

# Mercúrio total em pescado marinho do Brasil

## Total Mercury in marine fish traded in Brazil

Micheli da Silva Ferreira,\* Eliane Teixeira Mársico,\*\* Aguinaldo Nepomuceno Marques Junior,\*\*\* Sérgio Borges Mano,\*\* Sérgio Carmona de São Clemente,\*\* Carlos Adam Conte Junior\*\*

### Resumo

O mercúrio (Hg) é um metal traço de relevância na área de alimentos em função da alta toxicidade, dos altos níveis de absorção e baixas taxas de excreção, sendo acumulado na cadeia alimentar, atingindo o homem, a partir do consumo de pescado, podendo representar risco à saúde humana. Considerando esses fatores, o objetivo deste estudo foi traçar um perfil do grau de contaminação mercurial em atum *in natura* (*Thunnus albacares*) e em conserva (*Thunnus* sp.), Meca (*Xiphias gladius*), corvina (*Micropogonias furnieri*), peixe-espada (*Thichurus lepturus*), camarão (*Litopenaeus vannamei*) e raia (*Pteroplatytrygon violacea*). Os maiores teores médios de Hg foram observados nas amostras de Meca ( $0,393 \pm 0,637 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), seguido pela raia ( $0,224 \pm 0,074 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), atum *in natura* ( $0,187 \pm 0,112 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), atum em conserva ( $0,169 \pm 0,122 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), corvina ( $0,124 \pm 0,054 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), peixe-espada ( $0,078 \pm 0,034 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) e camarão ( $0,058 \pm 0,023 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). Considerando a amostragem de Meca (n=83), 2,4% ultrapassou o limite máximo recomendado para peixes predadores pela legislação nacional. Concluiu-se que, dependendo da frequência de consumo, com exceção do camarão, estas espécies podem constituir risco à saúde humana.

**Palavras-chave:** mercúrio, pescado marinho, frequência de consumo.

### Abstract

Mercury (Hg) is a harmful trace metal when present in the food, because of the high toxicity, high levels of absorption and low excretion rate. Hg accumulates in human organism through the fish consumption, which may represent a risk to health. Considering these factors, mercury concentrations were determined in muscle tissue of fresh tuna (*Thunnus albacares*) and canned tuna (*Thunnus* sp.), Meca (*Xiphias gladius*), croaker (*Micropogonias furnieri*), swordfish (*Thichurus lepturus*), shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and ray (*Pteroplatytrygon violacea*). The highest mean level were observed in Meca ( $0.393 \pm 0.637 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), followed by the samples of ray ( $0.224 \pm 0.074 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), fresh tuna ( $0.187 \pm 0.112 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), canned tuna ( $0.169 \pm 0.122 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), whitemouth croaker ( $0.124 \pm 0.054 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), swordfish ( $0.078 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) and shrimp ( $0.058 \pm 0.023 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). Considering the sampling (n = 83), 2.4% exceeded the maximum limit recommended for predators fish by national legislation. Our results suggest a possible risk to human health, depending on the level of fishery consumption, with the exception of shrimp.

**Keywords:** mercury, marine fish, consumption frequency.

### Introdução

O mercúrio (Hg) é um metal naturalmente presente em baixas concentrações no ambiente. Quando oriundo de fontes antropogênicas, como despejos industriais e urbanos, constitui uma preocupação para o ecossistema, para a biota aquática e, conseqüentemente, para a saúde humana. Uma vez liberado na forma inorgânica no ecossistema aquático, se associa à matéria orgânica formando metilmercúrio (MeHg), a forma de maior toxicidade aos seres humanos devido ao efeito teratogênico e à grande afinidade pelas células nervosas, causando uma série de sintomas (OMS, 1990).

Este elemento está presente em diversas atividades industriais, como produção de cloro, de baterias domésticas, de lâmpadas fluorescentes, de cimento, queima de carvão, na mineração do ouro e no tratamento de outros minérios (WHO, 2007). O

constante crescimento populacional resulta em incremento dessas atividades para suprir a demanda de diversos produtos para a população, levando ao aumento de despejos industriais e urbanos para os sistemas aquáticos, especialmente nas regiões costeiras. Sobre este aspecto é importante considerar a precipitação pluviométrica, através da qual, locais distantes de fontes contaminadoras podem apresentar histórico de contaminação (Poissant et al., 2008).

A qualidade da água de um ecossistema também interfere no ciclo biogeoquímico do Hg. A poluição desse compartimento por Hg está associada principalmente à possibilidade da formação do MeHg, processo denominado metilação, que ocorre principalmente mediado por micro-organismos presentes nos corpos d'água associados ao sedimento de fundo, material particulado em suspensão e elevadas taxas de decomposição (Bisinoti e Jardim, 2004; Lacerda e Malm, 2008). Os organismos

\* Programa de Pós-Graduação em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal – UFF. Faculdade de Veterinária - Universidade Federal Fluminense. Rua Vital Brazil Filho, 64. Niterói – RJ. CEP 24230-340.

\*\* Departamento de Tecnologia dos Alimentos – Faculdade de Veterinária - Universidade Federal Fluminense. Rua Vital Brazil Filho, 64. Niterói – RJ. CEP 24230-340.

\*\*\* Departamento de Biologia Marinha – Instituto de Biologia - Universidade Federal Fluminense. Outeiro São João Batista, s/n - Centro. Niterói – RJ. CEP 24001-970.

marinhos possuem grande participação na dinâmica do Hg devido à capacidade de bioacumulação e biomagnificação, aumentando a concentração em níveis mais elevados do que a água ao longo da cadeia trófica. Desta forma, os peixes predadores e de maiores tamanhos tendem a acumular mais Hg nos tecidos, pois estão no topo da cadeia alimentar, tornando-se o grupo que apresenta maior potencial de contaminação ao homem.

Diversos episódios de contaminação da população por MeHg através do consumo de alimentos ocorreram no mundo, dos quais o mais grave foi em Minamata, Japão, que resultou em sintomas neurológicos e efeitos teratogênicos de toda uma geração, cuja doença recebeu o nome de Doença de Minamata (Fujiki e Tajima, 1992). Após o acidente, o MeHg permaneceu no ambiente por mais de 40 anos devido à sua complexação com material particulado no sedimento, e a baía só pôde ser liberada novamente para a pesca após muitas ações de descontaminação, incluindo o aterramento e a retirada do sedimento que continha concentrações acima de 25 ppm na maior parte da baía, e o isolamento das áreas mais contaminadas (Hosakawa, 1993). Apesar da baía ter sido liberada para pesca após estas ações de descontaminação, existem relatos de elevadas concentrações de Hg em amostras de água, sedimento e mexilhões em alguns pontos da baía, indicando que áreas afetadas por contaminação mercurial devem ser constantemente monitoradas (Haragushi et al., 2000).

Diferentes órgãos internacionais recomendam limites máximos de Hg e MeHg para produtos da pesca. Apesar desses limites fixos, é de extrema importância considerar a frequência de consumo do pescado em determinadas regiões para avaliar os riscos potenciais à saúde humana, que está diretamente relacionada com a poluição ambiental e os hábitos locais.

O objetivo deste estudo foi traçar um perfil do grau de contaminação mercurial de algumas espécies de pescado de consumo e comercialização expressivos no Brasil e no mercado internacional, obtidos em áreas com histórico de contaminação (baías e enseadas) e espécies oceânicas por um período de três anos. Os valores encontrados foram comparados com os estabelecidos por diferentes legislações, levando em consideração a frequência de consumo.

## Material e métodos

### Obtenção e preparo das amostras

Um total de 315 amostras de pescado marinho de elevado consumo e importância foi obtido ao longo de um período de três anos em entrepostos pesqueiros em diversos estados brasileiros. Algumas espécies foram obtidas diretamente de frotas pesqueiras artesanais e mercados varejistas do estado do Rio de Janeiro. As espécies e o respectivo número e origem das amostras podem ser observados na Tabela 1.

Com exceção das amostras de conserva de atum, os exemplares foram adquiridos inteiros (espada, corvina e camarão) ou em postas (atum e Meca), acondicionados em recipientes isotérmicos, identificados pela espécie e transportados ao laboratório, onde foram congelados a -20°C até o momento da análise.

Para o preparo das amostras, foi realizado descongelamento "overnight" e porções de diferentes partes dos peixes ou postas

**Tabela 1:** Espécies estudadas, quantidade e origem das amostras

Nome popular	Espécie	n	Origem
Atum ( <i>in natura</i> )	<i>Thunnus albacares</i>	56	Pesca oceânica
Atum (conserva)	<i>Thunnus sp.</i>	35	Mercado varejista
Meca	<i>Xiphias gladius</i>	83	Pesca oceânica
Espada	<i>Trichiurus lepturus</i>	58	Baía de Guanabara
Corvina	<i>Micropogonias furnieri</i>	58	Enseada de Itaipu
Camarão	<i>Litopenaeus vannamei</i>	20	Baía de Sepetiba
Raia	<i>Pteroplatytrygon violacea</i>	5	Baía de Guanabara
<b>Total</b>		<b>315</b>	

foram retiradas e homogeneizadas, para posterior pesagem de alíquotas de 12g de amostra.

### Determinação de HgT

Para a determinação de HgT foi utilizada a técnica de Espectrofotometria de Absorção Atômica por arraste de vapor a frio (EAA-VF), segundo metodologia descrita por Deitz, Sell e Bristol (1973) com pequenas modificações, principalmente relacionadas com as etapas de aquecimento. O equipamento utilizado foi o analisador Bacharach Coleman, modelo MAS-50 B1, com limite de detecção de 0,001 µg.g<sup>-1</sup>.

Para a utilização desta técnica, o processo requer uma prévia digestão ácida das amostras, com o objetivo de destruir a matéria orgânica. Para o processo de digestão, foram utilizados 4g de cada unidade amostral em tubos de hidrólise, adicionado de uma mistura de HNO<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrados, com uso do catalisador pentóxido de vanádio (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). As amostras foram submetidas ao aquecimento em bloco digestor em diferentes etapas e tempos. Em seguida, o conteúdo dos tubos foi transferido para frascos próprios do equipamento ao qual foi adicionada solução redutora de cloreto de estanho (SnCl<sub>2</sub>), transformando o Hg inorgânico em Hg elementar (Hg<sup>0</sup>). Esta forma de Hg absorve radiação de comprimento de onda de 253,7 nm, emitida pela fonte de luz do equipamento, sendo o nível de absorbância indicado no aparelho proporcional à concentração de HgT.

Todas as amostras foram analisadas em triplicata, incluindo amostras de branco dos reagentes utilizados, para aumentar a confiabilidade dos resultados analíticos.

### Validação do método de determinação de HgT

A verificação da exatidão do método analítico foi realizada através da análise de materiais de referência certificados, NIST 1577B "Bovineliver" fornecido pelo "National Institute for Science and Technology" (NIST) e IAEA 336 "Lichen" fornecido pela "International Atomic Energy Agency" (IAEA) utilizando-se a mesma metodologia empregada na análise das amostras. A percentagem média de recuperação do HgT nas amostras certificadas foi de 88%, mostrando não haver diferença significativa entre os valores certificados e os medidos para HgT.

### Tratamento estatístico dos resultados

Para o tratamento dos resultados, foi utilizada a estatística descritiva simples e análise de variância (ANOVA), seguida de teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

## Resultados e discussão

Considerando os resultados obtidos no presente estudo, foi observada uma grande variação na concentração de HgT nas diferentes espécies. O maior teor médio de HgT foi observado nas amostras de Meca ( $0,393 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) e o menor valor, nas amostras de camarão ( $0,058 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). Os resultados podem ser observados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Valores médios, com respectivos desvio-padrão (DP), mínimos e máximos de HgT ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) das amostras de pescado estudadas

Espécie	HgT ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )		
	Média (+DP)	Mínimo	Máximo
<i>Thunnus albacares</i>	0,187a (+ 0,112)	0,010	0,620
<i>Thunnus sp. (conserva)</i>	0,169a (+ 0,122)	0,009	0,720
<i>Xiphias gladius</i>	0,393b (+ 0,637)	0,100	5,100
<i>Trichiurus lepturus</i>	0,078a (+ 0,034)	0,012	0,215
<i>Micropogonias furnieri</i>	0,124a (+ 0,054)	0,050	0,321
<i>Litopenaeus vannamei</i>	0,058a (+ 0,023)	0,011	0,101
<i>Pteroplatytrigon violacea</i>	0,224a (+ 0,074)	0,130	0,320

Valores seguidos de letras diferentes apresentam diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) no teste de Tukey.

Quando se comparou o teor médio entre as espécies, o Meca foi a única que apresentou diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre as demais. Dados da FAO descrevem exemplares de Mecas adultos como peixes carnívoros e oportunistas com relação à alimentação e que se alimentam numa ampla faixa de profundidade desde a superfície até o fundo. Este peixe, também conhecido como espadarte, habita águas dos oceanos Atlântico e Pacífico, além de extensas áreas dos mares Mediterrâneo, Vermelho e Negro. Durante o dia, se alimenta em águas profundas, preferencialmente de peixes pelágicos, incluindo atum, dourado e barracuda, peixes também carnívoros (FAO, 2011). Outra observação relevante neste estudo foi o fato de que duas (2,4%) das 83 amostras de Meca estudadas, extrapolaram o limite estabelecido pelas legislações internacional e brasileira para peixes carnívoros ( $1,0 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). Este fato pode ser explicado pelo fato de ser uma espécie conhecida na literatura por acumular Hg, sendo utilizada para estudos de bioacumulação (Branco et al., 2007; Damiano et al., 2011) e para ensaios de intercalibração na validação do método de determinação de Hg devido à tendência em apresentar altos teores de mercúrio (Ferreira et al., 2006; Medeiros et al., 2008). O valor máximo encontrado para esta espécie foi de  $5,1 \mu\text{g.g}^{-1}$ , teor cinco vezes mais elevado que o preconizado pela legislação. Desta forma, é importante estimar uma avaliação de risco para esta espécie, considerando que, em alguns países, é um peixe altamente consumido. Entretanto, as amostras estudadas foram oriundas de entrepostos e o diâmetro das postas apresentou diferenças expressivas, fato que pode acarretar variação nos valores.

Mendezet et al. (2001) estudaram o teor de HgT no Meca durante três anos, obtidas da pesca comercial no Uruguai. Neste país, este peixe possui uma importância expressiva na atividade pesqueira, sendo a maior parte exportada para os EUA e Europa. Os autores encontraram o dobro do valor médio do presente estudo ( $0,62 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) e 14% dos 192 exemplares apresentaram

valores acima do limite tolerável de  $1,0 \mu\text{g.g}^{-1}$  pela FDA, confirmando que a espécie acumula Hg em níveis de moderados a altos. Da mesma forma que neste estudo, é importante ressaltar que Mendezet et al. (2001) coletaram amostras de exemplares de tamanhos normalmente comercializados, o que reflete o potencial risco à saúde da população que consome esta espécie. Contudo, a diferença dos níveis observados no presente trabalho e os relatados pelos autores uruguaios pode estar relacionada com o tamanho dos exemplares comercializados no Brasil e no Uruguai, cujo diâmetro das postas variou entre 10 e 30 cm, respectivamente.

Apesar de não ter sido objeto deste estudo avaliar a correlação entre tamanho e concentração de HgT, é importante ressaltar que vários autores descrevem uma correlação positiva entre estas variáveis (Storelli et al., 2005; Branco et al., 2007).

A elevada biomagnificação do Hg em grandes peixes pelágicos, como Meca, atum e tubarão, geralmente é atribuída ao nível trófico que ocupam na cadeia alimentar. Todavia, Branco et al. (2007) observaram que o nível de acumulação varia com o local onde os peixes habitam, mesmo sendo da mesma espécie e, conseqüentemente, do mesmo nível trófico. Os autores verificaram que o Hg, total e orgânico, foi significativamente maior em Mecas capturados próximo ao Equador em comparação com os capturados em áreas próximas à Ilha dos Açores, possivelmente devido à quantidade e tipo de alimento disponível para os peixes nessas regiões. Esta diferença entre as regiões de captura do Meca pode explicar os diferentes teores de HgT observados neste estudo e os relatados pelos autores uruguaios (Mendez et al. 2001). Os altos valores de HgT observados no Meca também podem resultar em prejuízos econômico ao país, uma vez que esta espécie apresentou um aumento nas exportações brasileiras de 81% em 2009 (Brasil, 2009), apesar de apresentar baixo consumo no Brasil.

Com relação às amostras de atum (*Thunnus sp.*), foram encontrados teores médios de  $0,187 \mu\text{g.g}^{-1}$  no atum *in natura* e  $0,169 \mu\text{g.g}^{-1}$  no atum em conserva, valores que não ultrapassaram os limites máximos recomendados pela ANVISA e OMS. Apesar dos valores e independentemente da forma de comercialização, o consumo de atum pode constituir um risco à saúde, principalmente pelo fato de ser espécie de grande importância econômica mundial e representar uma fonte significativa de alimento para a população (FAO, 2008). Pequenas concentrações de HgT normalmente não apresentam riscos para a maioria da população, uma vez que dependem da frequência de consumo de pescado. Entretanto, a FDA e a EPA recomendam alguns cuidados com relação ao Hg para as mulheres que pretendem engravidar, lactantes ou gestantes em um documento denominado "Brainfood: What women should know about mercury contamination of fish". Embora necessitem de uma dieta diversificada e balanceada, é recomendado que esse grupo de mulheres não consuma peixes que possam conter qualquer quantidade de Hg, ainda que em baixos níveis. Fetos e bebês possuem o sistema nervoso em desenvolvimento constituindo um grupo com maior susceptibilidade aos efeitos tóxicos do Hg (Wiles, 2001).

Os atuns, assim como o Meca, são espécies predadoras que ocupam o topo da cadeia trófica, podendo acumular maiores quantidades de Hg, o que leva muitos autores a investigarem a concentração de metais nestas espécies. São peixes oceânicos, epi e mesopelágicos, com ampla distribuição global e considerados predadores oportunistas, cuja alimentação é

regida pela disponibilidade local das presas e caracterizada por uma grande diversidade, composta principalmente de peixes, moluscos cefalópodes e crustáceos (AZTI, 2004).

Gorni (2010) estudou detalhadamente as interações tróficas entre espécies pelágicas do Atlântico Sudoeste que incluiu a análise do conteúdo estomacal do Meca e de três das cinco espécies de atum que ocorrem no Brasil (*T. albacares*, *T. obesus*, *T. alalunga*). De maneira geral, o estômago das amostras de Meca apresentavam conteúdo constituído predominantemente por cefalópodes e os atuns continham mais peixes, demonstrando característica piscívora desta espécie. Peixes que consomem grandes quantidades de outros peixes tendem a acumular mais Hg, fato confirmado por estudo de Storelli et al. (2005), que demonstraram diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,0001$ ) com os maiores teores de Hg observados nas amostras de atum ( $0,20 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) quando comparadas às amostras de Meca ( $0,07 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), o que não foi observado no nosso estudo. Entretanto, é importante observar que os autores estudaram a espécie *Thunnus thynnus*, que alcança tamanho expressivamente maior (em torno de 300cm – FAO, 1983) enquanto a espécie objeto deste estudo (*Thunnus albacares*) apresentou em média 150 cm.

Garcia et al. (2000) investigaram a contaminação de *sushis* e *sashimis* elaborados com atum e salmão em restaurantes do município de Niterói, Rio de Janeiro. As médias de HgT encontradas foram estatisticamente diferentes entre as espécies ( $p < 0,05$ ), com o atum apresentando as maiores médias ( $0,22 \pm 0,16 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), valores superiores aos observados no presente estudo. Também no litoral do Rio de Janeiro, Medeiros et al. (2008) estudaram a distribuição de Hg em amostras de *T. albacares* obtidas no comércio varejista encontrando maiores valores médios no tecido muscular ( $0,080 \pm 0,050 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), e o maior valor individual de  $0,172 \mu\text{g.g}^{-1}$  na musculatura branca, reforçando a importância da preocupação com o constante monitoramento da concentração de Hg em atuns comercializados no Rio de Janeiro.

O efeito do enlatamento na concentração de Hg foi estudado por Rasmussen e Morrissey (2007), que encontraram diferença significativa ( $p < 0,005$ ) na concentração de HgT antes e após enlatamento, cujos valores aumentaram de  $0,17 \mu\text{g.g}^{-1}$  nas amostras cruas para  $0,21 \mu\text{g.g}^{-1}$  no atum enlatado. Com relação à umidade, os autores relataram possível influência do enlatamento na concentração de Hg, que se apresentaria em quantidade relativamente maior por unidade de peso devido à perda de água durante a etapa de cocção do processo. Apesar desta expectativa, não foi verificada correlação entre os teores de Hg e o teor de umidade, resultado semelhante aos observados em nosso estudo. Entretanto, é relevante observar que neste estudo não houve acompanhamento de lotes oriundos de processamento tecnológico, em função do objetivo do estudo. Outros autores verificaram diferença na concentração do Hg após processamento térmico. Garcia et al. (1988) observaram diminuição de Hg após diferentes processamentos por cocção, justificado pela provável volatilização do Hg por ação do calor. Por outro lado, Mársico et al. (1998) estudando o teor de Hg em amostras de mexilhões *Perna perna* antes e após cocção, concluíram que o processamento concentrou o Hg por unidade de peso, provavelmente em função do alto teor de umidade nessa espécie, em torno de 84%, conforme descrito por Furlan et al. (2007). Ao avaliar o efeito da fritura, Mandarino et al., (2000) não verificaram diferença significativa entre os teores médios de HgT em amostras de traíra (*Hoplias malabaricus*) *in natura* ( $0,087 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) e fritas ( $0,097$

$\mu\text{g.g}^{-1}$ ), mas sugeriram que a discreta diferença entre os valores médios pode ter sido em função da desidratação.

Analisando os resultados encontrados nas amostras de Meca, embora tenham apresentado as maiores concentrações de Hg em relação ao atum, os valores observados nas duas espécies constituem um aspecto importante do ponto de vista ecotoxicológico e no que se refere à saúde pública. Em relação à ecotoxicologia, ambas as espécies demonstram ser potenciais bioindicadores de poluição de ecossistemas no mar aberto. Porém, a poluição não parece ser a justificativa predominante sobre elevados teores de Hg nestas espécies. Mendez et al. 2001 relatam que a presença de Hg em Mecas pode ser independente da poluição antropogênica, uma vez que Miller et al. (1972) encontraram valores entre 0,26 e  $0,64 \mu\text{g.g}^{-1}$  em exemplares de Meca e atum de museus, datados de 1978 a 1946, época anterior às contribuições de poluentes de atividades industriais. Além disso, deve-se considerar a importância dos fatores intrínsecos na concentração de Hg entre espécies, como o diferente metabolismo dos peixes predadores. O elevado teor de Hg normalmente encontrado em peixes de elevado nível trófico, como atuns e Mecas, não é atribuído somente ao tipo de dieta destas espécies. Pelo fato de serem predadores, apresentam alta atividade metabólica, com alta taxa de alimentação, o que requer um fornecimento contínuo de energia. Como resultado, a intensidade de predação e o consumo de alimento são extremamente altos, o que, aliado à maior taxa de absorção e menor taxa de excreção pelos peixes, contribui significativamente para a acumulação de Hg nos tecidos e biomagnificação ao longo da cadeia trófica (Storelli, 2005; Damiano et al., 2011).

Desta forma, em relação à saúde pública, apesar dos valores médios encontrados nos atuns e Mecas nas condições deste estudo não terem ultrapassado os limites máximos preconizados pelas legislações, a frequência de consumo desses peixes e avaliação de risco devem ser consideradas, especialmente por grupos susceptíveis aos efeitos de intoxicação pelo Hg, como crianças e gestantes.

Entre as outras espécies estudadas, apesar de não ter sido verificada diferença significativa ( $p > 0,05$ ), as amostras de raia (*P. violacea*) apresentaram a segunda maior média de HgT ( $0,224 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). Os exemplares de raia foram capturados de forma acidental, por pescadores da frota artesanal na praia de Itaipu, Niterói, RJ, o que justifica o reduzido número de amostras analisadas ( $n=5$ ). Apesar da reduzida amostragem, os resultados permitem inferir que é necessário cautela na frequência de consumo desse peixe.

Embora não representem expressiva importância comercial, Siqueira et al. (2007) comentam que as raias acompanham os cardumes de peixe-espada, ambos à procura de pequenos peixes para alimentação, o que explica a captura dos exemplares estudados. Os autores sugerem que a ocorrência acidental de raias em águas costeiras, exemplificada pela presença na praia de Itaipu, é resultante de mudanças nas águas oceânicas, como a ressurgência que é observada mais intensamente de Arraial do Cabo à Ilha Grande.

Com relação ao peixe-espada (*T. lepturus*), o teor médio de Hg encontrado foi  $0,078 (\pm 0,034) \mu\text{g.g}^{-1}$  de HgT, valor abaixo do limite máximo preconizado nas legislações. Conhecer a contaminação mercurial do peixe-espada é importante, uma vez que possui expressivo volume de desembarque pesqueiro mundial (FAO, 2011). É uma espécie carnívora, predominantemente piscívora,

que se alimenta em especial de crustáceos e cefalópodes. Possui comportamento voraz na alimentação, apresentando hábitos de canibalismo, com registros de consumo de indivíduos com até 100 cm de comprimento no Rio de Janeiro (Bittar et al., 2008). O nível trófico de um adulto desta espécie localiza-se abaixo dos tubarões e golfinhos (Chiou et al., 2006), o que a torna um bom indicador de bioacumulação de Hg. O fato dos exemplares terem sido capturados na baía de Guanabara poderia sugerir altos teores de Hg nos peixes. Considerada um dos estuários mais importantes no estado do Rio de Janeiro, a baía é altamente impactada pela poluição urbana, matéria orgânica e metais, dentre os quais pontua-se o Hg, que apresenta nítido aumento das concentrações em função do aumento da posição trófica demonstrada em estudos de bioacumulação (Kehrig et al., 2011). Estudando peixe-espada capturado na praia de Itaipu, Cardoso et al. (2009) encontraram valor médio de HgT inferior ( $0,051 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) aos observados neste estudo, cujos exemplares provavelmente possuíam o hábito de alimentação circunscrito, em grande parte, à baía de Guanabara, o que possibilita inferir uma relação entre a poluição desta baía e as concentrações de Hg comparadas à região de Itaipu.

No entanto, apesar da característica alimentar altamente voraz e da área de captura possuir histórico de contaminação, o peixe-espada apresentou teor médio de HgT menor que o observado na corvina (*M. furnieri*), de  $0,124 (\pm 0,054) \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , espécie também carnívora que, quando adulta, alimenta-se de zooplâncton e, ocasionalmente, de outros peixes, e quando jovem, se alimenta de crustáceos e moluscos sésseis (FAO, 2011). Os indivíduos jovens não apresentam comportamento migratório, permanecendo nos estuários até alcançar a maturidade, o que sugere a utilização desta espécie considerando os indivíduos jovens como biomonitoradores de estuário ou enseadas (Kehrig, 1992; Rodrigues et al., 2010). Este fato nos permite explicar os valores de HgT nas amostras de corvina, uma vez que os exemplares analisados foram padronizados em até 40 cm, caracterizando indivíduos jovens.

Segundo o Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura mais recentemente divulgado (Brasil, 2009), a corvina ocupou o 2º lugar na listagem da produção da pesca extrativa marinha no Brasil em 2009, subindo de pouco mais de 41 mil toneladas para mais de 45 mil toneladas, ficando atrás somente da produção de sardinha. Essa expressiva quantidade de captura demonstra sua importância para a pesca e para o consumo da população brasileira, sendo fundamental o monitoramento dos teores de Hg nesta espécie.

Entre as espécies de pescado estudadas, o camarão (*L. vannamei*) apresentou o menor valor médio de HgT ( $0,058 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), ainda que as amostras tenham sido obtidas numa área com histórico de contaminação, a baía de Sepetiba, que recebe aporte de efluentes urbanos e industriais de atividades localizadas no entorno, além da contribuição significativa da transposição da bacia do Rio Paraíba do Sul que atravessa a região mais industrializada do país. Mársico et al. (1999) determinaram HgT em camarões coletados nas baías de Guanabara e Sepetiba, não encontrando diferença significativa de contaminação entre os locais, porém evidenciando diferença altamente significativa ( $p < 0,0001$ ) entre as áreas de coleta da baía de Sepetiba. Esta variação indica uma ampla variação do grau de contaminação e/ou assimilação do Hg entre os locais, associado à proximidade com alguma fonte de poluição. Este fato pode ser comprovado pelo maior valor médio ( $0,034 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) encontrado pelos autores nas amostras obtidas em local

próximo ao complexo industrial da região, concentração menor que as observadas no presente estudo, demonstrando que a contaminação de camarões tem aumentado ao longo dos anos. Uma avaliação realizada ao longo da transposição das águas do rio Paraíba do Sul para a baía de Sepetiba apontam que este rio é responsável por até 30% da carga total de Hg que alcança a baía (Molisani et al., 2007).

O gênero *Penaeus* é útil como indicador de poluição originada por atividades antropogênicas, pois habitam sedimentos, lamas e fundos arenosos, perto de desembocaduras de rios e escoadouros. Espécies com tais hábitos de vida podem retratar a situação de contaminação do sedimento de fundo, também podendo ser utilizados no biomonitoramento biológico e permitindo a avaliação da contaminação de determinado ecossistema. Este fato ocorre porque solos e sedimentos funcionam como fonte de Hg, onde o metal confinado pode permanecer ativo como substrato para a metilação por cerca de dezenas de anos, mesmo quando a fonte é eliminada, como pode ser observado em Minamata. Além disso, o camarão possui grande consumo e importância comercial no Brasil, visto que o montante de vendas de crustáceos em 2009 representou praticamente a metade do total exportado, apesar da queda nos últimos anos (Brasil, 2009).

Em estudo sobre a contaminação de peixes por Hg, é de extrema importância considerar os valores máximos de HgT na análise dos resultados e a frequência de consumo do peixe para determinada população devido ao efeito acumulativo do metal no organismo. Mesmo considerando os valores médios encontrados, o consumo de pescado pode constituir um risco para a saúde da população. Além disso, altos teores podem ser esperados em peixes de elevado nível trófico, como todas as espécies de peixe utilizadas neste estudo, devido à característica de bioacumulação do Hg. Todavia, espécies de pescado que não pertencem a um nível elevado na cadeia alimentar, como o camarão, também podem ser utilizadas no biomonitoramento com objetivo de auxiliar na avaliação da contaminação por Hg de certas regiões. Desta forma, com base nos teores de HgT observados, foi realizada uma simulação de análise de risco de acordo com a frequência de consumo de cada espécie, considerando os valores médios e máximos (Tabela 3). Os valores de ingestão em gramas por dia foram baseados em cálculos sobre quantidade de Hg absorvida pelo homem, a partir da frequência de consumo (médio, alto e muito alto) e de diferentes concentrações de Hg no peixe ilustrados no trabalho de Kasperet al. (2007), assim como os valores abaixo e acima do limite de referência.

Os valores de ingestão são apresentados na Tabela 2 em  $\mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ . Para verificar o possível risco pelo consumo das espécies estudadas, é importante observar que os valores de HgT no pescado são apresentados em  $\mu\text{g}$  por kg de peso corporal de um indivíduo adulto. Portanto, os valores em destaque ultrapassaram a RfD recomendada pela USEPA ( $0,3 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), pois cada valor de ingestão foi multiplicado pelo peso corporal médio de uma pessoa adulta (70kg), o que equivale ao consumo máximo de 21  $\mu\text{g}$  de HgT por dia. De acordo com a simulação proposta, se uma pessoa adulta possui um consumo diário de pescado muito alto (300g), apenas o camarão não apresentaria risco à saúde. Por outro lado, se uma pessoa consome apenas 20g de pescado por dia, somente o consumo de Meca (com valor de  $2000 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) ofereceria risco à saúde.

Contudo, estabelecer um consumo diário de pescado pode não representar a realidade, pois um indivíduo pode não consumir

**Tabela 3:** Quantidade de Hg ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) absorvida por dia (consumo médio, alto e muito alto) pelo consumo de peixe, considerando os valores observados nas espécies estudadas e limites máximos preconizados pela legislação

INGESTÃO DIÁRIA DE HgT		HgT NO PESCADO ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$ )	CONSUMO DE PESCADO	20g/dia	100g/dia	300g/dia	
VALORES DE REFERÊNCIA	Abaixo do limite	100	INGESTÃO DE HgT ( $\mu\text{g.dia}^{-1}$ )	2	10	30	
		200		4	20	60	
	Limites máximos*	500		10	50	150	
		1000		20	100	300	
Acima do limite	2000	40		200	600		
ESPÉCIES ESTUDADAS	MÉDIAS	<i>T. albacares (in natura)</i>		187	3,7	19	56
		<i>Thunnus sp. (conserva)</i>		169	3,4	17	51
		<i>X. gladius</i>		393	7,9	39	118
		<i>T. lepturus</i>		78	1,6	8	23
		<i>M. furnieri</i>		124	2,5	12	37
		<i>L. vannamei</i>		58	1,2	6	17
		<i>P. violacea</i>		224	4,5	22	67
	MÁXIMO	<i>T. albacares (in natura)</i>	620	12	62	186	
		<i>Thunnus sp. (conserva)</i>	720	14	72	216	
		<i>X. gladius</i>	5100	102	510	1530	
		<i>T. lepturus</i>	215	4	22	65	
		<i>M. furnieri</i>	321	6	32	96	
		<i>L. vannamei</i>	101	2	10	30	
		<i>P. violacea</i>	320	6	32	96	

\* Limites máximos permitidos de 500  $\mu\text{g}$  de Hg por kg de peixe (peixes não predadores) e de 1000  $\mu\text{g}$  de Hg por kg de peixe (peixes predadores).  
 \*\* Os valores em destaque indicam uma alta quantidade de Hg absorvido e representam riscos a saúde (0,3  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  ou 0,0003 mg kg<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>), segundo USEPA (1999).

pescado diariamente, mas pode ingerir grandes quantidades em um curto período de tempo. Desta forma, também foi realizada a simulação de risco com o índice recomendado pela UNEP, considerando a ingestão semanal tolerável provisória (PTWI), como pode ser observado na Tabela 4.

Em destaque, são apresentados os valores de ingestão que ultrapassaram a PTWI de 5 $\mu\text{g}$  de HgT por quilo de peso corporal. Da mesma forma que na simulação anterior, se considerarmos uma pessoa com peso médio de 70kg, o teor máximo de HgT que poderia ser ingerido sem risco à saúde seria de 350  $\mu\text{g}$  por semana. Baseado nos valores da Tabela 3, pessoas que consomem apenas 20g de pescado por semana, poderiam incluir na alimentação quase todas as espécies analisadas no presente estudo, considerando-se os valores médios encontrados. Com a mesma frequência de consumo, mas considerando os valores de HgT máximos encontrados, somente o consumo de Meca ofereceria risco à saúde humana. Considerando um consumo de 100g por semana, o camarão e o peixe-espada, corvina e raia poderiam ser consumidos sem risco à saúde, independentemente da concentração encontrada neste estudo.

É de fundamental importância observar que os valores destacados nas Tabelas 3 e 4 são oriundos do cálculo de consumo para uma pessoa adulta de 70kg. Entretanto, para uma mulher gestante com este peso corporal, o risco de ocorrência de alguma alteração no feto como resultado da

presença do Hg no organismo da mãe pode ser maior devido às características toxicológicas do Hg. Apesar das agências de saúde estabelecerem os limites de ingestão baseados em estudos que incluem grupos suscetíveis à intoxicação por Hg, alguns tipos de pescado consumido por crianças e mulheres gestantes devem ter a ingestão controlada. Em 2001, a FDA recomendou às mulheres gestantes e crianças que evitassem o consumo de algumas espécies de peixes, como tubarão e Meca, devido à presença de Hg. Em 2004, a EPA e a FDA publicaram um documento alertando para o fato de que espécies com pequena concentração de Hg, como camarão, atum em conserva "light" e salmão, poderiam ser consumidas em quantidade limitada em 12 onças (ou 373g) por semana (ou duas refeições medianas), e o consumo de atum *Thunnus albacares* em conserva ou em filé deveria ser limitado à metade, ou seja, seis onças (186g) por semana (FDA, 2004).

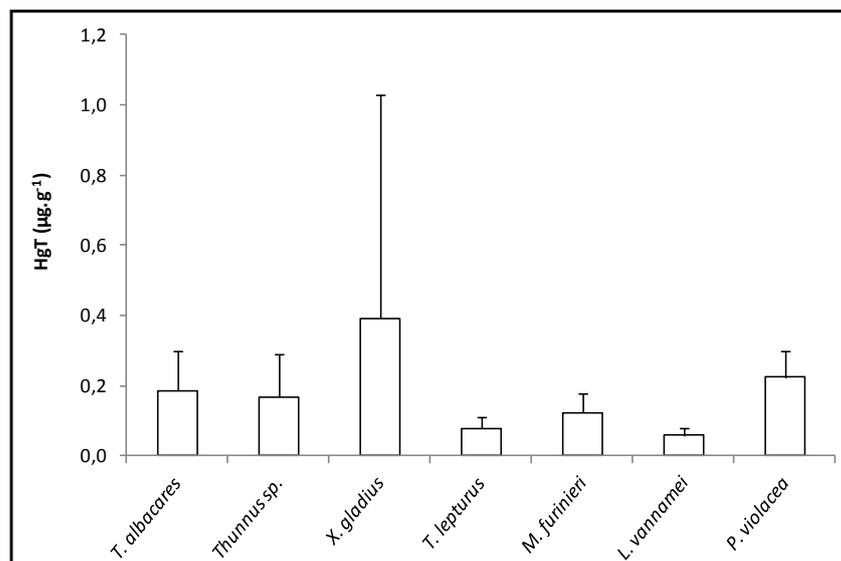
Segundo Mendez et al. (2001), desde o incidente de intoxicação por Hg ocorrido em Minamata em 1953, a concentração de Hg em peixe tem sido intensamente monitorada e os valores de ingestão são bem estabelecidos e conhecidos. A FDA, então, estabeleceu um limite de Hg de 1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$  (em base úmida) para regulamentar a concentração do metal em peixes comerciais. Todavia, o Hg é considerado um risco potencial à saúde humana quando se trata do consumo de Meca e atum, entre outras espécies (Mendez et al., 2001).

**Tabela 4:** Quantidade de Hg ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) por semana absorvida (consumo médio, alto e muito alto) pelo consumo de peixe, considerando os valores encontrados nas espécies estudadas e limites máximos preconizados pela legislação

INGESTÃO DIÁRIA DE HgT		HgT NO PESCADO ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$ )	CONSUMO DE PESCADO	20g/dia	100g/dia	300g/dia
VALORES DE REFERÊNCIA	Abaixo do limite	100	INGESTÃO DE HgT ( $\mu\text{g.dia}^{-1}$ )	14	70	210
		200		28	140	<b>420</b>
	Limites máximos*	500		70	<b>350</b>	<b>1050</b>
		1000		140	<b>700</b>	<b>2100</b>
Acima do limite		2000	280	<b>1400</b>	<b>4200</b>	
ESPÉCIES ESTUDADAS	MÉDIAS	<i>T. albacares (in natura)</i>	187	26	131	<b>393</b>
		<i>Thunnus sp. (conserva)</i>	169	24	118	<b>355</b>
		<i>X. gladius</i>	393	55	275	<b>825</b>
		<i>T. lepturus</i>	78	11	55	164
		<i>M. furnieri</i>	124	17	87	260
		<i>L. vannamei</i>	58	8	41	122
		<i>P. violacea</i>	224	31	157	<b>470</b>
	MÁXIMO	<i>T. albacares (in natura)</i>	620	87	<b>434</b>	<b>1302</b>
		<i>Thunnus sp. (conserva)</i>	720	101	<b>504</b>	<b>1512</b>
		<i>X. gladius</i>	5100	<b>714</b>	<b>3570</b>	<b>10710</b>
		<i>T. lepturus</i>	215	30	151	<b>452</b>
		<i>M. furnieri</i>	321	45	224	<b>673</b>
		<i>L. vannamei</i>	101	14	71	212
		<i>P. violacea</i>	320	45	224	<b>672</b>

\*\* Limites máximos permitidos de 500  $\mu\text{g}$  de Hg por kg de peixe (peixes não predadores) e de 1000  $\mu\text{g}$  de Hg por kg de peixe (peixes predadores).

\*\* Os valores em destaque indicam uma alta quantidade de Hg absorvido semanalmente e representam riscos a saúde (5  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  ou 0,0003 mg kg-1dia-1), segundo UNEP (2002).



**Figura 1:** Concentração média de HgT ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) das amostras de pescado marinho.

Dias et al. (2008) sugerem o estabelecimento de estratégias de comunicação de risco, direcionadas a grupos suscetíveis à contaminação por Hg, para maximizar os benefícios do consumo de peixe e minimizar os riscos decorrentes da exposição ao Hg e outros poluentes que também possuem característica de biomagnificação. Os autores valorizam o esclarecimento e incentivo, principalmente de crianças e mulheres em idade reprodutiva, a consumir peixes de menor tamanho, como foi demonstrado no projeto Caruso, realizado em comunidades do rio Tapajós, região norte do Brasil. Os moradores foram incentivados a comer mais peixes herbívoros, que normalmente possuem menor quantidade de Hg, com a utilização do slogan "Coma mais peixe que não come outros peixes". A campanha resultou na redução de aproximadamente 40% os teores de HgT na população, sem afetar as taxas de consumo de peixe (Mergler, 2011).

## Conclusões

As autoridades sanitárias deveriam impor a obrigatoriedade de alerta ao consumo frequente ao Meca (*X. gladius*) devido aos elevados teores de Hg observados nesta espécie.

Existe um risco potencial de contaminação mercurial à saúde humana pelo consumo das espécies estudadas, com exceção do camarão.

## Referências

- ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. Division of Toxicology. Toxicology Information Branch. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Toxicological Profile for Mercury. Atlanta, Georgia, 1999. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.pdf>>. Acesso em: 15 out 2011.
- AZTI. Albacore. In: *ICCAT 2006-2009 Manual*. International Commission for the Conservation of Atlantic Tuna publications. p. 75-92, 2004.
- BISINOTI, M. C.; JARDIM, W. F. O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente. *Quim. Nova*, v. 27, n. 4, p. 593-600, 2004.
- BITTAR, V.T.; CASTELLO, B.F.L. AND A.P.M. Di BENEDITTO, Hábito alimentar do peixe-espada adulto, *Trichiurus lepturus*, na costa norte do Rio de Janeiro, sudeste do Brasil. *Biotem.*, v. 21, p. 83-90, 2008.
- BRANCO, V.; VALE C.; CANÁRIO, J.; SANTOS, M.N.. Mercury and selenium in blue shark (*Prionace glauca*, L. 1758) and swordfish (*Xiphias gladius*, L. 1758) from two areas of the Atlantic Ocean. *Environ. Pollut.*, v. 150, p. 373-380, 2007.
- BRASIL. *Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura – Brasil 2008-2009*. Ministério da Pesca e Aquicultura. 2009. 101 p.
- CARDOSO, T.P.; MÁRSICO, E.P.; MEDEIROS, R.J.; TORTELLY, R.; SOBREIRO, L.G. Concentração de mercúrio e análise histopatológica em músculo, rim e cérebro de peixe-espada (*Trichiurus lepturus*) coletados na praia de Itaipu, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil. *Cien. Rural*, v. 39, p. 540-546, 2009.
- CHIOU, W.D.; CHEN, C.Y.; WANG, C.M.; CHEN, C.T. Food and feeding habits of ribbonfish *Trichiurus lepturus* in coastal waters of south-western Taiwan. *Fish. Sci.*, v. 72, p. 373-381, 2006.
- DAMIANO, S.; PAPETTI, P.; MENESATTI, P. Accumulation of heavy metals to assess the health status of swordfish in a comparative analysis of Mediterranean and Atlantic areas. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 62, p. 1920-1925, 2011.
- DEITZ, F.D.; SELL, J.L.; BRISTOL, D. Metals and other elements - Rapid, sensitive method for determination of mercury in a variety of biological samples. *J. Assoc. Anal. Chem.*, v. 56, p. 378-382, 1973.
- DIAS, A.C.L.; GUIMARÃES, J.R.D.; MALM, O.; COSTA, P.A.S. Mercúrio total em músculo de cação *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) e de espadarte *Xiphias gladius* (Linnaeus, 1758), na costa sul-sudeste do Brasil e suas implicações para a saúde pública. *Cad. Saúde Pública*, v. 24, n. 9, p. 2063-2070, 2008.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. Species Catalogue. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of Tunas, Mackerels, Bonitos and related species known to date. Collette, B.B. & C.E. Nauen. 1983. *FAO Fish. Synop.*, v. 2, n. 125, 137 p.
- \_\_\_\_\_. An annotated and illustrated catalogue of the snake mackerels, snoeks, escolars, gemfishes, sackfishes, domine, oilfish, cutlass fishes, scabbard fishes, hairtails, and frostfishes known to date. Nakamura, I. & N. V. Parin 1993. *FAO Fish Synop.*, v.15, n.125, 136 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/figis/servelet/FiRefServlet?ds=species&fid=2468>>. Acesso em: 10 set 2011.
- A corvina (*M. furnieri*) demonstrou ser um bom biomonitor de contaminação ambiental por mercúrio pelo fato de permanecer na enseada até a maturidade, demonstrando que existe alguma fonte antropogênica de mercúrio em Itaipu.
- Pelo homem ocupar o topo da cadeia trófica, pode haver um risco de contaminação mercurial pela ingestão frequente de peixes carnívoros.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. Fishery Statistical Collections: Global Tuna Catches by Stock. Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/statistics/tuna-catches/en>. Acesso em: 15 set 2011.
- \_\_\_\_\_. Species Fact Sheets –*Trichiurus lepturus* (Linnaeus, 1758), 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/figis/servelet/FiRefServlet?ds=species&fid=2468>. Acesso em: 15 set 2011.
- FDA – FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. Food - Food Safety - Product-Specific Information - What You Need to Know About Mercury in Fish and Shellfish. 2004. Disponível em: <http://www.fda.gov/food/foodsafety/product-specificinformation/seafood/foodbornepathogenscontaminants/methylmercury/ucm115662.htm>. Acesso em: 3 ago 2011.
- FERREIRA, M. S.; MÁRSICO, E. T.; SÃO CLEMENTE, S. C.; MEDEIROS, R. J. Contaminação mercurial em pescado capturado na lagoa Rodrigo de Freitas – Rio de Janeiro, Brasil. *Rev. Bras. Cienc. Vet.*, v. 13, n. 2, p. 84-88, 2006.
- FUJIKI, M.; TAJIMA, S. The pollution of Minamata Bay by mercury. *Wat. Sci. Tech.*, v. 25, n. 11, p. 133-140, 1992.
- FURLAN, E.F. *Vida útil dos mexilhões Perna perna cultivados no litoral norte de São Paulo: Aferição dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos*. 2004. 95 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, 2004.
- GARCIA, M.T.H.; PARA, M.C.; MASOUD, T.A. Variación en la cantidad de mercurio em muestras de pescado sometidas a diversos procesos culinarios. *An. Brom.*, v. 40, n. 2, p. 291-297, 1988.
- GARCIA, M.H.O.; MÁRSICO, E.T.; SÃO CLEMENTE, S.C.; SANTOS FILHO, J.M. Contaminação por mercúrio em *sushi/sashimi* comercializados em restaurantes do município de Niterói-RJ-Brasil. *Rev. Bras. Ci. Vet.*, v. 7, n. 2, p. 83-86, 2000.
- GORNI, G.R. *Interações tróficas entre espécies pelágicas do Atlântico Sudoeste: utilizando isótopos estáveis e inferência Bayesiana*. 2010. 100 f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, 2010.
- HARAGUCHI, K.; ANDOB, T.; SATOC, M.; KAWAGUCHIC, C.; TOMIYASUC, T.; HORVATD, M.; AKAGIA, H. Detection of localized methylmercury contamination by use of the mussel adductor muscle in Minamata Bay and Kagoshima Bay, Japan. *The Sci. T. Environ.*, v. 261, p. 75-89, 2000.
- HOSAKAWA, Y. Remediation work for mercury contaminated bay – experiences of Minamata Bay project Japan. *Wat. Sci. Tech.*, v. 28, p. 339-348, 1993.
- HOULIHAN, J.; MILLER, R. What women should know about mercury contamination of fish. *Environmental Working Group and the state PIRGs*. 2001, 70 p.
- KASPER, D.; BORATO, D.; PALERMO, A.F.A.; MALM, O. Mercúrio em peixes: fontes e contaminação. *Oecol. Bras.*, v. 11, n. 2, p. 228-239, 2007.
- KEHRIG, H.A. *Estudo Comparativo dos Níveis de Concentração de Mercúrio Total em Corvinas (Micropogonias furnieri) de Quatro Estuários Brasileiros*. 1992. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Química – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1992.

- KEHRIG, H.A.; MALM, O.; PALERMO, E.F.A.; SEIXAS, T.G.; BAÊTA, A.P.; MOREIRA, I. Bioconcentração e biomagnificação de metilmercúrio na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. *Quim. Nova*, n. 34, p. 377-384, 2011.
- LACERDA, L. D.; MALM, O. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas. *Est. Av.*, v. 22, n. 63, p. 173-190, 2008.
- MANDARINO, M.; MÁRSICO, E.T.; SANTOS, N.N.; SÃO CLEMENTE, S.C.; JUNIOR, A.J.P. Determinação do Grau de Contaminação Mercurial na Musculatura de *Hoplias malabaricus* (Traíra), *Locariichthys* sp. (Cascudo) e *Rhamdia* sp. (Bagre), coletados no Rio Paraíba do Sul - Estado do Rio de Janeiro - Brasil. *Arq. Fac. Vet. UFRGS*, v. 28, n. 1, p. 79-88, 2000.
- MÁRSICO, E.T.; SANTOS, N.N.; SÃO CLEMENTE, S.C.; ZAMBORLINI, L.C. Determinação do teor de mercúrio em camarões (*Penaeus notialis* e *Penaeus schmittii*) coletados nas Baías de Guanabara e Sepetiba, RJ. *Rev. Brasil. Med. Vet.*, v. 21, n. 6, p. 240-245, 1999.
- MEDEIROS, R. J.; MÁRSICO, E. T.; SÃO CLEMENTE, S. C.; FERREIRA, M. S. Distribuição do metal mercúrio em atum (*Thunnus albacares*) e pescada bicuda (*Cynoscion microlepidotus*) capturados no litoral do Rio de Janeiro, Brasil. *Arq. bras. Med. Vet. Zootec.*, v. 60, n. 3, p. 656-662, 2008.
- MENDEZ, E.; GIUDICE, H.; PEREIRA, A.; INOCENTE, G.; MEDINA, D. Total Mercury Content - Fish Weight Relationship in Swordfish (*Xiphias gladius*) Caught in the Southwest Atlantic Ocean. *J. Food Comp. An.*, v. 14, p. 453-460, 2001.
- MERGLER, D. An ecohealth approach to mercury contamination. In: LEVY, B. S.; WEGMAN, D. H.; BARON, S. L.; ROSEMARY K. SOKAS, R. K. (Ed.) *Occupational and Environmental Health: Recognizing and Preventing Disease and Injury*. 6ª ed. Oxford University Press: New York, 2011. p. 209.
- MILLER, E. E., GRANT, P. M., KISHORE, R., STEINKRUGER, F. J., ROWLAND, F. S., AND GUINN, V. P. Mercury concentrations in museum specimens of tuna and swordfish. *Sci.*, n. 175, p. 1121-1122, 1972.
- MOLISANI, M. M. et al. Land-sea mercury transport through a modified watershed, SE Brazil. *Water Research*, v. 41, p. 1929-1938, 2007.
- NOVAES, I. R.; SÃO CLEMENTE, S.C.; MÁRSICO, E.T.; SANTOS, N.N.; ZAMBORLINI, L.C. Comparação entre teores de amostras em amostras cruas e cozidas de mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758). *Rev. Brasil. Med. Vet.*, v. 5, n. 2, p. 51-54, 1998.
- OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 101. Methylmercury. Geneva, 1990. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc101.htm>>. Acesso em: 15 out 2011.
- \_\_\_\_\_. Preventing disease through healthy environments. Exposure to mercury: a major public health concern. 2007. Disponível em: <http://www.who.int/phe/news/Mercury-flyer.pdf>. Acesso em: 10 ago 2011.
- POISSANT, L.; ZHANG, H. H.; CANÁRIO, J.; CONSTANT, P. Critical review of mercury fates and contamination in the arctic tundra ecosystem. *Sci. Tot. Environ.*, v. 400, p. 173-211, 2008.
- RASMUSSEN, R.S.; MORRISSEY, M. T. Effects of canning on total mercury, protein, lipid, and moisture content in troll-caught albacore tuna (*Thunnus alalunga*). *Food Chem.*, v. 101, p. 1130-1135, 2007.
- RODRIGUES, A.P.C.; MACIEL, P.O.; PEREIRA DA SILVA, L.C.C.; ALBUQUERQUE, C.; INÁCIO, A.F.; FREIRE, M.; LINDE, A.R.; ALMOSNY, N.R.P.; ANDREATA, J.V.; BIDONE, E.D.; CASTILHOS, Z.C. Biomarkers for Mercury Exposure in Tropical Estuarine Fish. *J. Braz. Soc. Ecotoxicol.*, n. 5, p. 9-18, 2010.
- SIQUEIRA, A.E.; SANT'ANNA, V.B. Data on the pelagic stingray, *Pteroplatytrygon violacea* (Bonaparte, 1832) (Myliobatiformes: Dasyatidae) caught in the Rio de Janeiro coast. *Braz. J. Ocean.*, v. 55, n. 4, p. 323-325, 2007.
- STORELLI, M.M.; GIACOMINELLI-STUFFLER, R.; STORELLI, A.; MARCOTRIGIANO, G.O. Accumulation of mercury, cadmium, lead and arsenic in swordfish and bluefin tuna from the Mediterranean Sea: a comparative study. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 50, p. 993-1018, 2005.
- UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM. Chemicals: Global Mercury Assessment. Geneva, 2002. Disponível em: <<http://www.unep.org/gc/gc22/Document/UNEP-GC22-INF3.pdf>>. Acesso em: 10 set 2011.