

DISTRIBUIÇÃO DE MERCÚRIO NA FAUNA ESTUARINA DO RIO JAGUARIBE – CE

Mercury distribution in the estuarine fauna of the Jaguaribe river - CE

Victor Lacerda Moura^{1*}, Breno Gustavo Bezerra Costa², Luiz Drude de Lacerda³

¹ Doutorando do Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Bolsista da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), Av. Abolição 3207, Fortaleza, CE 60165-081.

E-mail: victuh00@gmail.com

² Professor do Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, Universidade Rural da Amazônia, Avenida Presidente Tancredo Neves 2501, Belém, PA 66077-830. E-mail: breno_pesca@hotmail.com

³ Professor do Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Av. Abolição 3207, Fortaleza, CE 60165-081.

E-mail: ldrude@pq.cnpq.br

*Autor para correspondência

RESUMO

Modificações na paisagem natural aliadas às mudanças climáticas globais, alteram a hidrodinâmica da Bacia Inferior do rio Jaguaribe, possibilitando maior biodisponibilidade de contaminantes, entre eles o mercúrio (Hg). Análise das concentrações de Hg na fauna estuarina (13 espécies de peixes e 5 de invertebrados) mostraram variações nas concentrações de Hg relacionadas aos hábitos alimentares das espécies. Tanto entre invertebrados quanto nos peixes, as maiores concentrações foram encontradas nas espécies carnívoras. Entretanto, não foram encontradas diferenças significativas entre as concentrações médias entre peixes carnívoros e onívoros, e entre invertebrados carnívoros e filtradores, o que pode estar relacionado as características biológicas específicas, como tamanho, estado de maturação e composição da dieta.

Palavras-chave: Estuário. Mercúrio. Bioacumulação. Hábito alimentar.

ABSTRACT

Modifications in the natural landscape of the Lower Jaguaribe River Basin, associated with global climate changes, contribute to changes in the hydrodynamics of the Lower Basin of Jaguaribe

Recebido em: 04/07/2018

Aprovado em: 23/07/2018

Publicado online em: 05/09/2018

river ecosystem, increasing contaminants bioavailability, among them mercury (Hg). Concentrations of Hg measured in the estuarine fauna (13 species of bonyfish and 5 of invertebrates) showed variations in Hg concentrations related to feeding habits. Highest concentrations in both, invertebrates and fish, were found in carnivorous species. However, no significant differences were found between the mean Hg concentrations in carnivores and omnivores fishes, and between carnivorous and filter feeders invertebrates, which may be related to intrinsic characteristics such as size, sexual maturity and diet composition.

Keywords: Estuary. Mercury. Bioaccumulation. Feeding Habit.

INTRODUÇÃO

O mercúrio (Hg) possui ampla distribuição global, podendo ser encontrado no ambiente sob diferentes espécies químicas (Streets *et al.*, 2017). A especiação química do Hg é bastante diversa, podendo ocorrer ligado a compostos orgânicos e inorgânicos. Entretanto, a forma orgânica (metilmercúrio - CH_3Hg^+) é considerada a espécie de maior preocupação ambiental, devido a sua elevada toxicidade e seu alto tempo de residência nos organismos, que resulta em elevadas taxas de bioacumulação e biomagnificação (Beckers & Rinklebe, 2017).

O rio Jaguaribe possui uma zona estuarina impactada pela escassez de chuvas, devido as mudanças climáticas globais, e por modificações na paisagem natural, como a construção de barramentos, que contribuem com alterações na hidrodinâmica e na hidroquímica desse estuário, favorecendo a retenção das massas de água continentais e condições para maior mobilidade e reatividade do Hg, favorecendo sua biodisponibilidade (Lacerda *et al.*, 2013). Estudos recentes (Costa & Lacerda, 2014; Rios *et al.*, 2016; Moura & Lacerda, 2018) tem sugerido um aumento na concentração de Hg na biota local como consequência desta maior biodisponibilidade. Assim, este trabalho objetiva quantificar as concentrações de Hg na biota da região estuarina do rio Jaguaribe, afim de entender os fatores biológicos e ecológicos responsáveis por sua distribuição.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras foram coletadas entre 2007 e 2015 com auxílio dos pescadores locais através do uso de artes de pesca típicas, como rede de emalhar e tarrafa, exceto para captura dos moluscos, coletados manualmente. A coleta ocorreu ao longo da zona estuarina do rio Jaguaribe (Figura 1), incluindo espécimes de peixes ósseos, crustáceos (sirís e camarões) e moluscos (bivalves e gastrópodes). No campo, as amostras foram acondicionadas e preservadas em recipientes térmicos e encaminhados ao Laboratório de Biogeoquímica Costeira (LABOMAR-UFC), para identificação da espécie e seu hábito alimentar (FISHBASE, 2018), medição e pesagem.

Após identificação, sub-amostras da musculatura, para peixes e crustáceos, e de tecido mole (amostragem composta), para moluscos, foram retiradas e liofilizadas, visando a preservação dessas amostras. Em seguida, o material liofilizado foi tratado, seguindo metodologia descrita por Costa & Lacerda (2014) para quantificação da concentração de Hg total nesses organismos. A quantificação do Hg foi realizada em um espectrômetro de

absorção atômica com sistema de geração de vapor frio (CVAAS), sendo os resultados expressos em peso seco.

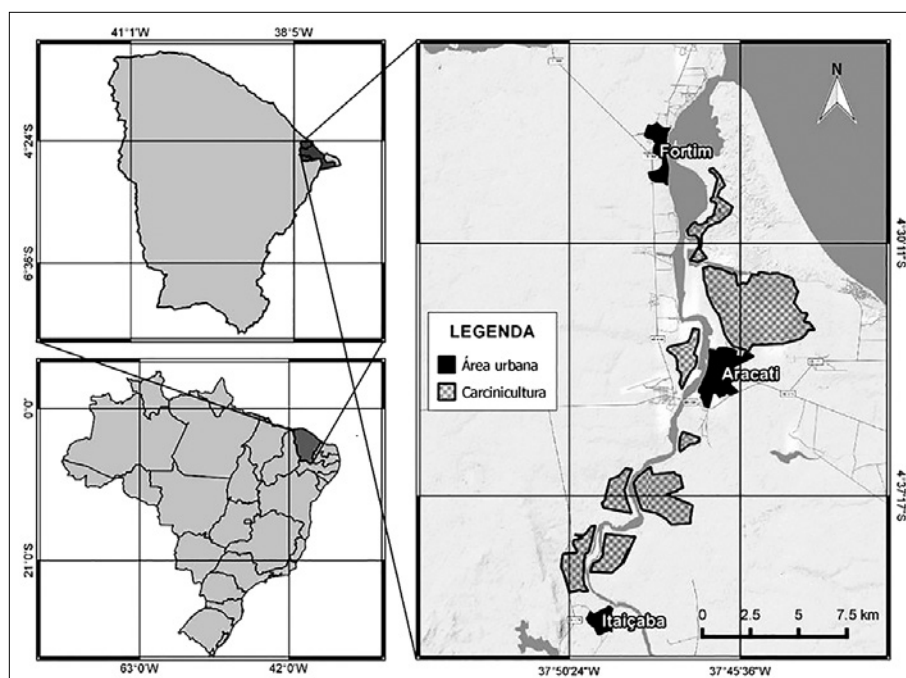


Figura 1 – Localização da zona estuarina do Rio Jaguaribe.

O limite de detecção médio da metodologia utilizada foi de $3 \pm 5 \text{ ng.g}^{-1}$, sendo obtido pela média dos resultados do triplo do desvio padrão de sete leituras de brancos multiplicado pelo fator específico determinado pela distribuição *t* de Student (3,14, gl 6) (USEPA, 2000). A validação dos resultados da concentração de Hg foi obtida por análise, em duplicata, do material de referência certificado CE278K, apresentando recuperação média de 81%. A normalidade dos dados foi analisada através do teste de *Shapiro-Whilk*, apresentando resultados para dados não normais. A relação entre as concentrações de Hg e o hábito alimentar apresentado pelas espécies coletadas foi analisada por testes de *Kruskal-Wallis* e ANOVA, após avaliação da curva dos resíduos. Havendo diferença entre os grupos amostrados, testes *a posteriori* foram realizados para descobrir quais grupos apresentavam distinção. O valor de significância adotado para os testes foi de 95% ($p < 0,05$). Os testes estatísticos e os gráficos *bloxspot* foram realizados no programa *Past 3.05* (Copyright Hammer 1999-2015) e *Microsoft® Office 2016* (Microsoft Corporation 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram coletados e analisados 188 peixes ósseos e 99 organismos invertebrados, sendo 63 crustáceos e 36 moluscos. A concentração média de Hg total (Tabela I e II) variou entre 12 ± 4 e $90 \pm 52 \text{ ng.g}^{-1}$ entre os invertebrados, já entre os peixes variou entre 13 ± 2 e $256 \pm 198 \text{ ng.g}^{-1}$. As maiores concentrações de Hg total, entre as espécies de invertebrados, foram observadas em siris do gênero *Callinectes* (Tabela I), crustáceos carnívoros, que possuem uma dieta composta principalmente por crustáceos e moluscos (Carqueija & Gouvea, 1998; Carvalho & Couto, 2010). As maiores concentrações encontradas podem estar relacionadas

à elevada bioacumulação e longo tempo de residência do Hg em espécies carnívoras (Reichmuth *et al.*, 2010).

Tabela I - Número amostral (n), hábito alimentar, comprimento, peso e concentração de Hg nos invertebrados da região estuarina do Rio Jaguaribe, CE.

Espécie	n	Hábito alimentar	Comp. (cm)	Peso (g)	[Hg] Tot. (ng.g ⁻¹)
<i>Callinectes</i> sp.	19	Carnívoro	10 ± 2 (7,5 - 12,5)	77 ± 43 (30,5 - 152)	90 ± 53 (21,4 - 201,4)
<i>Pugilina tupiniquim</i>	5	Carnívoro	9 ± 1 (9 - 10)	56 ± 8 (48,6 - 67,6)	46 ± 12 (32,7 - 64,7)
<i>Mytella charruana</i>	10	Filtrador	N.M.*	1 ± 0,4 (0,7 - 2,2)	55 ± 8 (46 - 70,3)
<i>Anomalocardia brasiliana</i>	21	Filtrador	2 ± 0,2 (1,7 - 2,3)	4 ± 2 (2,5 - 9,9)	52 ± 13 (27 - 74,6)
<i>Litopenaeus vannamei</i>	44	Detritívoro	9 ± 3 (2,9 - 16)	9 ± 4 (2,5 - 25,5)	13 ± 6 (7,3 - 39,5)

* Não foi medido

Foi possível observar uma diferença significativa ($H = 66,12$; $p < 0,05$) entre as concentrações de Hg total nos diferentes hábitos alimentares apresentados pelos invertebrados (Figura 2). As concentrações médias de Hg em carnívoros e filtradores foram maiores que nos detritívoros. As menores concentrações encontradas na espécie *L. vannamei* podem ser devido ao fato desses organismos serem exóticos e provavelmente terem escapado de fazendas de carcinicultura. Concentrações similares de Hg medidas em *L. vannamei*, coletados diretamente em tanques de cultivo por Soares *et al.* (2011) (6,3 - 15,9 ng.g⁻¹) corroboram essa afirmação.

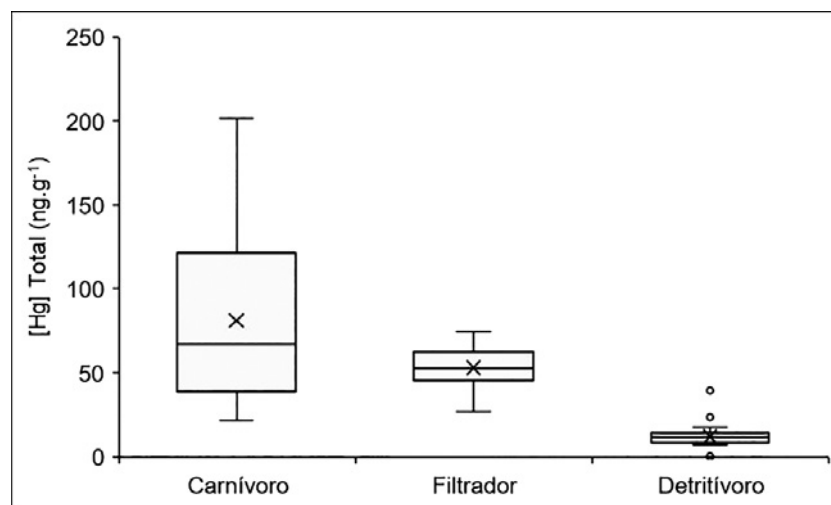


Figura 2 - Relação entre as concentrações de Hg total e o hábito alimentar das espécies de invertebrados da zona estuarina do rio Jaguaribe.

As espécies de invertebrados filtradoras apresentaram concentrações médias similares as espécies carnívoras, inclusive aqueles medidos no gastrópode carnívoro *P. tupiniquim*, apesar de estarem mais próximas a base da cadeia trófica. Este fato pode estar relacionado à assimilação majoritária de espécies químicas dissolvidas na água e adsorvidas em partículas de sedimento ou suspensão por espécies filtradoras, compartimentos mais enriquecidos em espécies de Hg inorgânicas de menor taxa de bioacumulação, em contra-

posição ao incorporado via dieta, que possui maior concentração de Hg orgânico de bioacumulação mais eficiente (Beckers & Rinklebe, 2017; Briant *et al.*, 2017).

A maior concentração média de Hg foi observada no ariacó (*L. synagris*), entre os peixes, espécie de hábito carnívoro, possuindo alimentação composta principalmente por peixes e crustáceos (Allen, 1985). Claramente, os indivíduos desta espécie coletados em 2010 foram significativamente maiores que em 2015, justificando as maiores concentrações de Hg encontradas em 2010 nesta espécie. Também no robalo (*C. parallelus*), o maior tamanho em 2010 resultou em maiores concentrações de Hg. Modificações morfológicas e fisiológicas, como o aumento do tamanho da boca, contribuem para aumentar a concentração de Hg entre indivíduos de mesma espécie. Por exemplo, a captura de presas maiores, que geralmente apresentam concentrações de Hg superiores à de pequenas presas (Chouvelon *et al.*, 2014), ou a captura de um maior número de presas, ocasionam uma maior exposição ao Hg em organismos maiores através da dieta (Dang & Wang, 2012). Organismos maiores também foram expostos a níveis ambientais do Hg por mais tempo. A espécie *M. americanus* apresentou comportamento oposto, com maiores concentrações de Hg em indivíduos menores, entretanto o baixo número amostral não permite a discussão deste resultado.

Além de variações intraespecíficas, as concentrações de Hg também apresentaram variações interespecíficas. Também foram observados, em peixes, maiores concentrações de Hg em espécies carnívoras (Tabela II). Entretanto não houve diferença significativa entre as concentrações médias de carnívoros e onívoros ($U = 2710,5$; $p > 0,05$). Por outro lado, as menores concentrações de Hg em peixes foram observadas em espécies planctívoras (Figura 3).

Tabela II - Número amostral (n), ano de coleta, hábito alimentar, comprimento, peso e concentração de Hg em peixes da região estuarina do Rio Jaguaribe.

Espécie	n	Ano de coleta	Hábito alimentar	Comp. (cm)	Peso (g)	[Hg] Tot. (ng.g ⁻¹)
<i>Lutjanus synagris</i> *	4	2010	Carnívoro	27 ± 7 (19 - 35)	325 ± 222 (100,0 - 600,0)	257 ± 198 (95,8 - 545,9)
	5	2015		18 ± 4 (14 - 25)	85 ± 55 (39,7 - 174,6)	60 ± 15 (40,9 - 80,6)
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	4		Carnívoro	25 ± 3 (22,5 - 29)	164 ± 53 (88,0 - 204,0)	141 ± 85 (51,1 - 235,1)
<i>Haemulon plumieri</i>	6		Carnívoro	20 ± 1 (19 - 23)	133 ± 26 (100,0 - 175,0)	124 ± 68 (71,9 - 250,7)
<i>Centropomus parallelus</i> *	11	2013	Carnívoro	31 ± 7 (23 - 47)	285 ± 159 (140,0 - 724,0)	124 ± 38 (69,5 - 202,2)
	3	2015		19 ± 6 (15 - 25)	58 ± 51 (24,0 - 117,5)	38 ± 12 (27,0 - 50,7)
<i>Menticirrhus americanus</i> *	3	2013	Carnívoro	24 ± 1 (22,5 - 24,5)	131 ± 23 (110,0 - 156,0)	38 ± 2 (36,3 - 39,8)
	6	2015		14 ± 1 (12,5 - 15)	28 ± 8 (20,1 - 41,3)	103 ± 30 (64,8 - 143,7)
<i>Elops saurus</i>	4		Carnívoro	25 ± 2 (22,5 - 27,5)	84 ± 24 (56,7 - 110,0)	98 ± 29 (57,5 - 123,7)
<i>Lutjanus cyanopterus</i>	6		Carnívoro	17 ± 2 (14,0 - 19,6)	79 ± 34 (40,0 - 130,0)	96 ± 23 (76,1 - 137,3)
<i>Lutjanus jocu</i>	6		Carnívoro	13 ± 2 (10 - 15)	32 ± 10 (18,7 - 45,8)	65 ± 34 (39,8 - 128,8)
<i>Archosargus rhomboidalis</i>	4		Onívoro	27 ± 3 (24 - 32)	353 ± 133 (260,0 - 550,0)	228 ± 114 (95,1 - 374,1)
<i>Cathorops spixii</i>	70		Onívoro	23 ± 7 (10,8 - 50)	135 ± 144 (12,0 - 1774,0)	98 ± 69 (8,7 - 300,5)

(continuação Tabela II)

<i>Eugerres brasilianus</i>	40	Onívoro	18 ± 6 (10,5 - 27,5)	108 ± 89 (22,0 - 322,0)	79 ± 81 (17,0 - 518,1)
<i>Mugil curema</i>	12	Planctívoro	23 ± 4 (19 - 33)	137 ± 85 (67,9 - 286,0)	23 ± 13 (5,4 - 41,1)
<i>Gobionellus oceanicus</i>	5	Planctívoro	22 ± 1 (20,5 - 24,5)	32 ± 7 (23,3 - 42,4)	14 ± 3 (11,5 - 17,1)

*Os indivíduos foram separados por ano de coleta devido a diferença significativa entre o comprimento médio para cada período de coleta.

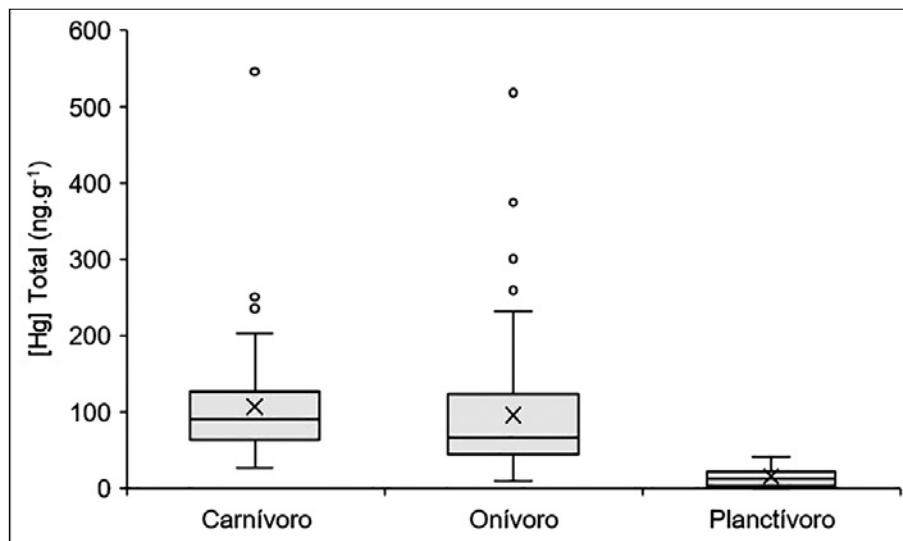


Figura 3 – Relação entre as concentrações de Hg total e o hábito alimentar das espécies de peixes da zona estuarina do rio Jaguaribe.

Soares *et al.* (2016) também encontraram maiores concentrações de Hg em espécies de peixes carnívoras na bacia do Rio Negro, Amazônia. Pinho *et al.* (2002), trabalhando com tubarões da plataforma continental, também observou variações na concentração de Hg entre espécies com dietas distintas, com maiores concentrações encontradas em espécies piscívoras. A dieta específica, portanto, contribui para uma maior variância nas concentrações de Hg entre espécies de hábito alimentar semelhante, demonstrando assim a importância da análise de Hg em itens de dieta para uma melhor compreensão dos fatores controladores da concentração de Hg na biota.

As concentrações de Hg medidas nas espécies de peixes e invertebrados, da região estuarina do rio Jaguaribe estão muito abaixo dos limites estabelecidos pela legislação brasileira vigente (Portaria n° 685, de 27 de agosto de 1998, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Entretanto, sugere-se que mudanças nas características hidroquímicas e hidrodinâmicas desse ecossistema estão contribuindo para uma maior biodisponibilidade do Hg, que aliada ao aumento das taxas de consumo pelas comunidades locais, pode tornar-se um risco de exposição humana a longo prazo, apesar das baixas concentrações encontradas, como sugerido em estudos anteriores (Costa & Lacerda, 2014; Moura & Lacerda, 2018).

CONCLUSÃO

Apesar das baixas cargas de Hg introduzidas na zona estuarina do rio Jaguaribe, suas condições ambientais contribuem para biodisponibilização desse contaminante.

Contudo, fatores biológicos, como o hábito alimentar e o tamanho, contribuem com variações nas concentrações de Hg entre as espécies e indivíduos, respectivamente, o que pode ser observado tanto nos vertebrados quanto nos invertebrados, resultando em maiores concentrações em espécies carnívoras, quando comparados a espécies próximas a base da cadeia trófica e dentro de uma mesma espécie, em indivíduos maiores.

Agradecimentos - Agradeço a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e ao Instituto Nacional de Ciência e Pesquisa (INCT) pelo apoio financeiro dado a pesquisa. A toda equipe laboratorial, pelo auxílio nas análises, interpretação e discussão dos dados obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, G. R. *Snappers of the world: An annotated and illustrated catalogue of lutjanid species known to date*. FAO Fish. Synop., 208p., Rome, 1985.

Beckers, F. & Rinklebe, J. Cycling of mercury in the environment: Sources, fate, and human health implications: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 47, n. 9, p. 693-794, 2017.

Briant, N.; Chauvelon, T.; Martinez, L.; Brach-Papa, C.; Chiffolleau, J. F.; Savoye, N.; Sonke, J. & Knoery, J. Spatial and temporal distribution of mercury and methylmercury in bivalves from the French coastline. *Marine Pollution Bulletin*, v. 114, n. 2, p. 1096 - 1102, 2017.

Carqueija, C.R.G. & Gouvêa, E.P.D. Hábito alimentar de *Callinectes larvatus* Ordway (Crustacea, Decapoda, Portunidae) no manguezal de Jiribatuba, Baía de Todos os Santos, Bahia. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 15, n. 1, p. 273-278, 1998.

Carvalho, F.L. & Couto, E.D.C.G. Dieta do siri *Callinectes exasperatus* (Decapoda, Portunidae) no estuário do rio Cachoeira, Ilhéus, Bahia. *UNICiências*, v. 14, n. 2, p. 325-334, 2010.

Chauvelon, T.; Caurant, F.; Chernel, Y.; Simon-Bouhet, B.; Spitz, J. & Bustamante, P. Species- and size-related patterns in stable isotopes and mercury concentrations in fish help refine marine ecosystem indicators and provide evidence for distinct management units for hake in the Northeast Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, v. 71, n. 5, p. 1073-1087, 2014.

Costa, B.G.B. & Lacerda, L.D. Mercury (Hg) in fish consumed by the local population of the Jaguaribe River lower basin, Northeast Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 21, n. 23, p. 13335-13341, 2014.

Dang, F. & Wang, W.X. Why mercury concentration increases with fish size? Biokinetic explanation. *Environmental pollution*, v. 163, p. 192-198, 2012.

Lacerda, L.D.; Dias, F.J.; Marins, R.V.; Soares, T.M.; Godoy, J.M.O. & Godoy, M.L.D. Pluriannual watershed discharges of Hg into a tropical semi-arid estuary of the Jaguaribe River, NE Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 24, n. 11, p. 1719-1731, 2013.

Moura, V.L. & Lacerda, L.D. Contrasting Mercury Bioavailability in the Marine and Fluvial Dominated Areas of the Jaguaribe River Basin, Ceará, Brazil. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, p. 1-6, 2018.

- Pinho, A.P.; Guimarães, J.R.D.; Martins, A.S.; Costa, P.A.S.; Olavo, G. & Valentin, J. Total mercury in muscle tissue of five shark species from Brazilian offshore waters: effects of feeding habit, sex, and length. *Environmental Research*, v. 89, n. 3, p. 250-258, 2002.
- Reichmuth, J.M.; Weis, P. & Weis, J.S. Bioaccumulation and depuration of metals in blue crabs (*Callinectes sapidus* Rathbun) from a contaminated and clean estuary. *Environmental Pollution*, v.158, n. 2, p. 361-368, 2010.
- Rios, J.H.L.; Marins, R.V.; Oliveira, K.F.; & Lacerda, L. D. Long-term (2002–2015) changes in mercury contamination in NE Brazil depicted by the mangrove oyster *Crassostraea rhizophorae* (Guilding, 1828). *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, v. 97, n. 4, p. 474-479, 2016.
- Soares, T.M.; Coutinho, D.A.; Lacerda, L.D.; Moraes, M.O. & Rebelo, M.F. Mercury accumulation and metallothionein expression from aquafeeds by *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931 under intensive aquaculture conditions. *Brazilian Journal of Biology*, v. 7, n.1, p. 131–137, 2011.
- Soares, J.L.F.; Goch, Y.G.F.; Peleja, J.R.P.; Forsberg, B.R.; Lemos, E.J.S. & Sousa, O.P. Bioacumulação de mercúrio total (HgT) e hábitos alimentares de peixes da bacia do rio negro, Amazônia, Brasil. *Biota Amazônia*, v.6, n. 1, p. 102-106, 2016.
- Streets, D.G.; Horowitz, H.M.; Jacob, D.J.; Lu, Z.; Levin, L.; Ter Schure, A.F. & Sunderland, E.M. Total mercury released to the environment by human activities. *Environmental Science and Technology*, v. 51, n.11, p. 5969–5977, 2017.
- USEPA. Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in FishAdvisories. 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, v. 2, 2000.