQ < 1$ não há risco potencial de efeitos adversos e para $THQ > 1$ existe um risco potencial de efeitos adversos em consumidores.

$$THQ = \frac{FE \times TC \times DE \times [Hg]_{pescado}}{RfD \times PCM \times FE \times DE} \quad (4)$$

Onde, FE é a frequência de exposição, em dia.ano^{-1} , DE é a duração da exposição, em anos, de acordo com os diferentes grupos de consumidores avaliados em diferentes cenários de consumo de pescado.

Para se obter as quantidades recomendadas de consumo de pescado ($QR_{mês}$) para cada grupo de consumidores, foi utilizado a taxa de consumo seguro máxima (TC_{max}) calculada previamente e a estimativa do tempo de exposição (TE), definido como 365,25 dias em 12 meses ou 30,44 dias por mês, segundo a Eq (5):

$$QR_{mês} = \frac{TC_{max} \times TE}{\text{tamanho da porção}} \quad (5)$$

Na presente estimativa o tamanho da porção foi definido como 100 g para adultos e 50 g para crianças (FAO/WHO, 2010).

Visando simplificar as recomendações fornecidas no presente trabalho, foram utilizadas quatro categorias de frequência de consumo para cada espécie de pescado avaliada:

- 1) até 3 refeições por mês;
- 2) 4 a 6 refeições por mês (ou até uma refeição por semana);

3) 8 a 10 refeições por mês (ou até duas refeições por semana); e

4) 11 a 13 refeições por mês (ou até três refeições por semana).

Espécies em que a recomendação é acima de 13 refeições ao mês, definiu-se como sem restrição ao consumo (ANEXO A). O tamanho da porção foi definido pelo peso úmido de uma porção de pescado fresco (músculo/filé) de aproximadamente 100g. Essa refeição foi estimada para um adulto médio de 67 kg de peso corpóreo e deve ser ajustada de acordo com o peso do consumidor. Porção de 1,5 g de pescado fresco por kg de peso corpóreo.

3. CONCENTRAÇÕES DE MERCÚRIO (Hg) OBSERVADAS EM PESCADO DO ESTADO DO CEARÁ

Um total de 49 espécies de pescado foram amostrados (976 amostras), sendo 34 espécies de peixes ósseos amostrados entre os anos de 2005 e 2023; 9 espécies de peixes cartilagosos amostrados entre os anos de 2015 e 2023; três espécies de crustáceos amostrados entre os anos de 2010 e 2023; e três espécies de moluscos amostrados entre os anos de 2003 e 2016 (Tabela 2). Para algumas espécies, o número amostral foi insuficiente (< 5 indivíduos) para representar a espécie e, portanto, os resultados devem ser interpretados com cautela.

Concentrações de Hg em pescado são reportadas em mg.kg^{-1} de peso úmido. Os diferentes tipos de pescado foram agrupados por espécie e os valores médios de concentração de Hg por espécie foram utilizados para os cálculos de estimativas de exposição. A tabela 3 apresenta os valores médios, desvios padrão e mínimos e máximos obtidos para cada espécie de pescado avaliado.

Tabela 2. Tipos de pescado avaliado no presente trabalho.

Espécies	Nome comum	n	Anos de coleta	Origem
Peixes ósseos				
<i>Thunnus alalunga</i>	Albacora-branca	4	2022	Indústria
<i>Thunnus obesus</i>	Albacora-bandolim	31	2011, 2016	Indústria
<i>Thunnus albacares</i>	Albacora-laje	52	2011, 2016	Indústria
<i>Seriola lalandi</i>	Arabaiana	3	2023	Mercado do Mucuripe
<i>Lutjanus synagris</i>	Ariacó	19	2005, 2010, 2011, 2015, 2016, 2022, 2023	Mercado do Mucuripe, Indústria
<i>Cathorops spixii</i>	Bagre	70	2007, 2013, 2015	Estuário do Rio Jaguaribe
<i>Haemulon plumieri</i>	Biquara	15	2005, 2010, 2011, 2022	Mercado do Mucuripe, Fortim
<i>Megalops atlanticus</i>	Camurupim	1	2022	Acarau
<i>Eugerres brasiliensis</i>	Carapeba	69	2005	Mercado do Mucuripe, Estuário do Rio Jaguaribe Jaguaribe
<i>Lutjanus cyanopterus</i>	Carapitanga	6	2013	Estuário do Rio Jaguaribe
<i>Scomberomorus cavalla</i>	Cavala	20	2005, 2006, 2016, 2022	Mercado do Mucuripe, Acaraú
<i>Lutjanus analis</i>	Cioba	1	2022	Mercado do Mucuripe
<i>Pomadasys corvinaeformis</i>	Coró	3	2005, 2013	Mercado do Mucuripe, Estuário do Rio Jaguaribe
<i>Lutjanus jocu</i>	Dentão	6	2015	Estuário do Rio Jaguaribe
<i>Coryphaena hippurus</i>	Dourado	7	2022	Indústria
<i>Epinephelus morio</i>	Garoupa	1	2022	Mercado do Mucuripe
<i>Ocyurus chrysurus</i>	Guaiúba	6	2005, 2016	Mercado do Mucuripe
<i>Caranx bartholomaei</i>	Guarajuba	9	2005, 2016, 2022	Mercado do Mucuripe
<i>Elogatis bipinnulata</i>	Guaxuma	1	2022	Maranhão
<i>Menticirrhus americanus</i>	Judeu	9	2013, 2015	Estuário do Rio Jaguaribe
<i>Lutjanus purpureus</i>	Pargo	14	2022, 2023	Mercado do Mucuripe, Indústria, Camocim
<i>Chaetodipterus faber</i>	Parum	2	2010	Fortim
<i>Cynoscion sp.</i>	Pescada	5	2013	Estuário do Rio Jaguaribe
<i>Cephalopholis fulva</i>	Piraúna	25	2005;2006	Mercado do Mucuripe, Mundaú
<i>Centropomus sp.</i>	Robalo	16	2013, 2015, 2023	Estuário do Rio Jaguaribe
<i>Archosargus rhomboidalis</i>	Salema	5	2010	Estuário Rio Jaguaribe
<i>Ophistonema oglinum</i>	Sardinha	7	2005, 2022	Mercado do Mucuripe, Estuário do Rio Jaguaribe
<i>Scomberomorus brasiliensis</i>	Serra	14	2006, 2016, 2022	Mercado do Mucuripe, Acaraú
<i>Mycteroperca bonaci</i>	Sirigado	1	2022	Mercado do Mucuripe
<i>Mugil curema</i>	Tainha	13	2005, 2013, 2015	Estuário do Rio Jaguaribe

Tabela 2. Cont.

Espécies	Nome comum	n	Anos de coleta	Origem
Peixes ósseos				
<i>Oreochromis niloticus</i>	Tilápia	5	2023	Indústria
<i>Elops saurus</i>	Ubarana	4	2013, 2015	Estuário do Rio Jaguaribe
<i>Haemulon carbonarium</i>	Xira	5	2005	Estuário do Rio Jaguaribe
<i>Tylosurus crocodilus</i>	Zambaia	2	2010	Fortim
Peixes cartilaginosos				
<i>Carcharhinus sp.</i>	Cação-carcharhinus	5	2022	Mercado do Mucuripe
<i>Mustelus canis</i>	Cação-boca-de-velha	4	2022	Mercado do Mucuripe
<i>Rhizoprionodon porosus</i>	Cação-frango	7	2016, 2022	Mercado do Mucuripe
<i>Carcharhinus limbatus</i>	Cação-galha-preta	10	2022	Mercado do Mucuripe
<i>Ginglymostoma cirratus</i>	Cação-lixia	10	2016, 2022	Mercado do Mucuripe
<i>Galeocerdo curvier</i>	Cação-tigre	2	2022	Mercado do Mucuripe
<i>Rhinoptera sp.</i>	Raia-morcego	1	2022	Mercado do Mucuripe
<i>Hypanus guttatus</i>	Raia-bico-de-remo	21	2015, 2016, 2022, 2023	Mercado do Mucuripe, Icarai
<i>Hypanus americanus</i>	Raia-manteiga	16	2015, 2022, 2023	Mercado do Mucuripe, Icarai
Crustáceos				
<i>Penaeus vannamei</i>	Camarão	49	2010, 2015, 2022	Cultivo
<i>Panulirus argus</i>	Lagosta	11	2022, 2023	Acarau, Indústria
<i>Callinectes sp.</i>	Siri	23	2015, 2023	Estuário Rio Jaguaribe, Paracuru
Moluscos				
<i>Crassostrea rhizophorae</i>	Ostra	42	2003, 2015, 2016	Estuário do Jaguaribe, Ceara, Pacoti e Coco
<i>Mytella charruana</i>	Sururu	10	2015	Estuário do Rio Jaguaribe
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	Vôngole	21	2015	Estuário Rio Jaguaribe

Aproximadamente 93% das espécies de pescado comercializado no estado do Ceará apresentaram concentrações médias de Hg menores ou iguais a $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ em peso úmido. Essa concentração é o limite máximo de Hg para consumo humano de peixes não-predadores estabelecido na Instrução Normativa da Agência Nacional de Vigilância Sanitária: ANVISA/DC Nº 88 DE 26/03/2021 (ANVISA, 2021). Para peixes predadores, o limite máximo estabelecido na referida normativa é de $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ em peso úmido. e não foi ultrapassado em nenhuma das espécies analisadas considerando os valores médios de Hg. Entretanto, considerando as concentrações de Hg por indivíduo analisado, foram observados valores iguais ou maiores que $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ em peso úmido em sete indivíduos (menos de 1% das amostras) e apenas 55 indivíduos (6% dos indivíduos analisados) apresentaram concentrações de Hg igual ou maior que $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ em peso úmido (Tabela 3). A maior concentração de Hg foi observada em um único indivíduo da espécie *Megalops atlanticus*, comumente conhecido como Camurupim, que apresentou $1,6 \text{ mg.kg}^{-1}$. No entanto, esse foi o único indivíduo amostrado (obtido apenas em posta, diretamente no

Mercado de São Sebastião) para esse tipo de pescado e, portanto, pode não representar as concentrações médias de Hg nessa espécie.

É importante ressaltar que os valores estabelecidos na instrução normativa da ANVISA acima citada são limites máximos tolerados para fins de fiscalização sanitária de alimentos para consumo humano e, portanto, no caso do Hg em pescado, não representam necessariamente níveis de contaminação que permitam o consumo seguro de quaisquer tipos de pescado analisados no presente estudo. Para isso, é necessário avaliar as características dos consumidores (p. ex. idade, peso e sexo), a frequência e quantidades consumidas de cada tipo de pescado, assim como, o tempo de exposição através do consumo.

Tabela 3. Dados biométricos e concentrações de Hg total medidas no pescado do estado do Ceará.

Nome comum	Comprimento total (cm)		Hg Total (mg.kg ⁻¹)	
	Media ± DP	Min - Max	Media ± DP	Min - Max
Peixes ósseos				
Albacora-branca			0,6 ± 0,07	0,44 – 0,62
Albacora-banolim	88,1 ± 19,1	54 – 139	0,5 ± 0,31	0,09 – 1,64
Albacora-laje	93,4 ± 28,12	42 – 150	0,15 ± 0,07	0,05 – 0,47
Arabaiana			0,01 ± 0,019	0,07 – 0,12
Ariacó	25,6 ± 6,4	14 – 35,0	0,06 ± 0,05	0,01 – 0,18
Bagre	23,14 ± 7,88	10,8 – 50	0,13 ± 0,02	0,002 – 0,08
Biquara	21,34 ± 3,7	15 – 27,1	0,08 ± 0,08	0,01 – 0,27
Camurupim			1,65	1,65
Carapeba	17,12 ± 5,68	10,5 – 27,5	0,02 ± 0,02	0,002 – 0,12
Carapitanga	16,5 ± 2,3	14 – 19,6	0,03 ± 0,01	0,02 – 0,04
Cavala	73,6 ± 27,71	26 – 126	0,37 ± 0,4	0,05 – 1,74
Cioba	26,0		0,045	0,045
Coró	18,5 ± 4,6	15,7 – 23,9	0,03 ± 0,01	0,01 – 0,04
Dentão	12,8 ± 1,7	10 – 15,0	0,02 ± 0,01	0,01 – 0,03
Dourado	118,4 ± 22,36	96,8 – 155,8	0,21 ± 0,14	0,15 – 0,54
Garoupa			0,08	0,08
Guaiúba	39,3 ± 10,4	32,73 – 60	0,1 ± 0,09	0,04 – 0,28
Guarajuba	33,38 ± 4,84	26,7 – 41	0,14 ± 0,07	0,05 – 0,3
Guaxuma			0,023	0,023
Judeu	16,9 ± 5,17	12,5 – 24,5	0,02 ± 0,01	0,01 – 0,04
Pargo	45,2 ± 20,9	20,2 – 81,0	0,2 ± 0,19	0,04 – 0,7
Parum	12,75 ± 0,35	12,5 – 13	0,03 ± 0,009	0,023 – 0,04
Pescada	15,7 ± 6,5	10 – 29	0,009 ± 0,011	0,003 – 0,05
Piraúna	31,14 ± 9,24	19,5 – 59	0,12 ± 0,11	0,023 – 0,42
Robalo	29,2 ± 10,7	15 – 59	0,04 ± 0,06	0,007 – 0,28
Salema	25,80 ± 4,4	20 – 32	0,04 ± 0,03	0,01 – 0,09
Sardinha	17,9 ± 2,96	15,4 – 24,3	0,03 ± 0,01	0,02 – 0,05
Serra	63,0 ± 11,0	52 – 87,9	0,13 ± 0,13	0,04 – 0,5
Sirigado			0,07	0,07
Tainha	23,8 ± 4,3	19 – 33,0	0,01 ± 0,003	0,001 – 0,01
Tilápia	32,6 ± 1,0	31 – 33,7	0,0003 (< L.D.)	0,0003

Tabela 3. Cont.

Nome comum	Comprimento total (cm)		Hg Total (mg.kg ⁻¹)	
	Media ± DP	Min - Max	Media ± DP	Min - Max
Peixes ósseos				
Ubarana	25,38 ± 2,10	22,5 – 27,5	0,02 ± 0,01	0,01 – 0,03
Xira	18,36 ± 0,57	17,8 – 19,10	0,05 ± 0,02	0,02 – 0,09
Zambaia	63,00 ± 0,0	63,0	0,02 ± 0,003	0,021 – 0,028
Peixes cartilaginosos				
Cação-carcharhinus	117,7 ± 36,24	87,3 – 170	0,75 ± 0,36	0,13 – 1,03
Cação-boca-de-velha	102,7 ± 8,02	95 – 111	0,53 ± 0,11	0,4 – 0,68
Cação-frango	51,2 ± 25,6	36 – 92,2	0,2 ± 0,36	0,04 – 0,95
Cação-galha-preta	122,6 ± 30,34	60 – 172	0,58 ± 0,19	0,15 – 0,85
Cação-lixia	140,2 ± 46,2	82,2 – 199,0	0,42 ± 0,27	0,07 – 0,92
Cação-tigre	232,4 ± 123,9	144,8 – 320,0	0,44 ± 0,26	0,26 – 0,62
Raia-bico-de-remo	38,2 ± 20,9	10,7 – 84	0,26 ± 0,34	0,01 – 1,09
Raia-manteiga	70,7 ± 14,0	30 – 91	0,38 ± 0,31	0,12 – 1,2
Raia-morcego	82		0,03	0,03
Crustáceos				
Camarão	9,1 ± 3,4	3 – 16	0,003 ± 0,001	0,0004 – 0,1
Lagosta	18,14 ± 3,9	14,1 – 23,5	0,004 ± 0,01	0,02 – 0,07
Siri			0,02 ± 0,01	0,005 – 0,05
Moluscos				
Ostra	< 2		0,01 ± 0,006	0,004 – 0,03
Sururu			0,01 ± 0,002	0,01 – 0,02
Vôngole	2,01 ± 0,23	1,7 – 2,3	0,01 ± 0,003	0,01 – 0,02

4. ESTIMATIVAS DE EXPOSIÇÃO AO MERCÚRIO (Hg) ATRAVÉS DO CONSUMO DE PESCADO

Foi calculada a exposição ao Hg para quatro grupos de consumidores: A) Mulheres entre 18 e 45 anos; B) Crianças entre 1 e 12 anos; C) Homens acima de 18 anos; e D) Mulheres acima de 46 anos. Para cada grupo, foi estimada a exposição considerando três cenários: a) Consumo per capita de pescado estimado para a região nordeste do Brasil ($TC_{NE} = 0.0245 \text{ kg.dia}^{-1}$) segundo IBGE (2021); b) Consumo de pescado seguindo recomendação da FAO/WHO (2010) para obtenção dos benefícios nutricionais desse tipo de alimento; e c) Consumo para populações com alto nível de ingestão de pescado ou que consumam pescado como subsistência segundo USEPA (2000).

4.1. Cenário “a” ($TC_{NE} = 0.0245 \text{ kg.dia}^{-1}$)

Nesse cenário, mulheres em idade fértil e mulheres acima de 46 anos apresentam taxas de ingestão de Hg (TIHg) acima da dose de referência (RfD = $0,0001 \text{ mg.kg peso corpóreo}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) para 11 espécies de pescado, incluindo os peixes ósseos Camurupim, Cavala e Albacora-bandolim, Albacora-branca, além dos peixes cartilaginosos Cação-carcharhinus, Cação-boca-de-velha, Cação-galha-preta, Cação-tigre, Cação-lixia, Raia-manteiga e Raia-bico-de-remo. Homens acima de 18 anos também apresentam TIHg maior que RfD para as mesmas espécies, exceto para a Raia-bico-de-remo. Essas espécies apresentam média de Hg

entre 0,3 e 0,75 mg.kg⁻¹ (Tabela 3), o que está abaixo do limite máximo tolerável (1 mg.kg⁻¹) segundo a instrução normativa da ANVISA (ANVISA, 2021).

Para crianças entre 1 e 12 anos, TIHg excede RfD para 17 espécies avaliadas, incluindo os peixes ósseos Piraúna, Guarajuba, Dourado, Pargo, Serra e Albacora-laje, além das espécies citadas anteriormente. O índice de risco associado (THQ) foi maior que 1 para as mesmas espécies em que TIHg excede o RfD em todos os grupos de consumidores.

Nesse cenário, a concentração máxima de segurança (FSL) calculada foi de apenas 0,23 mg.kg⁻¹, 0,24 mg.kg⁻¹, 0,27 mg.kg⁻¹ e 0,10 mg.kg⁻¹ em peso úmido, para mulheres em idade fértil, mulheres acima de 46 anos, homens acima de 18 anos e crianças entre 1 e 12 anos, respectivamente. Ainda assim, entre 63% e 80% das espécies de pescado analisadas apresentam concentrações de Hg menores que FSL e, portanto, não apresentariam nenhum risco aos consumidores.

4.2. Cenário “b” (TC_{OMS} = 0,0285 kg.dia⁻¹)

Nesse cenário, mulheres em idade fértil apresentam taxas de ingestão de Hg (TIHg) acima da dose de referência (RfD = 0,0001 mg.kg peso corpóreo⁻¹.dia⁻¹) para 13 espécies de pescado, incluindo os peixes ósseos Dourado, Camurupim, Cavala e Albacora-bandolim, Albacora-branca, além dos peixes cartilagosos Cação-cacharinus, Cação-boca-de-velha, Cação-frango, Cação-galha-preta, Cação-tigre, Cação-lixia, Raia-manteiga e Raia-bico-de-remo. Para mulheres acima de 46 anos, TIHg é maior que RfD em 11 espécies, incluindo todas as citadas anteriormente, exceto Dourado. Para homens acima de 18 anos, TIHg é maior que RfD para as mesmas espécies, exceto Dourado e Cação-frango. Essas espécies apresentam média de Hg entre 0,3 e 0,75 mg.kg⁻¹ em peso úmido (Tabela 3), o que está abaixo do limite máximo tolerável segundo a instrução normativa da ANVISA (ANVISA, 2021).

Para crianças entre 1 e 12 anos, TIHg excede RfD para 19 espécies avaliadas, incluindo os peixes ósseos Piraúna, Guarajuba, Guaiúba, Pargo, Serra e Albacora-laje, além das espécies citadas anteriormente. O índice de risco associado (THQ) foi maior que 1 para as mesmas espécies em que TIHg excede o RfD em todos os grupos de consumidores.

Nesse cenário, a concentração máxima de segurança (FSL) calculada foi de apenas 0,20 mg.kg⁻¹, 0,21 mg.kg⁻¹, 0,23 mg.kg⁻¹ e 0,10 mg.kg⁻¹, em peso úmido para mulheres em idade fértil, mulheres acima de 46 anos, homens acima de 18 anos e crianças entre 1 e 12 anos, respectivamente. Ainda assim, entre 59% e 78% das espécies de pescado analisadas apresentam concentrações de Hg menores que FSL e, portanto, não apresentariam nenhum risco aos consumidores.

4.3. Cenário “c” (TC_{subs} = 0,142 kg.dia⁻¹)

Nesse cenário, um número maior de espécies apresentou TIHg maior que RfD, sendo 26 espécies no grupo de mulheres em idade fértil e mulheres acima de 46 anos, 25 espécies no grupo de homens acima de 18 anos e 40 espécies no grupo de crianças entre 1 e 12 anos de idade. Essas espécies apresentam média de Hg entre 0,02 e 0,75 mg.kg⁻¹ em peso úmido (Tabela 3), o que está abaixo do limite máximo tolerável segundo a instrução normativa da ANVISA (ANVISA, 2021). O índice de risco associado (THQ) foi maior que 1 para as mesmas espécies em que TIHg excede o RfD em todos os grupos de consumidores. Nesse cenário, a concentração máxima de segurança (FSL) calculada foi menor que 0,05 mg.kg⁻¹ em peso úmido para todos os grupos de consumidores avaliados.

Claramente nota-se que a frequência e quantidade de pescado consumida controla fortemente a definição do limite máximo de segurança (FSL). É importante entender que o FSL deve ser utilizado como uma avaliação *apriori* visando identificar a existência de possíveis cenários onde o consumo de um certo tipo de pescado poderá trazer risco a um determinado tipo de consumidor. Portanto, esse tipo de estimativa não deve ser utilizado para fazer recomendações de consumo, visto que a dieta de consumidores em geral é incrivelmente variada e, portanto, difícil de ser definida com exatidão. Dessa forma, os índices TIHg e THQ refletem os riscos reais de uma população apenas quando utilizadas taxas de consumo determinadas localmente e/ou os níveis de Hg medidos no pescado ultrapassarem o limite de $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ em peso úmido.

5. RECOMENDAÇÕES AO CONSUMO DE PESCADO NO ESTADO DO CEARÁ EM RELAÇÃO AS CONCENTRAÇÕES DE MERCÚRIO

5.1. Consumidores em geral

O pescado é uma importante fonte de energia, proteína e uma ampla diversidade de nutrientes e vitaminas necessários para o bom funcionamento do metabolismo humano. O consumo de pescado é ainda uma tradição milenar de muitas populações costeiras, incluindo as populações do estado do Ceará.

Sabe-se que o consumo de pescado tem benefícios na redução do risco de morte por problemas cardíacos em adultos em geral (FAO/WHO, 2010), além de melhorar o desenvolvimento neurológico de crianças, particularmente quando o consumo ocorre durante a gravidez. O risco atribuído a não ingestão dos nutrientes presentes no pescado são maiores do que os riscos atribuídos à eventual exposição ao Hg por meio do consumo de pescado que apresentam concentrações abaixo de $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ em peso úmido (FAO/WHO, 2010), o que é o caso da grande maioria do pescado comercializado no estado do Ceará, como demonstrado neste estudo. Dessa forma, observa-se que todos os pescados comercializados no Ceará podem ser consumidos com segurança. No entanto, deve-se atentar com a frequência de consumo, especialmente por mulheres em idade fértil e crianças.

Recomenda-se consumir pequenas porções de diferentes tipos de pescado em vez de grandes quantidades de um único tipo que pode conter altas concentrações de Hg e outros contaminantes. Em geral, peixes de grande porte contêm maiores níveis de contaminantes comparado com peixes de pequeno porte. Recomenda-se o consumo do músculo (filé) evitando o consumo de pele e órgãos como o fígado e trato digestivo, pois essas partes geralmente contêm maiores concentrações de contaminantes. A carne de pescado após o processo de cocção apresenta menores concentrações de contaminantes comparado ao pescado fresco (Costa et al., 2022).

Consumidores em geral devem reduzir o consumo de tubarões (cação) e raias de grande porte, medindo mais que 1,0 m de comprimento no caso de tubarões, e 50 cm de largura do disco no caso de raias. Para esse tipo de pescado, é aconselhado o consumo de no máximo uma porção por mês. Vale ressaltar que a quantidade segura de consumo de pescado varia com o peso corpóreo do consumidor. Recomenda-se utilizar a Figura 2 como referência para o consumo desse tipo de pescado.

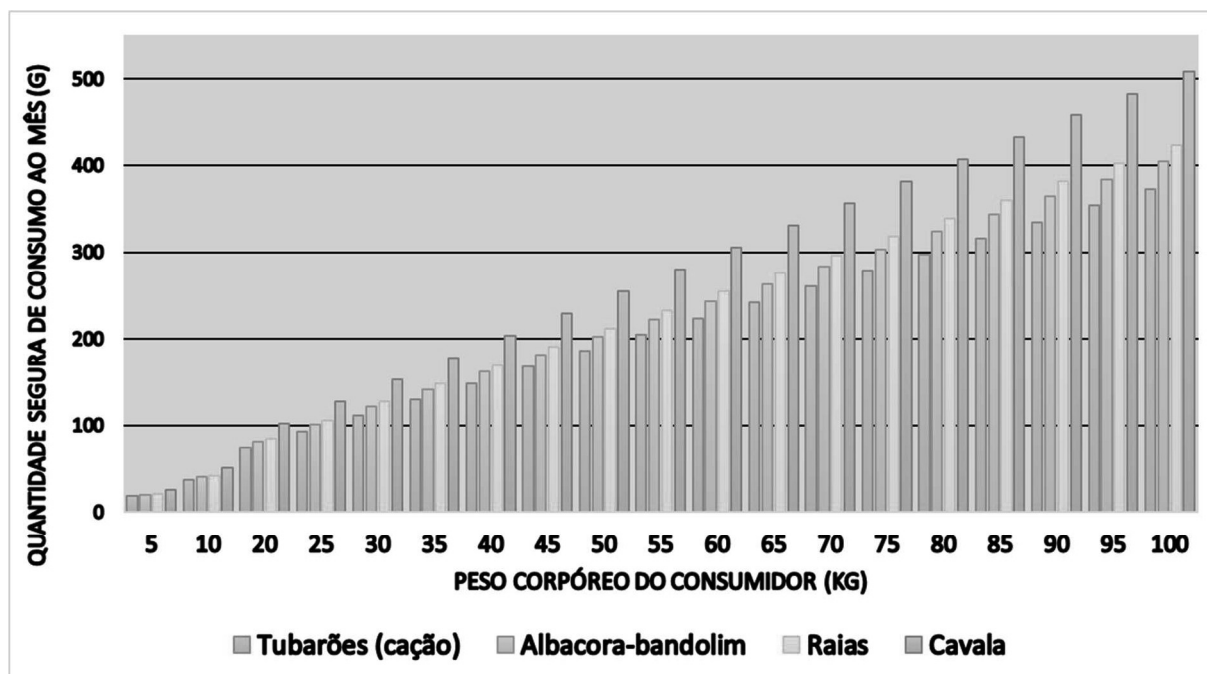


Figura 2 – Quantidades seguras de consumo considerando o risco de exposição ao mercúrio (Hg) em alguns tipos de pescado de grande porte comercializados no estado do Ceará.

Tubarões e raias de grande porte são predadores de vida longa e se alimentam de outros peixes, ocupando um alto nível na cadeia alimentar de regiões oceânicas e costeiras (Carrier et al., 2010). Dessa forma, esses organismos incorporam maiores quantidades de Hg nos órgãos e tecidos (Bezerra et al., 2019; Tiktak et al., 2020). O Hg acumula no corpo ao longo da vida dos organismos, dessa forma, animais maiores tendem a apresentar maiores concentrações comparados com animais menores de uma mesma espécie. Essa tendência foi observada em tubarões e raias avaliadas no presente estudo (ANEXO B) e, portanto, optou-se por incluir na recomendação de consumo animais de grande e pequeno porte separadamente.

As concentrações médias de Hg nas seis espécies de tubarões avaliados variaram de 0,2 mg.kg⁻¹ a 0,75 mg.kg⁻¹ em peso úmido. Nas duas espécies de raias avaliadas, as concentrações médias de Hg variaram entre 0,26 mg.kg⁻¹ e 0,38 mg.kg⁻¹ em peso úmido (Tabela 3). Geralmente, esse tipo de pescado é vendido sem identificação de espécie, portanto, na presente recomendação os resultados de todas as espécies foram agrupados em dois grupos (tubarões e raias) e foi calculado a concentração de Hg referente ao percentil 95. Os tubarões apresentaram concentração de 0,82 mg.kg⁻¹ em peso úmido e as raias apresentaram concentração de 0,72 mg.kg⁻¹ em peso úmido. Esses valores foram utilizados para estimar as quantidades seguras de consumo mostradas na Figura 2.

Variações nas concentrações de Hg com o tamanho dos indivíduos foram observadas nos peixes ósseos Albacora-bandolim e Cavala (ANEXO B). As concentrações de Hg nos indivíduos de grande porte dessas espécies são maiores que nos indivíduos menores e, portanto, recomenda-se que o consumo desse tipo de pescado seja de no máximo uma vez por semana. Para todos os outros tipos de pescado avaliados recomenda-se um consumo de duas vezes por semana ou mais, dependendo da espécie (Figura 3). Essa recomendação está de acordo com sugestões de consumo estabelecidas pela OMS e FAO (FAO/WHO, 2010).

5.2. Mulheres grávidas e/ou lactantes

A Organização Mundial de Saúde e a FAO, enfatizam que esse grupo de consumidores deve consumir pescado como forma de otimizar o desenvolvimento neurológico do bebê durante a gestação e nos primeiros anos de vida da criança (FAO/WHO, 2010). Isso se deve, em grande parte, aos altos níveis de ácidos graxos de cadeia longa (LCn3PUFA) contido na maioria dos peixes e frutos do mar e que são incorporados no cérebro e membranas da retina durante a gestação e amamentação do bebê (Martinez, 1992; Lewin et al., 2005). O desenvolvimento ótimo desses órgãos tem mostrado uma melhora nos testes de memória visual e compreensão de linguagem em crianças até 2 anos (Colombo et al., 2004; Daniels et al., 2004; Oken et al., 2008; Hibbeln et al., 2007). É importante destacar que esses benefícios foram observados em crianças cujas mães mantinham uma dieta rica em frutos do mar. Em contraste, crianças e recém-nascidos são mais sensíveis aos efeitos tóxicos do Hg e, por isso, os cuidados ao consumir pescado devem ser redobrados evitando espécies com alto teor desse contaminante.

Mulheres grávidas, lactantes, e crianças devem evitar consumir peixes de grande porte, incluindo tubarões (cação) e raias maiores que 1,0 metro de comprimento e 50 centímetros de largura do disco, respectivamente. As concentrações Hg observadas nesse tipo de pescado juntamente com os riscos específicos para esse tipo de consumidor justificam essa recomendação. Outros peixes de grande porte, como a Albacora-bandolim e a Cavala maiores que 1,0 m de comprimento devem ser consumidas apenas uma vez por mês por esse grupo de consumidores. Peixes de pequeno porte das espécies acima citadas podem ser consumidos com segurança, desde que não ultrapasse a recomendação de uma vez por semana. Para todos os outros tipos de pescado avaliados recomenda-se um consumo de duas vezes por semana ou mais dependendo da espécie (Quadro 1). Essa recomendação está de acordo com sugestões de consumo estabelecidas pela OMS e FAO (FAO/WHO, 2010).

5.3. Produtos da aquicultura

O pescado produzido pela atividade aquícola do estado do Ceará apresentou as menores concentrações de mercúrio comparado com o pescado oriundo da pesca extrativista. A tilápia e o camarão foram incluídos na categoria “sem restrição” e podem ser consumidos com segurança em uma frequência acima de três vezes por semana, por todos os grupos de consumidores.

RECOMENDAÇÃO DE CONSUMO DE PESCADO COMERCIALIZADO NO ESTADO DO CEARÁ O pescado é fonte de proteínas, vitaminas e minerais essenciais ao bom desenvolvimento humano e deve fazer parte da dieta do Cearense. Assim como diversos tipos de alimentos, deve-se escolher qual tipo de pescado é mais apropriado e seguro para o consumo. Essa recomendação aplica-se ao pescado comercializado no estado do Ceará. Peixes acumulam Hg enquanto crescem e as maiores concentrações estão em peixes grandes.	
Mulheres entre 18 e 45 anos de idade e Crianças entre 1 e 12 anos de idade DEVEM CONSUMIR ATÉ:	
NÃO CONSUMIR	TUBARÕES (Cação) (maior que 1,0 metro) e RAIAS (maior que 50 cm) de <u>grande porte</u> .
1 VEZ POR MÊS	Albacora-bandolim e Cavala (maior que 1,0 metro) de <u>grande porte</u> ; OU
1 VEZ POR SEMANA	TUBARÕES (Cação), Albacora-bandolim, Albacora-branca, Cavala (menor que 1,0 metro) e RAIAS (menor que 50 cm), de <u>pequeno porte</u> ; Piraúna ou Dourado; OU
2 VEZES POR SEMANA	Pargo, Dentão ou Guaiúba; OU
3 VEZES POR SEMANA	Guarajuba, Albacora-laje, OU
SEM RESTRIÇÃO	Arabaiana, Ariacó, Bagre, Biquara, Camarão, Carapitanga, Carapeba, Coró, Guarajuba, Judeu, Lagosta, Mariquita, Ostra, Parum, Pescada, Robalo, Sardinha, Salema, Sargo, Serra, Siri, Sururu, Tainha, Tilápia, Ubarana, Vôngole, Xira ou Zambaia.
Mulheres acima 45 anos de idade e Homens acima de 18 anos de idade DEVEM CONSUMIR ATÉ:	
1 VEZ POR MÊS	TUBARÕES (Cação) (maior que 1 metro) e RAIAS (maior que 50 cm) de <u>grande porte</u> ; OU
1 VEZ POR SEMANA	Albacora-bandolim, Albacora-branca e Cavala (maior que 1,0 metro) de <u>grande porte</u> ; OU
2 VEZES POR SEMANA	TUBARÕES (Cação)), Cavala ou Albacora-bandolim (menor que 1,0 metro), RAIAS (menor que 50 cm), de <u>pequeno porte</u> ; Piraúna ou Dourado; OU
3 VEZES POR SEMANA	Pargo, Dentão ou Guaiúba; OU
SEM RESTRIÇÃO	Albacora-laje, Arabaiana, Ariacó, Bagre, Biquara, Camarão, Carapitanga, Carapeba, Coró, Guarajuba, Judeu, Lagosta, Mariquita, Ostra, Parum, Pescada, Robalo, Sardinha, Salema, Sargo, Serra, Siri, Sururu, Tainha, Tilápia, Ubarana, Vôngole, Xira ou Zambaia.
RECOMENDAÇÃO PARA DIFERENTES TIPOS DE PESCADO NAO DEVEM SER COMBINADAS. Se você consome diferentes tipos de pescado regularmente, atenção para não exceder o número de refeições. Por exemplo, se você consumir um pescado da categoria “uma vez por semana”, você não deve consumir pescado de nenhuma categoria na mesma semana. SIRVA PORÇÕES MENORES PARA CRIANÇAS. UMA PORÇÃO TEM APROXIMADAMENTE 100 g PARA UM ADULTO DE 67 kg. Ajuste o tamanho da porção de acordo com seu peso, sendo 1,5 g de pescado por quilo de peso corpóreo.	

Figura 3 – Recomendação para consumo de pescado comercializado no Ceará considerando o risco de exposição ao mercúrio (Hg).

6. REFERÊNCIAS

- ANVISA, D.C. da A.N. de V.S., 2021. INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN N° 88, DE 26 DE MARÇO DE 2021, Limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos.
- ATSDR, 2022. Toxicological Profile for Mercury (Draft for Public Comment). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Services.
- Bezerra, M.F., Lacerda, L.D., Lai, C.-T., 2019. Trace metals and persistent organic pollutants contamination in batoids (Chondrichthyes: Batoidea): A systematic review. *Environ. Pollut.* 248. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.070>
- Bezerra, M.F., Lacerda, L.D., Matias, J.F., 2022. Inventário justificado das espécies de pescado de maior interesse e risco de contaminação por metais (Hg e Cd) no Estado do Ceará. Fortaleza, Ceará.
- Caracas, I.B., Bezerra, M.F., Lacerda, L.D., Matias, J.F., 2022. Protocolo para análise e quantificação de metais em pescados e produtos da aquicultura. Fortaleza, Ceara.
- Carrier, J., Musick, J., Heithaus, M., 2010. *Sharks and Their Relatives II*. <https://doi.org/10.1201/9781420080483>
- Colombo, J., Kannass, K.N., Shaddy, D.J., Kundurthi, S., Maikranz, J.M., Anderson, C.J., Blaga, O.M. & Carlson, S.E. 2004. Maternal DHA and the development of attention in infancy and toddlerhood. *Child Development*, 75:1254–1267.
- COMEXSTAT, 2022. Sistema de Estatísticas do Comércio exterior. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral> Acesso em fevereiro de 2022. [WWW Document].
- Costa, F., Miei, C.L., Pereira, M.E., Coelho, J.P., 2022. Mercury bioaccessibility in fish and seafood: Effect of method, cooking and trophic level on consumption risk assessment. *Mar. Pollut. Bull.* 179, 113736. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113736>
- Daniels, J.L., Longnecker, M.P., Rowland, A.S. & Golding, J. 2004. Fish intake during pregnancy and early cognitive development of offspring. *Epidemiology*, 15:394–402.
- EFSA, 2012. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA J.* 10. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2985>
- FAO/WHO, 2010. Report of the joint FAO / WHO expert consultation on the risks and benefits of fish consumption, FAO Fisheries and Aquaculture report.
- Harada, M., 1995. Minamata Disease: Methylmercury Poisoning in Japan Caused by Environmental Pollution. *Crit. Rev. Toxicol.* 25, 1–24. <https://doi.org/10.3109/10408449509089885>
- Hibbeln, J.R., Davis, J.M., Steer, C.P., Emmett, I., Rogers, C., Williams, C. & Golding, J. 2007. Maternal seafood consumption in pregnancy and neurodevelopmental outcomes in childhood (ALSPAC study): an observational cohort study. *Lancet*, 369:578–585.
- IBGE, 2021. IBGE, Produção da Pecuária Municipal 2020. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/pesquisa/18/16459?localidade=1&ano=2020&indicador=16512>.

- Lacerda, L., Santos, J., Campos, R., Gonçalves, R., Salles, R., 2007. Total-Hg and organic-Hg in *Cephalopholis fulva* (Linnaeus, 1758) from inshore and offshore waters of NE Brazil. *Brazilian J. Biol.* 67, 493–498. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842007000300014>
- Lewin, G.A., Schachter, H.M., Yuen, D., Merchant, P., Mamaladze, V. & Tsertsvadze, A. 2005. Effects of omega-3 fatty acids on child and maternal health. Rockville, MD, Agency for Healthcare Research and Quality (Evidence Reports/Technology Assessments, No. 118).
- Martinez, M. 1992. Tissue levels of polyunsaturated fatty acids during early human development. *Journal of Pediatrics*, 120(4 Pt 2):S129–S138
- Mergler, D., Anderson, H.A., Chan, L.H.M., Mahaffey, K.R., Murray, M., Sakamoto, M., Stern, A.H., 2007. Methylmercury exposure and health effects in humans: A worldwide concern. *Ambio* 36, 3–11. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[3:MEAHEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[3:MEAHEI]2.0.CO;2)
- Moura, V.L., Rabelo, J.N., Bezerra, M.F., Silva, G.B.D., Faria, V.V., Rezende, C.E., Bastos, W.R., Lacerda, L.D.D., 2020. Ecological and biological factors associated to mercury accumulation in batoids (Chondrichthyes: Batoidea) from northeastern Brazil. *Mar. Pollut. Bull.* 161. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111761>
- MPA, 2012. Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura - 2011. Secretaria de Monitoramento e Controle do Ministério da Pesca e Aquicultura – MPA. Coordenação-Geral de Monitoramento e Informações Pesqueiras. 60p., Boletim Estatístico Da Pesca E Aquicultura 2011. Brasília.
- National Research Council, ., 2000. Toxicological Effects of Methylmercury, Toxicological Effects of Methylmercury. National Academies Press, Washington, D.C. <https://doi.org/10.17226/9899>
- Nesheim, M.C., Yaktine, A.L., 2007. Seafood choices: Balancing benefits and risks, Seafood Choices: Balancing Benefits and Risks. <https://doi.org/10.17226/11762>
- Oken, E., Østerdal, M.L., Gillman, M.W., Knudsen V.K., Halldorsson, T.I., Strøm, M. & Bellinger, D.C. 2008. Associations of maternal fish intake during pregnancy and breastfeeding duration with attainment of developmental milestones in early childhood: a study from the Danish National Birth Cohort. *American Journal of Clinical Nutrition*, 288:789–796.
- Raatz, S.K., Silverstein, J.T., Jahns, L., Picklo, M.J., 2013. Issues of fish consumption for cardiovascular disease risk reduction. *Nutrients* 5, 1081–1097. <https://doi.org/10.3390/nu5041081>
- Tiktak, G.P., Butcher, D., Lawrence, P.J., Norrey, J., Bradley, L., Shaw, K., Preziosi, R., Megson, D., 2020. Are concentrations of pollutants in sharks , rays and skates (Elasmobranchii) a cause for concern ? A systematic review. *Mar. Pollut. Bull.* 160, 111701. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111701>
- UN Environment, 2019. Global Mercury Assessment 2018. UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch Geneva, Switzerland. Geneva, Switzerland.
- USEPA, 2000. Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories. Vol. 1: Fish Sampling and Analysis. EPA 823-B-00-007. Office of Science and Technology Office of Water U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

USEPA, 2001. Water Quality Criterion for the Protection of Human Health : Methylmercury Final. US Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA- 823-R-:303.

USEPA, 2022. Regional Screening Levels for Chemical Contaminants at Superfund Sites. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-users-guide#special>.

USDA, 2010. Dietary guidelines for Americans. U.S. Dep. Agric. U.S. Dep. Heal. Hum. Serv. 95. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.0077>

Vidal, M. de F., 2022. Carcinicultura. Cad. Setorial - Escritório Estud. Econômicos do Nord. - ETENE 1–10.

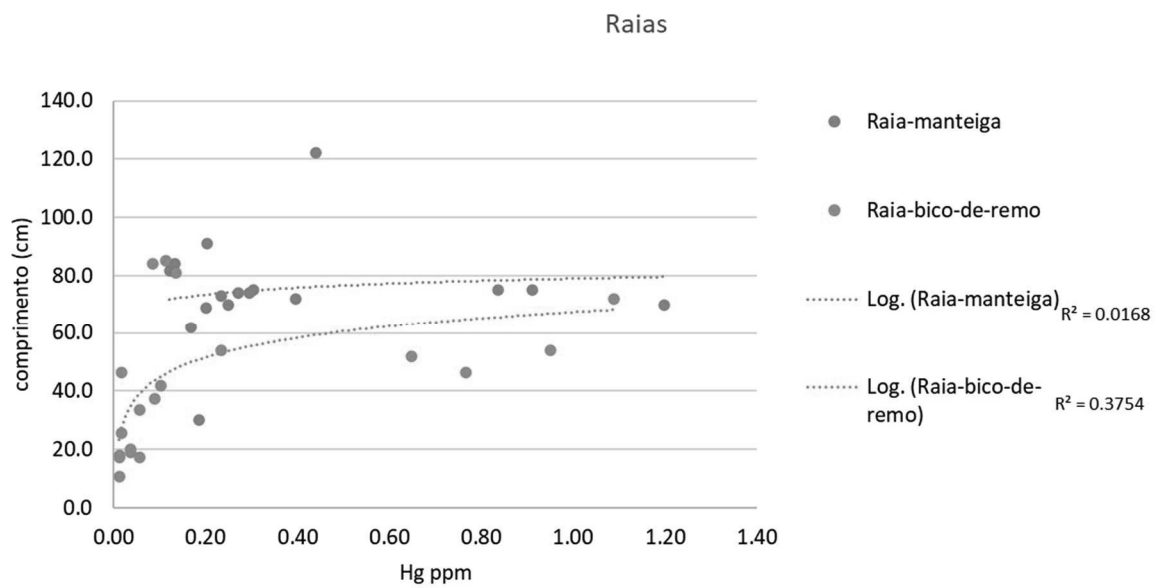
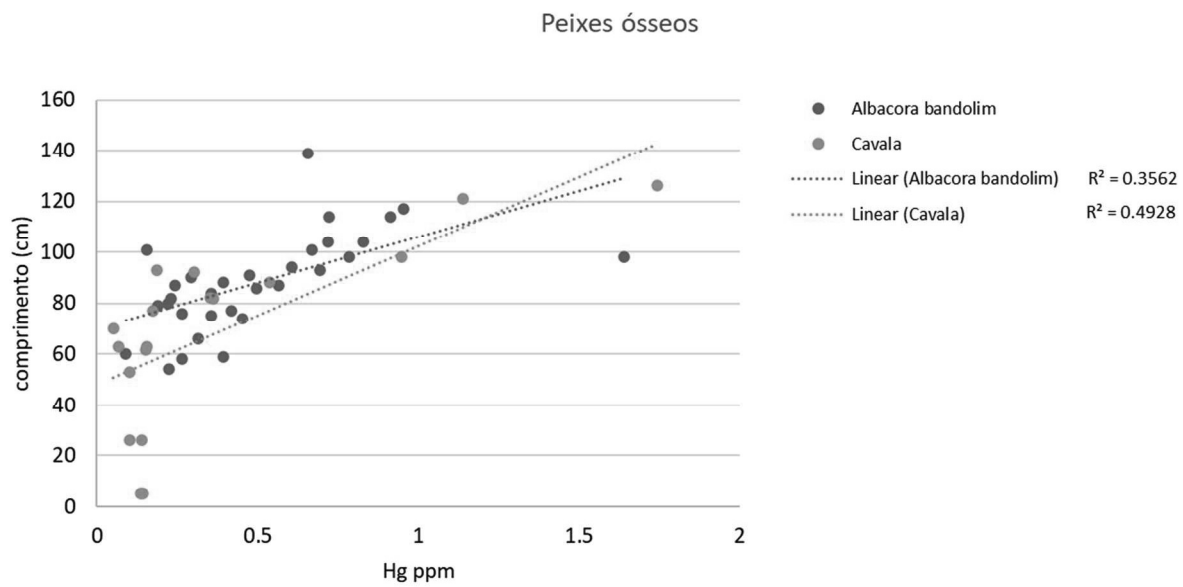
Ximenes, L.F., 2021. Produção De Pescado No Brasil E No Nordeste Brasileiro. Cad. Setorial - Escritório Estud. Econômicos do Nord. - ETENE 150, 1–16.

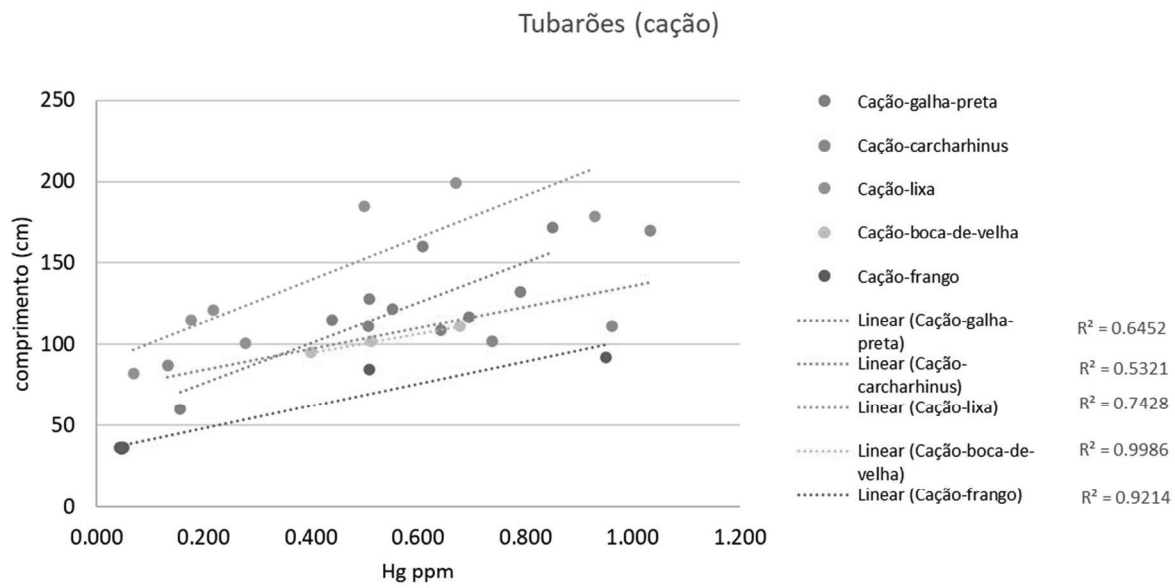
ANEXO A – NÚMERO DE REFEIÇÕES POR MÊS RECOMENDADA PARA O CONSUMO, COM BASE NOS VALORES MÉDIOS (Hg E COMPRIMENTO TOTAL) POR ESPÉCIE DE PESCADO, EM DIFERENTES GRUPOS DE CONSUMIDORES NO ESTADO DO CEARÁ.

Espécies	Grupo de consumidores	
	Crianças entre 1 e 12 anos de idade; Mulheres entre 18 e 45 anos de idade	Mulheres acima de 46 anos de idade; Homens acima de 18 anos de idade
Cação-carcharhinus	≤ 3	≤ 3
Albacora-bandolim	≤ 4	≤ 4
Albacora-branca	≤ 4	≤ 4
Cação-boca-de-velha	≤ 4	≤ 4
Cação-galha-preta	≤ 4	≤ 4
Cação-tigre	≤ 4	≤ 5
Cação-lixia	≤ 5	≤ 5
Raia-manteiga	≤ 5	≤ 5
Cavala	≤ 5	≤ 6
Raia-bico-de-remo	≤ 6	≤ 8
Cação-frango	≤ 8	≤ 8
Dourado	≤ 8	≤ 10
Pargo	≤ 10	≤ 10
Albacora-laje	≤ 10	≤ 13
Guarajuba	≤ 13	> 13
Ariacó	> 13	> 13
Arabaiana	> 13	> 13
Bagre	> 13	> 13
Biacara	> 13	> 13
Camarão	> 13	> 13
Carapeba	> 13	> 13
Carapitanga	> 13	> 13
Coró	> 13	> 13
Dentão	> 13	> 13
Guaiúba	> 13	> 13
Judeu	> 13	> 13
Lagosta	> 13	> 13
Ostra	> 13	> 13
Parum	> 13	> 13
Pescada	> 13	> 13
Piau	> 13	> 13
Piraúna	> 13	> 13
Robalo	> 13	> 13
Salema	> 13	> 13
Sardinha	> 13	> 13
Serra	> 13	> 13
Siri	> 13	> 13
Sururu	> 13	> 13
Tainha	> 13	> 13
Tilápia	> 13	> 13
Ubarana	> 13	> 13
Vôngole	> 13	> 13
Xira	> 13	> 13
Zambaia	> 13	> 13

*Recomendação de consumo: ■ sem restrição; ■ até 3 refeições por mês; ■ 4 a 6 refeições por mês (ou até uma refeição por semana); ■ 8 a 10 refeições por mês (ou até duas refeições por semana); ■ 11 a 13 refeições por mês (ou até três refeições por semana);

ANEXO B – CURVAS DE BIOACUMULAÇÃO DE MERCÚRIO EM PESCADO COMERCIALIZADOS NO ESTADO DO CEARÁ.





ANEXO C – PERGUNTAS FREQUENTES

De onde vem o mercúrio presente no pescado?

O mercúrio (Hg) é um elemento químico presente no ambiente de forma natural, mas sua concentração tende a ser maior em áreas altamente urbanizadas e industrializadas. O Hg segue diferentes caminhos até chegar ao pescado, o que depende da forma original em que ele foi liberado no ambiente. Em geral, o Hg oriundo de fontes naturais é lixiviado pelas chuvas e transportado para os rios e mares. Uma vez no ambiente, uma parte do Hg se deposita nos sedimentos onde poderá ser transformado biologicamente, por bactérias, em Hg orgânico que é a forma absorvida pelos organismos aquáticos na base da cadeia alimentar, incluindo microalgas e zooplâncton. Os peixes, e outros frutos do mar, incorporam o Hg ao se alimentarem desses organismos. O Hg se liga fortemente à moléculas orgânicas nos organismos o que resulta em longo tempo de permanência nos indivíduos e faz com que peixes maiores apresentem maiores quantidades desse contaminante. A atividade humana (p. ex., queima de combustíveis fósseis, resíduos urbanos e industriais, queimadas, mineração e garimpo) pode incrementar a emissão do Hg para o ambiente e redistribuí-lo aumentando suas concentrações no ambiente e, conseqüentemente, no pescado.

Como eu posso estar exposto ao mercúrio?

O consumo de peixes e frutos do mar é a principal forma de exposição ao Hg em humanos. Dessa forma, cada pessoa terá uma exposição maior ou menor dependendo do tipo e da frequência de pescado que consome ao longo da vida. Mulheres grávidas e lactantes podem expor seus bebês ao Hg através da placenta e amamentação. Por essa razão, é importante tomar decisões conscientes e seguros acerca do tipo de pescado a ser consumido.

O Hg orgânico tem longa meia-vida no corpo humano (aproximadamente 44 a 74 dias no sangue podendo ser maior em outros órgãos) e, por isso, mulheres em idade fértil devem seguir as recomendações de consumo indicado a mulheres grávidas e lactantes. As pessoas também podem ser expostas à outras formas de Hg, incluindo o Hg elementar e outras formas inorgânicas, como por exemplo através de amálgamas dentárias e termômetros de mercúrio. Essas formas apresentam menor toxicidade comparada ao Hg orgânico, e menor capacidade de acumulação no corpo, sendo eliminadas do corpo mais rapidamente (1 a 40 dias). Para a maior parte das pessoas, essas formas de exposição são raras e de menor gravidade comparada a exposição ao Hg através do consumo de pescado.

É possível haver intoxicação por mercúrio através do consumo de pescado no Ceará?

Não existe nenhum caso reportado de intoxicação por Hg relacionado ao consumo de pescado no estado do Ceará. Os níveis de Hg observados no pescado comercializado no estado são muito menores comparados com aqueles observados em áreas onde esse tipo de intoxicação ocorreu, por exemplo na Baía de Minamata no Japão e no Iraque. As recomendações aqui apresentadas, seguem o “princípio da precaução” e foram elaboradas para diminuir o risco de exposição crônica ao longo da vida dos consumidores, o que é especialmente importante para bebês e crianças.

Existe uma forma de reduzir os níveis de mercúrio no pescado para torná-lo mais seguro?

Não há métodos de limpeza ou descontaminação específicos para redução dos teores de Hg em peixes. No entanto, considerando as informações fornecidas no presente relatório, é possível diminuir a

exposição ao remover e não consumir órgãos e tecidos que acumulam maiores quantidades desse contaminante, como por exemplo, pele, fígado, trato digestivo e ovas. Uma outra forma de reduzir a exposição é consumir peixes de pequeno porte e/ou espécies com hábitos alimentares onívoros e/ou herbívoros.

Existe algum teste para determinar o nível de exposição ao mercúrio?

Os níveis de Hg podem ser medidos de forma pouco invasiva em humanos, como no sangue e fios de cabelo. No entanto, essa não é uma prática comum em nosso país. Para que esse tipo de exame seja eficaz, são necessárias técnicas de coleta e amostragem específicos, além de informações precisas acerca da dieta e rotina de alimentação do indivíduo examinado. É importante consultar um profissional médico sobre possíveis eventos de exposição e sua relação com possíveis sintomas.

Se eu já tiver consumido peixes com altos níveis de mercúrio, como eu posso reduzir a quantidade desse elemento no meu corpo?

O Hg é naturalmente metabolizado e lentamente eliminado do corpo ao longo do tempo. Portanto, é importante reduzir a ingestão de alimentos com alto teor de Hg. Seguindo as recomendações fornecidas no presente relatório, é possível reduzir a exposição através do consumo de diversos tipos de pescado e, ao longo do tempo, diminuir os níveis de Hg no corpo.

Existe algum risco se eu consumir pescado proveniente de aquicultura mais de 3 vezes por semana?

O pescado produzido pela atividade aquícola do Ceará foi o que apresentou menores concentrações de Hg comparados com aqueles capturados pela pesca extrativista. Todas as espécies analisadas, incluindo a Tilápia e o Camarão, apresentaram concentrações de Hg menores que 0,01 ppm (mg.kg^{-1}), mais de 10 vezes menor que o limite máximo para consumo estabelecido na legislação brasileira. Portanto, acredita-se que consumir esses produtos fornece os benefícios nutricionais atribuídos ao consumo de pescado e não havendo qualquer risco de exposição ao Hg.