

REALIDADES E PERSPECTIVAS

EM CIÊNCIA DOS ALIMENTOS

Wesclen
Vilar | Org.
Nogueira



2020

Wesclen Vilar Nogueira
(Organizador)

Realidades e Perspectivas em Ciência dos Alimentos



Pantanal Editora

2020

Copyright© Pantanal Editora
Copyright do Texto© 2020 Os Autores
Copyright da Edição© 2020 Pantanal Editora
Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo
Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera
Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora
Edição de Arte: A editora
Revisão: Os autor(es), organizador(es) e a editora

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – OAB/PB
- Profa. Msc. Adriana Flávia Neu – Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
- Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – IF SUDESTE MG
- Profa. Msc. Aris Verdecia Peña – Facultad de Medicina (Cuba)
- Profa. Arisleidis Chapman Verdecia – ISCM (Cuba)
- Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo - UEA
- Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu – UNEMAT
- Prof. Dr. Carlos Nick – UFV
- Prof. Dr. Claudio Silveira Maia – AJES
- Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – UFGD
- Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva – UEMS
- Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos – IFPA
- Prof. Msc. David Chacon Alvarez – UNICENTRO
- Prof. Dr. Denis Silva Nogueira – IFMT
- Profa. Dra. Denise Silva Nogueira – UFMG
- Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão – URCA
- Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves – ISEPAM-FAETEC
- Prof. Me. Ernane Rosa Martins – IFG
- Prof. Dr. Fábio Steiner – UEMS
- Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez (Colômbia)
- Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles – UNAM (Peru)
- Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira – IFRR
- Prof. Msc. Javier Revilla Armesto – UCG (México)
- Prof. Msc. João Camilo Sevilla – Mun. Rio de Janeiro
- Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales – UNMSM (Peru)
- Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski – UFMT
- Prof. Msc. Lucas R. Oliveira – Mun. de Chap. do Sul
- Prof. Dr. Leandro Argente-Martínez – ITSON (México)
- Profa. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan – Consultório em Santa Maria
- Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior – UEG
- Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla – UNAM (Peru)
- Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira – SEDUC/PA
- Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira – IFPA
- Profa. Dra. Patrícia Maurer
- Profa. Msc. Queila Pahim da Silva – IFB
- Prof. Dr. Rafael Chapman Auty – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke – UFMS
- Prof. Dr. Raphael Reis da Silva – UFPI

- Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo – UEMA
- Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca – UFPI
- Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira – FURG
- Profa. Dra. Yilan Fung Boix – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – UFT

Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Esp. Tayronne de Almeida Rodrigues
- Esp. Camila Alves Pereira
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
R288	Realidades e perspectivas em Ciência dos Alimentos [recurso eletrônico] / Organizador Wesclen Vilar Nogueira. – Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2020. 103p. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-88319-03-1 DOI https://doi.org/10.46420/9786588319031 1. Alimentos – Análise. 2. Micotoxinas. 3. Tecnologia de alimentos. I. Nogueira, Wesclen Vilar. CDD 664.07
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo dos livros e capítulos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do(s) autor (es). O download da obra é permitido e o compartilhamento desde que sejam citadas as referências dos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

APRESENTAÇÃO

A área de Ciência e Tecnologia de Alimentos é multidisciplinar, envolvendo os aspectos bioquímicos, físicos, químicos, microbiológicos e tecnológicos, e também aqueles relacionados a gestão da qualidade, legislação, logística, marketing e nutrição. Neste primeiro volume do e-book Realidades e Perspectivas em Ciência dos Alimentos o foco está voltado para considerações relativas a diversos temas com a finalidade de divulgar e fomentar publicações, oferecendo apoio e subsídios teórico-metodológicos para os profissionais da área de Ciência dos Alimentos e áreas afins.

No Capítulo I é abordado os aspectos relacionados a contaminação pelo gênero *Fusarium* e a consequente produção de tricotecenos e fumonisinas em culturas de trigo e milho, bem como a possibilidade de mitigação da contaminação pela utilização de extratos naturais de microalgas.

No Capítulo II são descritas informações sobre a ocorrência de micotoxinas em pescado, com foco em peixe. Além de determinar o risco de exposição a micotoxinas pelo consumo de pescado a população de países desenvolvidos, subdesenvolvidos e emergentes conforme classificação da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura.

No capítulo III são apresentadas as recentes pesquisas relacionadas a novas abordagens para obtenção de aditivos alimentares de fontes naturais possíveis de suprir a demanda mundial de novos ingredientes. Fornecendo uma compilação de pesquisas relevantes que auxiliam o leitor a identificar tendências para a indústria de alimentos ou novas áreas de pesquisa.

No capítulo IV são compiladas informações referentes à exploração de pescado no Brasil, consumo e ocorrência de mercúrio em pescado nacional. Além disso, foi realizado levantamento dos níveis de ocorrência de mercúrio no músculo de diferentes espécies de pescado exploradas no país e, fez-se uma estimativa do risco de exposição da população brasileira.

Wesclen Vilar Nogueira

SUMÁRIO

Apresentação	5
Capítulo I.....	6
Mitigação da contaminação fúngica e produção de micotoxinas em cultivos de trigo e milho pela aplicação de extratos de microalgas.....	6
Capítulo II	30
Micotoxinas em pescado: ocorrência e risco de exposição.....	30
Capítulo III	46
Aditivos alimentares naturais emergentes: Uma revisão	46
Capítulo IV	85
Metal pesado em pescado: a presença do mercúrio como agente contaminante	85
Índice Remissivo.....	103

Metal pesado em pescado: a presença do mercúrio como agente contaminante

Recebido em: 25/07/2020

Aceito em: 05/08/2020

 10.46420/9786588319031cap4

Ezequias Santos Ribeiro¹ 

Wesclen Vilar Nogueira^{2*} 

Rute Bianchini Pontuschka³ 

INTRODUÇÃO

A pesca extrativa e a aquicultura são importantes setores da produção alimentícia mundial (Lopes et al., 2016). Entretanto, a produção do primeiro setor produtivo se estabilizou na década de 1990 e, para suprir a demanda de pescado (e.g. peixes, crustáceos, moluscos, anfíbios, répteis, equinodermos), a aquicultura passou a ser considerada uma alternativa viável para continuar aumentando a oferta desse alimento (FAO, 2016), além de reduzir a pressão exercida sobre algumas espécies pela pesca extrativa executada de forma desordenada (Molina; Yedra, 2018). Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) a produção de pescado, incluindo os setores aquícola e extrativista, ultrapassou 172 milhões de toneladas (t) em 2017, apresentando incremento produtivo de 4,1% em relação ao ano anterior (FAO, 2019). Do total produzido, grande parte (45%) foi destinada para consumo humano, principalmente na forma de pescado fresco ou vivo (FAO, 2019).

O consumo de pescado está relacionado a diversos benefícios à saúde humana (Mozaffarian et al., 2003; Burger; Gochfeld, 2009), pois é considerado fonte de proteína de alto valor biológico, além de apresenta alto teor de ômega 3, vitaminas e minerais (Souza et al., 2003). Entretanto, apesar de ser uma excelente fonte nutricional, o pescado é considerado a principal fonte de exposição humana a contaminantes inorgânicos (Kitahara et al., 2000; Virga et al., 2007; Pan; Wang, 2011; Chowdhury, 2018; Rajeshkumar et al., 2018; Ezemonye et al., 2019; Jara-Marini et al., 2019; Maurya et al., 2019), com

¹ Fundação Universidade Federal do Rondônia - UNIR, Departamento de Engenharia de Pesca - DEPA, Presidente Médici, RO, Brasil.

² Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Escola de Química e Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Rio Grande, RS, Brasil.

³ Fundação Universidade Federal do Rondônia - UNIR, Departamento de Engenharia de Pesca - DEPA, Presidente Médici, RO, Brasil.

* Autor de correspondência: wesclenvilar@gmail.com

destaque para os metais não essenciais (e.g. cobre, chumbo, mercúrio, arsênio e cádmio) (Rejomon et al., 2010; Jabeen et al. 2012; Mert et al. 2014; Ricketts et al., 2020). Dentre esses, o mercúrio (Hg) se destaca por apresentar ampla ocorrência em corpos aquáticos e elevada toxicidade para humanos e animais (Correia et al., 2014; Lima et al., 2015).

A contaminação por metais pode ocorrer de forma natural através de processos geoquímicos (Chahid et al., 2014) ou de fontes antropogênicas, como despejo de rejeitos industriais e agrícolas (Kvasnicka et al., 2019; Gabriel et al., 2020), e atividades de mineração em corpos aquáticos (Pyle et al., 2005; Moiseenko; Kudryavtseva, 2011). A problemática quanto à presença dos metais está relacionada à capacidade que esses compostos possuem de bioacumular na cadeia alimentar (Virga et al., 2007). Os efeitos em humanos podem variar de anemia, diarreia, estomatite, sabor metálico na boca, sangramento gengival, vômito, até alterações cromossômicas (Jaiswal et al., 2018), efeitos estrogênicos, carcinogênicos (Lappano et al., 2017) e danos ao sistema nervoso, ao fígado, ossos, alterações hormonais (Engwa et al., 2018) e doenças graves como a doença de Minamata (Sakamoto et al., 2017) e itai-itai (Nogawa et al., 2017). O pescado vivo, por sua vez, também sofre os efeitos dessa contaminação, que podem variar de alterações histopatológicas, redução no ganho de peso e crescimento (Vitek et al., 2007), efeitos embriotóxicos (Mai et al., 2012), genotóxicos (Ossana et al., 2016), baixa fertilidade e até a morte (Repula et al., 2012).

Desta forma, em virtude da alta exploração e consumo de pescado, da capacidade de bioacumulação dos metais na cadeia alimentar e dos efeitos nocivos que esses podem ocasionar para humanos e animais, neste capítulo foram compiladas informações referentes à exploração de pescado no Brasil, consumo nacional e, ocorrência de mercúrio em pescado no Brasil. Foi feito também um levantamento dos níveis de ocorrência de mercúrio no músculo de diferentes espécies de pescado exploradas no país e, finalmente, fez-se uma estimativa do risco de exposição da população brasileira.

EXPLORAÇÃO DE PESCADO NO BRASIL

Segundo o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA), em seu Art. 205, entende-se por pescado os peixes, crustáceos, moluscos, anfíbios, répteis e outros animais aquáticos utilizados na alimentação humana (Brasil, 2017). Quando explorados de forma extrativa com viés econômico, o manejo desses recursos deve ser baseado em estudos populacionais, reprodutivos e demográficos, permitindo assim, a sobrevivência das espécies (Barboza et al., 2013). Quando explorados de forma confinada, deve-se procurar alcançar grandes escalas produtivas através da aplicação de estratégias de manejo abrangendo todo processo de criação (e.g. cria, recria e engorda) (Barroso; Moura, 2016).

No Brasil, a produção do pescado tem perspectivas de aumento em torno de 104% até 2025, de acordo com o relatório da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2016). Essas projeções para o país estão associadas à alta disponibilidade de recursos hídricos (e.g. grandes bacias hidrográficas e extensa costa litorânea), condições geográficas e climáticas favoráveis (Siqueira, 2018), além de elevado número de espécies de interesse zootécnico e mercadológico (Baldisserotto, 2013). Esses fatores permitem a estruturação e a exploração da pesca extrativa, e o desenvolvimento da aquicultura, refletindo um panorama com alto potencial para exploração econômica no país (Siqueira, 2018).

Apesar desse cenário promissor, a nível mundial, o Brasil ocupa a 21ª posição na produção de pescados. A produção piscícola nacional, entretanto, desde meados da década de 1990 avançou, atribuindo ao país a 13ª posição a nível mundial, com despesa de aproximadamente 605 milhões de t (FAO, 2020) e, primeiro lugar no ranking de produção latino-americana (Peixe BR, 2019). A produção piscícola nacional está voltada para o cultivo de tilápia (*Oreochromis niloticus*, *O. aureus* e *O. mossambicus*) (Peixe BR, 2019). No ano de 2018 a produção de tilápia se concentrou principalmente na Região Sul e sudeste, representando 55,4% da produção piscícola nacional, apresentando incremento produtivo de 11,9% em relação a 2017. Esses valores conferem ao país a 4ª posição mundial em produção de tilápia, atrás apenas da China, Indonésia e Egito (Brasil, 2019).

Além da tilápia, as espécies nativas (e.g. pacu - *Piaractus mesopotamicus*, pirapitinga - *Piaractus brachipomus* e híbridos da subfamília Myleinae - tambacu e tambatinga) lideram o segundo lugar em produção nacional. Grande parte da produção das espécies nativas está concentrada nas Regiões Norte, Sudeste e Centro-oeste, com destaque para o tambaqui (*Colossoma macropomum*), segunda espécie mais cultivada no país (Peixe BR, 2019). Além dessas espécies, o Brasil também apresenta expressiva produção de carpa (*Ctenopharyngodon idellus* e *Cyprinus carpio*), pirarucu (*Arapaima gigas*), jundiá (*Rhamdia quelen*), truta (*Oncorhynchus mykiss*) e pangá (*Pangasius bocourti* e *P. hypophthalmus*) (Brasil, 2019).

Em se falando de outros pescados, o Brasil também se destaca na produção de crustáceos, ocupando a 10ª posição a nível mundial, com despesa aproximada de 62 milhões de t (FAO, 2020). De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a produção nacional de camarão foi superior a 45 mil t no ano de 2018, com faturamento de R\$ 1,1 bilhão, registrado um crescimento produtivo de 11,4% em comparação ao ano anterior (Brasil, 2019). Esses valores consolidam o país com o terceiro lugar no ranking de produção latino-americana (Anderson; Valderrama, 2019). A espécie de maior importância a nível nacional é camarão branco (*Litopenaeus vannamei*) (Monteiro et al., 2019; Oliveira; Neto, 2019), sendo a Região Nordeste a responsável por 99,4% do total produzido (Brasil, 2019; Nunes et al., 2019). Além dessa espécie, o camarão de água doce (*Macrobrachium rosenbergii*) se destaca em termos produtivos, principalmente na região amazônica

(Iketani et al., 2016; Ballester et al. 2017; Negrini et al., 2017). Além das espécies de camarão, outros crustáceos ocupam lugar de destaque em termos de produção e lucratividade no país, dentre eles podem ser destacadas as espécies de lagosta, com destaque para lagosta vermelha (*Panulirus argus*) (Nogueira, 2016; Gaeta; Cruz, 2019; Salazar; Cruz, 2019), lagosta verde (*Panulirus laevicauda*) (Lima; Andrade, 2017; Salazar; Cruz, 2019) e lagosta sapata (*Scyllarides brasiliensis*) (Lima; Andrade, 2017). As duas primeiras espécies apresentam elevada ocorrência na costa brasileira, entretanto, 95% do montante capturado é exportado e apenas 5% é consumido no país (Aragão; Cintra, 2019).

Dentre as espécies de crustáceos, um destaque especial deve ser dado às espécies de caranguejo, especialmente o caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*), principal espécie de crustáceo extraída dos manguezais brasileiros para fins comerciais (Nascimento et al., 2017; Côrtes et al., 2019), além também de espécies marinhas de águas profundas pertencentes ao gênero *Chaceon*, de alto valor comercial (Ferreira et al., 2016). Dentre os braquiúros, destacam-se várias espécies da Família Portunidae, popularmente conhecidas como siris, com ênfase para o gênero *Callinectes* (Severino-Rodrigues et al., 2009; Lavradas et al., 2014; Anacleto et al., 2016; Rodrigues et al., 2019). Além dos peixes e crustáceos, no Brasil outras modalidades produtivas são exploradas de forma extrativa ou confinada, entretanto, em menor escala (Tabela 1).

Tabela 1. Outros seguimentos que desenvolvem a exploração de pescado de forma extrativa ou confinada no Brasil.

Seguimento	Principais espécies produzidas	Referências
Jacaricultura	<i>Melanosuchus niger</i> (jacaré-açu)	Cardoso et al. (2018)
	<i>Caiman latirostris</i> (jacaré-do-papo-amarelo)	Almeida e Campos (2011)
	<i>Caiman yacare</i> (jacaré-do-pantanal)	Oliveira et al. (2017)
Quelonicultura	<i>Podocnemis expansa</i> (tartaruga-da-Amazônia)	Fantin et al. (2018)
	<i>Podocnemis unifilis</i> (tracajá)	Mateus e Higuchi (2018)
Malacocultura	<i>Crassostrea gigas</i> (ostra-do-Pacífico)	Soares et al. (2020)
	<i>Crassostrea brasiliana</i> (ostra-do-mangue)	Montanhini e Neto (2015)
	<i>Mytella charruana</i> (Sururu)	Higino et al. (2012)
	<i>Perna perna</i> (mexilhão marrom)	Santos et al. (2020)
Ranicultura	<i>Lithobates catesbeianus</i> (rã-touro)	Candido et al. (2019)

CONSUMO DE PESCADO NO BRASIL

A demanda crescente e a expansão da oferta de produtos da pesca e aquicultura levaram estes produtos a serem uma das categorias de alimentos mais comercializados no mundo (Holland, 2019). No Brasil, o consumo de pescado pode ser influenciado por diversos fatores, dos quais se destacam os culturais, econômicos (Lopes et al., 2015) e principalmente os geográficos (Sonoda; Shiota, 2012). Na região Norte do país, especificamente no Estado do Amazonas o consumo per capita é superior a 34 kg, enquanto que na região Sul, especificamente no estado do Rio Grande do Sul apresenta consumo inferior a 2 kg (Sonoda; Shiota, 2012; Vidal; Ximenes, 2019), entretanto, a média nacional de 9,38 kg per capita ano (FAO, 2019). Apesar da alta produção de pescado (Brasil, 2019; Nunes et al., 2019; Peixe BR, 2019; FAO, 2020) a média per capita nacional está abaixo do consumo mínimo preconizado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 12 kg per capita ano (FAO, 2019).

Nos últimos anos, foi observado o aumento da procura por uma alimentação mais saudável pelas populações, neste contexto, a oferta de pescado pode direcionar o consumo, em especial, por ser rica em nutrientes e apresentar baixos índices calóricos (Vélez et al., 2017). Aliado a isso, há várias ações sendo executadas no país para fomentar o aumento do consumo de pescado (Peixe BR, 2019; Lopes et al., 2020). Essas iniciativas são atribuídas, principalmente, as empresas de processamento que aumentaram seus portfólios de opções, incluindo pratos porcionados e semi prontos, além das formar tradicionais de apresentação (e.g. filé, posta) (Peixe BR, 2019).

OCORRÊNCIA DE MERCÚRIO EM PESCADO NO BRASIL

De modo geral, o mercúrio apresenta como característica principais a estabilidade química, baixa biodegradabilidade, alta afinidade com grupos sulfidril e hidroxila das proteínas, além de lipossolubilidade (Siedlikowski et al., 2016; Bradley et al., 2017). Essas características facilitam sua difusão pelas membranas celulares, contribuindo com os processos de bioacessibilidade e biodisponibilidade (Bastos et al., 2015). A bioacessibilidade corresponde à fração de um composto (e.g. mercúrio) liberado de uma matriz alimentar qualquer e que está disponível para absorção, já biodisponibilidade corresponde à porção que é ingerida e atinge a circulação sanguínea (Siedlikowski et al., 2016; Bradley et al., 2017; Li; Wang, 2019). Quando ingerido, o mercúrio apresenta baixas taxas de eliminação e grande parte fica biodisponível. O compilamento de dados relativos à presença de mercúrio no músculo de diversas espécies de pescado está na Tabela 2.

Tabela 2. Ocorrência ($\mu\text{g g}^{-1}$) de mercúrio em músculo de pescado no Brasil. Fonte: os autores.

Pescado	CM	Grupo	NT	Referência
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	0,052	Molusco	Filtrador	Moura et al. (2018)
<i>Callinectes</i> sp.	0,090	Crustáceo	Carnívoro	
<i>Litopenaeus vannamei</i>	0,013	Crustáceo	Detritívoro	
<i>Mytella charruana</i>	0,055	Molusco	Filtrador	
<i>Holocentrus adscensionis</i>	0,337	Peixe	Carnívoro	Santos et al. (2018)
<i>Anisotremus surinamensis</i>	NM	Peixe	Carnívoro	
<i>Echinometra lucunter</i>	0,240	Equinodermo	Herbívoro	
<i>Podocnemis unifilis</i>	0,188	Réptil	Herbívoro	Pignati et al. (2018)
<i>Echinometra lucunter</i>	0,193	Equinodermo	Herbívoro	Santos et al. (2018)
<i>Crassostrea rhizophorae</i>	0,074	Molusco	Filtrador	Rios et al. (2016)
<i>Astyanax</i> sp	NM	Peixe	Herbívoro	Lima et al. (2015)
<i>Curimata cyprinoides</i>	NM	Peixe	Detritívoro	
<i>Hoplias aimará</i>	0,540	Peixe	Carnívoro	
<i>Hoplias malabaricus</i>	0,570	Peixe	Carnívoro	
<i>Pellona flavipinnis</i>	0,335	Peixe	Carnívoro	
<i>Pimelodus ornatos</i>	0,330	Peixe	Onívoro	
<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	0,630	Peixe	Carnívoro	
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	0,670	Peixe	Carnívoro	
<i>Serrasalmus rhombens</i>	0,548	Peixe	Carnívoro	
<i>Archosargus rhomboidalis</i>	0,086	Peixe	Onívoro	Costa e Lacerda (2014)
<i>Cathorops spixii</i>	0,080	Peixe	Carnívoro	

<i>Centropomus paralelus</i>	0,043	Peixe	Carnívoro	
<i>Cichla</i> sp.	0,059	Peixe	Carnívoro	
<i>Eugerres brasilianus</i>	0,107	Peixe	Carnívoro	
<i>Haemulon plumierii</i>	0,050	Peixe	Carnívoro	
<i>Holocentrus adscensionis</i>	0,037	Peixe	Detritívoro	
<i>Leporinus friderici</i>	0,049	Peixe	Onívoro	
<i>Oreochromis niloticus</i>	0,008	Peixe	Onívoro	
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	0,049	Peixe	Carnívoro	
<i>Prochilodus argenteus</i>	0,008	Peixe	Detritívoro	
<i>Rhomboplites aurorubens</i>	0,068	Peixe	Carnívoro	
<i>Serrasalmus rhombeus</i>	0,037	Peixe	Carnívoro	
<i>Melanosuchis niger</i>	0,784	Réptil	Carnívoro	Correia et al. (2014)
<i>Citharichthys spilopterus</i>	0,003	Peixe	Carnívoro	Seixas et al. (2014)
<i>Farfantepenaeus brasiliensis</i>	0,008	Crustáceo	Onívoro	
<i>Micropogonias furnieri</i>	0,002	Peixe	Carnívoro	
<i>Mugil liza</i>	0,031	Peixe	Onívoro	
<i>Trichiurus lepturus</i>	0,008	Peixe	Carnívoro	
<i>Crassostrea brasiliana</i>	0,090	Molusco	Filtrador	Carneiro et al. (2013)
<i>Mytella charruana</i>	0,202	Molusco	Filtrador	Higino et al. (2012)
<i>Caiman crocodilus yacare</i>	0,360	Réptil	Carnívoro	Vieira et al. (2011)
<i>Podocnemis expansa</i>	0,132	Réptil	Herbívoro	Schneider et al. (2010)
<i>Podocnemis unifilis</i>	0,113	Réptil	Herbívoro	
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0,007	Réptil	Herbívoro	Burger et al. (2010)

<i>Podocnemis erythrocephala</i>	0,002	Réptil	Herbívoro	
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	0,028	Réptil	Herbívoro	
<i>Ucides cordatus</i>	0,130	Crustáceo	Herbívoro	Vilhena et al. (2003)

CM = concentração máxima detectada no estudo; NM = não mensurado; NT = nível trófico; UF = unidade da federação.

O processo de bioacumulação de substâncias atinge elevadas concentrações nos altos níveis tróficos, ocorrendo uma maior concentração em espécies predadoras, processo esse conhecido como biomagnificação (Azevedo-Silva et al., 2016; Moura et al., 2018; Bastos et al., 2005). Já espécies presentes na base ou próxima a ela, como os animais de hábito alimentar herbívoro, tendem a apresentar menores concentrações de mercúrio em seus tecidos (Vilhena et al., 2003; Bastos et al. 2005, Burger et al., 2010; Bastos et al., 2015; Lima et al., 2015). Isso pode ser evidenciado no trabalho desenvolvido por Correia et al. (2014), que avaliaram concentrações de mercúrio (Hg) nos músculos de jacarés selvagens (*Melanosuchus niger*) do reservatório Mamirauá, Amazônia brasileira. Os autores reportaram concentração de Hg no músculo de jacarés variando de 0,360 a 0,784 $\mu\text{g g}^{-1}$. Tal concentração é superior às encontradas nas demais espécies carnívoras citadas na Tabela 2. Isso está relacionado ao fato de essa espécie ser caracterizada como a maior predadora dos habitats aquáticos da América Continental (Thoisay et al., 2006; Pereira e Malvasio, 2014). Espécimes pertencente ao gênero *Melanosuchus* são oportunistas e generalistas em relação ao hábito alimentar e exercem predação a qualquer animal vivo (e.g. crustáceos, gastrópodes, peixes, moluscos, aves, répteis e mamíferos), inclusive de indivíduos da mesma espécie (Nogueira et al., 2019).

O tempo de exposição, comprimento (Burger et al., 2000; Rumbold et al., 2002), peso (Castilhos et al., 2006; Schneider et al., 2012), idade (Schneider et al., 2012) e sexo (Correia et al., 2014) também podem influenciar e estabelecer uma relação positiva e significativa entre o conteúdo de Hg no músculo de pescado (Correia et al., 2014). Além disso, deve ser levado em consideração e localização geográfica devido às características dos solos que podem influenciar na concentração natural de mercúrio neles presente (Oliveira et al., 2002; Jesus et al., 2018; Carvalho et al., 2019; Miranda et al., 2020), bem como as diferentes formas de metabolização do Hg em cada espécie (Barbosa et al., 2003).

ESTIMATIVA DO RISCO DE EXPOSIÇÃO

Devido ao processo de bioacumulação (Rios et al., 2016; Santos et al., 2018), a avaliação da contaminação de pescado por mercúrio é, portanto, um assunto de saúde pública. Normalmente, as avaliações de exposição em humanos são baseadas em uma abordagem determinística, obtendo-se os níveis estimados de ingestão diária (ID) para se avaliar o risco de se consumir um alimento contaminado

(Correia et al., 2014). Desta forma, a ID foi estimada assumindo as menores concentrações como ingestão mínima e as maiores como ingestão máxima para cada grupo trófico conforme os dados de ocorrência reportados na Tabela 2, sendo crustáceo (0,008 e 0,130 $\mu\text{g g}^{-1}$), equinodermo (0,193 e 0,240 $\mu\text{g g}^{-1}$), molusco (0,052 e 0,202 $\mu\text{g g}^{-1}$), peixe (0,002 e 0,670 $\mu\text{g g}^{-1}$), réptil (0,002 e 0,784 $\mu\text{g g}^{-1}$). Para o desenvolvimento dos cálculos, assumiu-se também uma massa média corporal de 68 kg (Walpole et al., 2012) e consumo médio de pescado de 20 g dia^{-1} para população brasileira (FAO, 2019). A ID foi estimada através da Equação 1.

$$\text{ID } \mu\text{g/kg*dia} = \frac{\text{ingestão de pescado } \left(\frac{\text{g}}{\text{dia}}\right) \times \text{mercúrio no pescado } \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{kg}}\right)}{\text{massa corporal (kg)}} \quad (1)$$

A Tabela 3 resume a ingestão diária (ID) em termos de concentração mínima e máxima de mercúrio. De acordo com os valores de ID calculados, em termo de exposição de risco, o consumo de pescado apresenta uma ordem decrescente para répteis, peixes, moluscos, equinodermos e crustáceos. Os valores de ID calculados para todos os grupos são inferiores aos preconizados pela Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 42, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, que dispõe sobre o regulamento técnico quanto aos limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos (Brasil, 2103). A RDC estabelece um valor de 500 $\mu\text{g kg}^{-1}$ para crustáceos, moluscos e peixes não predadores e, 1000 $\mu\text{g kg}^{-1}$ pra peixes predadores. No entanto não estabelece limite máximos para a presença de mercúrio em répteis. O valor não legislado pode estar associado à falta de hábito do consumidor brasileiro em utilizar espécies não convencionais, as chamadas carnes exóticas, para suprimento proteico (Sfasciotte et al., 2015).

Tabela 4. Estimativa da Ingestão diária (ID) de mercúrio. Fonte: os autores.

Grupo	ID $\mu\text{g kg}^{-1}$	
	Mínima	Máxima
Crustáceos	0,0023	0,0382
Equinodermos	0,0567	0,0705
Moluscos	0,0152	0,0594
Peixes	0,0005	0,1970
Répteis	0,0005	0,2305

CONCLUSÃO

Apesar dos benefícios à saúde, dos avanços na produção e dos incentivos em relação ao consumo de pescado, este se apresenta como uma fonte de exposição humana ao mercúrio. A avaliação dos riscos à saúde associados ao consumo de pescado e exposição ao mercúrio é essencial para apoiar as ações destinadas a garantir um suprimento seguro de alimentos para a população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida L, Campos R (2011). A Systematic study of the brain base arteries in broad-snouted caiman (*Caiman latirostris*). *Journal of Morphological Sciences*, 28(1): 62-68.
- Anacleto A, Broetto B, Xavier FP, Ferreira KBS (2016). Retail trade of caged crabmeat (*Callinectes* sp) on the coast of Paraná – Brazil. *Business Management Dynamics*, 5(9): 15-21.
- Anderson JL, Valderrama D (2019). Revisão e previsão da produção global de camarão: crescimento estável à frente. *Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão*, 6(1): 28-33.
- Aragão JAN, Cintra IHA (2019). Stock assessment of the red spiny lobster *Panulirus argus* in the brazilian coast. *Arquivos de Ciências do Mar*, 51(2): 7-26.
- Azevedo-Silva CE, Almeida R, Carvalho DP, Ometto JPHB, Camargo PB, Dorneles PR, Azeredo A, Bastos WR, Malm O, Torresa JPM (2016). Mercury biomagnification and the trophic structure of the ichthyofauna from a remote lake in the Brazilian Amazon. *Environmental Research*, 151(1): 286-296.
- Baldisserotto B (2013). *Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura*. 3 ed. UFSM: Santa Maria. 352p.
- Ballester ELC, Marzarotto SA, Castro CS, Frozza A, Pastore I, Abreu PC (2017). Productive performance of juvenile freshwater prawns *Macrobrachium rosenbergii* in biofloc system. *Aquaculture Research*, 48(9): 4748-4755.
- Banci KRS, Mori GM, Oliveira MA, Paganelli FL, Pereira MR, Pinheiro MAA (2017). Can environmental pollution by metals change genetic diversity? *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) as a study case in Southeastern Brazilian mangroves. *Marine Pollution Bulletin*, 116(1): 440-447.
- Barboza RSL, Rebelo GH, Barboza RSL, Pezzuti JCB (2013). Plano de manejo comunitário de jacarés na várzea do baixo rio Amazonas, Santarém - PA, Brasil. *Biotemas*, 26(2): 215-226.
- Barbosa AC, Souza J, Do'Rea JG, Jardim WF, Fadini OS (2003). Mercury biomagnification in a tropical black water, Rio Negro, Brazil. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45(1): 235-246.

- Bastos WR, Dórea JG, Bernardi JVE, Lauthartte LC, Mussu MH, Lacerda LD, Malm O (2015). Mercury in fish of the Madeira river (temporal and spatial assessment), Brazilian Amazon. *Environmental Research*, 140(1): 191-197.
- Bastos WR, Gomes JPO, Oliveira RC, Almeida R, Nascimento EL, Bernardi JVE, Lacerda LD, Silveira EG, Pfeiffer WC (2005). Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. *Science of the Total Environment*, 368(1): 344-351.
- Barroso WA, Moura NA (2016). Etnoconhecimento morfológico e ecológico de quelônios (*Podocnemis expansa* e *P. unifilis*) em uma comunidade ribeirinha. *Biota Amazônia*, 6(1): 91-95.
- Bradley MA, Barst BD, Basu N (2017). A review of mercury bioavailability in humans and fish. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(2): 1-20.
- Brasil (2019). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção da pecuária municipal 2018*. Rio de Janeiro: IBGE. 8p.
- Brasil (2013). Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013*. Brasília: ANVISA. 17p.
- Burger J, Jeitner C, Schneider L, Vogt R, Gochfeld M (2010). Arsenic, cadmium, chromium, lead, mercury, and selenium levels in blood of four species of turtles from the Amazon in Brazil. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 73(1): 33-40.
- Burger J, Gochfeld M (2009). Perceptions of the risks and benefits of fish consumption: Individual choices to reduce risk and increase health benefits. *Environmental Research*, 109(3): 343-349.
- Candido M, Tavares LS, Alencar ALF, Ferreira CM, Queiroz SRA, Fernandes AM, Sousa LRM (2019). Genome analysis of *Ranavirus frog virus 3* isolated from American Bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in South America. *Scientific Reports*, 9(1): 1-7.
- Cardoso AMC, Souza AJS, Menezes RC, Souza NF, Pereira WLA, Tortelly R (2018). Hepatic and renal lesions in free ranging black caimans (*Melanosuchus niger*) in the Brazilian Amazon for human consumption. *Acta Scientiae Veterinariae*, 46(1): 1-5.
- Carneiro CS, Mársico ET, Ribeiro ROR, Jesus EFO (2013). Total mercury bioaccumulation in tissues of carnivorous fish (*Micropogonias furnieri* and *Cynoscion acoupa*) and oysters (*Crassostrea brasiliana*) from Sepetiba Bay, Brazil. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 22(1): 96-102.
- Carvalho GS, Oliveira JR, Curi N, Schulze DG, Marques JJ (2019). Selenium and mercury in Brazilian Cerrado soils and their relationships with physical and chemical soil characteristics. *Chemosphere*, 218(1): 412-415.
- Chahid A, Hilali M, Benlhachimi A, Bouzid T (2014). Contents of cadmium, mercury and lead in fish from the Atlantic sea (Morocco) determined by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, 147(1): 357-360.

- Chowdhury S (2018). Human health risk from exposure to metals through fish and shellfish ingestion in Saudi Arabia. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 1(1): 1-19.
- Correia J, Cesar R, Marsico E, Diniz GTN, Zorro MC, Castilhos Z (2014). Mercury contamination in alligators (*Melanosuchus niger*) from Mamirauá Reservoir (Brazilian Amazon) and human health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(1): 13522-13527.
- Côrtes LHO, Zappes CA, Beneditto APMD (2019). Sustainability of mangrove crab (*Ucides cordatus*) gathering in the southeast Brazil: a MESMIS-based assessment. *Ocean & Coastal Management*, 179(1): 1-10.
- Costa FN, Korn MGA, Brito GB, Ferlin S, Fostier AH (2016). Preliminary results of mercury levels in raw and cooked seafood and their public health impact. *Food Chemistry*, 192(1): 837-841.
- Costa BGB, Lacerda LD (2014). Mercury (Hg) in fish consumed by the local population of the Jaguaribe River lower basin, Northeast Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(1): 13335-13341.
- Engwa GA, Ferdinand PU, Nwalo FN, Unachukwu MN (2018). Mechanism and health effects of heavy metal toxicity in humans. In: Karcioğlu O, Arslan B (Eds.). *Poisoning in the Modern World—New Tricks for an Old Dog? Turquia: Intech Open*, 1(1): 1-23.
- Ezemonye LI, Adebayo PO, Enuneku AA, Tongo I, Ogbomida E (2019). Potential health risk consequences of heavy metal concentrations in surface water, shrimp (*Macrobrachium macrobrachion*) and fish (*Brycinus longipinnis*) from Benin River. *Nigeria. Toxicology Reports*, 6(1): 1-9.
- Fantin C, Machado-Andrade PC, Pires-Farias I, Pereira DIM (2018). Mirroring-in nature? Comparison of kinship analysis in clutches of the endangered giant Amazon River turtle, *Podocnemis expansa* (Chelonia: Podocnemididae) in both captivity and natural habitat. *Latin american journal of aquatic research*, 46(2): 346-354.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture: sustainability in action*. 1 ed. FAO: Rome. 224p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). *Fishery and aquaculture statistics*. 1 ed. FAO: Rome. 108p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture: meeting the sustainable development goals*. 1 ed. FAO: Rome. 227p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of The United Nations (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture: contributing to food security and nutrition for all*. 1 ed. FAO: Rome. 200p.
- Ferreira RCP, Nunes DM, Shinozaki-Mendes RA, Pires AMA, Hazin FHV (2016). First record and preliminary information on the biology of the deep-sea African crab, *Chaceon gordonae* (Ingle, 1985) (Brachyura: Geryonidae) in Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(2): 392-400.

- Gabriel, FA, Hauser-Davis RA, Soares LOS, Mazzuco ACA, Rocha RCC, Saint'Pierre TD, Saggioro EM, Correia FV, Ferreira TO, Bernardino AF (2020). Metal contamination and oxidative stress biomarkers in estuarine fish following a mine tailing disaster. *bioRxiv*, 1(1): 1-28.
- Gaeta J, Cruz R (2019). Distribution and density of lobsters in the Brazilian oceanic ecosystem Rocas Atoll. *Crustaceana*, 92(3): 335-351.
- Higino PAS, Jesus TB, Carvalho CEV, Tonial LSS, Calado TCS (2012). Variação sazonal de mercúrio total em sururus (*Mytella charruana*, Orbigny, 1842) de uma Laguna Tropical, NE, Brasil. *Revista Virtual de Química*, 4(4): 393-404.
- Holland J (2019). Comércio global de pescado deve aumentar, mas as taxas de crescimento diminuirão. *Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão*, 6(1): 34-35.
- Iketani G, Aviz MAB, Maciel C, Valenti W, Schneider H, Sampaio I (2016). Successful invasion of the Amazon Coast by the giant river prawn, *Macrobrachium rosenbergii*: evidence of a reproductively viable population. *Aquatic Invasions*, 11(3): 277-286.
- Jabeen G, Javed M, Azmat H (2012). Assessment of heavy metals in the fish collected from the river Ravi, Pakistan. *Pakistan Veterinary Journal*, 32(1): 107-111.
- Jaiswal A, Verma A, Jaiswal P (2018). Detrimental effects of heavy metals in soil, plants, and aquatic ecosystems and in humans. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, 37(3): 183-197.
- Jara-Marini ME, Molina-García A, Martínez-Durazo A, Páez-Osuna F (2019). Trace metal trophic transference and biomagnification in a semiarid coastal lagoon impacted by agriculture and shrimp aquaculture. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(1): 5323-5336.
- Jesus LDF, Moreira MFR, Azevedo SV, Borges RM, Gomes RAA, Bergamini FPB, Teixeira LR (2018). Evaluación de los niveles de plomo y mercurio en población expuesta ambientalmente en la región centro-oeste de Brasil. *Caderno de Saúde Pública*, 34(2): 1-13.
- Kitahara SE, Okada IA, Sakuma AM, Zenebon O, Jesus RS, Tenuta Filho A (2000). Mercúrio total em pescado de água-doce. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 20(2): 267-273.
- Kvasnicka J, Stylianou KS, Nguyen VK, Huang L, Chiu WA, Burton Jr. GA, Semrau J, Jolliet O (2019). Human health benefits from fish consumption vs. risks from inhalation exposures associated with contaminated sediment remediation: dredging of the Hudson River. *Environmental Health Perspectives*, 127(12): 1-13.
- Lappano R, Malaguarnera R, Belfiore A, Maggiolini M (2017). Recent advances on the stimulatory effects of metals in breast cancer. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 457(1): 49-56.
- Lavradas RT, Hauser-Davis RA, Lavandier RC, Rocha RCC, Saint'Pierre TD, Seixas T, Kehrig HÁ, Moreira I (2019). Metal, metallothionein and glutathione levels in blue crab (*Callinectes* sp.) specimens from southeastern Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 107(1): 55-60.

- Li W, Wang WX (2019). In vivo oral bioavailability of fish mercury and comparison with in vitro bioaccessibility. *Science of The Total Environment*, 683(1): 648-658.
- Lima SAO, Andrade HA (2017). Variações nas capturas das lagostas vermelha (*Panulirus meripurpuratus*), verde (*Panulirus laevicauda* Latreille, 1817) e sapata (*Scyllarides brasiliensis* Rathbun, 1906) na costa de Pernambuco. *Boletim do Instituto da Pesca*, 43: 194-206.
- Lima DP, Santos C, Silva RS, Yoshioka ETO, Bezerra RM (2015). Heavy metal contamination in fish and water from Cassiporé River basin, State of Amapá, Brazil. *Acta Amazonica*, 45(4): 405-414.
- Lopes LR, Silva GLP, Gonçalves MLNS, Hereros MMA, Silva FL (2020). Dimensões associadas ao consumo de pescado na região metropolitana de Belém - PA. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 1(1): 1-19.
- Lopes IG, Oliveira RG, Ramos FM (2016). Profile of fish consumption by the Brazilian population. *Biota Amazônia*, 6(2): 62-65.
- Lopes IG, Oliveira RG, Ramo FM (2015). Perfil do consumo de peixes pela população brasileira. *Biota Amazônia*, 6(2): 62-65.
- Mai J, Cachot J, Brune J, Geffard O, Belles A, Budzinski H, Morin B (2012). Embryotoxic and genotoxic effects of heavy metals and pesticides on early life stages of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Marine Pollution Bulletin*, 64(12): 2663-2670.
- Mateus WD, Higuchi MIG (2018). Structural processes of management and conservation of wildlife at risk of extinction: Amazonian cases. *Sustentabilidade em Debate*, 9(3): 64-78.
- Maurya PK, Malik DS, Yadav KK, Kumar A, Kumar S, Kamyab H (2019). Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in River Ganga basin: Possible human health risks evaluation. *Toxicology Reports*, 6(1): 472-481.
- Mert R, Alas A, Bulut S, Özcan MM (2014). Determination of heavy metal contents in some freshwater Fishes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(11): 8017-8022.
- Miranda JF, Curi A, Lima HM (2020). Estimation of mercury released from an abandoned gold mine in Minas Gerais, Brazil. *Revista Escola de Minas*, 73(1): 109-117.
- Moiseenko TI, Kudryavtseva LP (2011). Trace metal accumulation and fish pathologies in areas affected by mining and metallurgical enterprises in the Kola region, Russia. *Environmental Pollution*, 114(2): 285-297.
- Molina MM, Yedra DM (2018). Evidence of overfishing and poor management of *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) in Lake Maracaibo, Venezuela. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 11 (1): 81-100.
- Montanhini MTM, Neto RM (2015). Changes in the microbiological quality of mangrove oysters (*Crassostrea brasiliensis*) during different storage conditions. *Journal of Food Protection*, 78(1): 164-171.

- Monteiro JV, Norões AKM, Araújo RCP, Araújo JÁ, Silva FP (2019). Metafrontier production and technical efficiency of shrimp farming in the States of Ceará and Rio Grande do Norte. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 57(4): 530-544.
- Moura VL, Costa BB, Lacerda LD (2018). Distribuição de mercúrio na fauna estuarina do rio Jaguaribe – CE. *Arquivos de Ciências do Mar*, 51(1): 49-56.
- Mozaffarian D, Lemaitre RN, Kuller LH, Burke GL, Tracy RP, Siscovick DS (2003). Cardiac benefits of fish consumption may depend on the type of fish meal consumed. *Circulation*, 107(10): 1372-1377.
- Nascimento DM, Alves RRN, Barboza RRD, Schmidt AJ, Diele K, Mourão JS (2017). Commercial relationships between intermediaries and harvesters of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) in the Mamanguape River estuary, Brazil, and their socio-ecological implications. *Economia Ecológica*, 131(1): 44-51.
- Negrini C, Castro CS, Bittencourt-Guimarães, AT, Frozza A, Ortiz-Kracizy R, Cupertino-Ballester EL. Stocking density for freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (Decapoda, Palaemonidae) in biofloc system. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(5): 891-899.
- Nogawa K, Sakurai M, Ishizaki M, Kido T, Nakagawa H, Suwazono Y (2017). Threshold limit values of the cadmium concentration in rice in the development of itai-itai disease using benchmark dose analysis. *Journal of Applied Toxicology*, 37(8): 962-966.
- Nogueira WV, Dias MIS, Hurtado FB, Pontuschka RB (2019). Exploração de crocodilianos no Brasil: sistemas de produção e recursos humanos. *Bioenergia em revista: diálogos*, 9(1): 09-32.
- Nogueira WV (2016). Caracterização da pesca lagosteira: impactos e empasses relacionados a proibição da atividade pesqueira. *Revista Científica Semana Acadêmica*, 89(1): 1-16.
- Nunes AJP, Sabry-Neto H, Silva FHP, Oliveira-Neto AR, Masagounder K (2019). Múltiplas refeições promove um melhor desempenho zootécnico em juvenis do *Litopenaeus vannamei*. *Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão*, 6(1): 22-25.
- Öksüz A (2012). Comparison of meat yield, flesh colour, fatty acid, and mineral composition of wild and cultured Mediterranean amberjack (*Seriola dumerili*, Risso 1810). *Journal of Fisheries Sciences.com*, 6(2): 164-175.
- Oliveira AGJ, Neto R (2019). Cultivo de camarão marinho em águas de baixa salinidade: uma realidade na carcinicultura com o camarão marinho *L. vannameina* Paraíba. *Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão*, 6(1): 53-56.
- Oliveira MGX, Pressinotti LN, Carvalho GS, Oliveira MCV, Moreno LZ, Matajira CEC, Bergamo AS, Aleixo VM, Veiga AC, Corsino ES, Christ APG, Sato MIZ, Moreno AM, Knöb T (2017).

- Arcobacter spp. in fecal samples from Brazilian farmed caimans (*Caiman yacare*, Daudin 1802), 49(1): 777-782.
- Oliveira SMB, Larizzatti JH, Favaro DIT (2002). Comportamento do mercúrio e outros elementos-traço em solos lateríticos da província aurífera do Tapajós. *Geochimica Brasiliensis*, 16(1): 1-14.
- Ossana NA, Eissa BL, Baudou FG, Castañé PM, Soloneski S, Ferrari L. Multibiomarker response in ten spotted live-bearer fish *Cnesterodon decemmaculatus* (Jenyns, 1842) exposed to Reconquista river water. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 133(1): 73-81.
- Pan K, Wang WX (2011). Mercury accumulation in marine bivalves: Influences of biodynamics and feeding niche. *Environmental Pollution*, 159(10): 2500-2506.
- Peixe BR - Associação Brasileira Da Piscicultura. *Anuário da Piscicultura 2019*. Peixe BR: Pinheiro, Brasil. 148p.
- Pereira AC, Malvasio A (2014). Síntese das características da ordem Crocodylia, fatores de influência em estudos populacionais e aspectos de seleção e uso de habitat para *Caiman crocodilus* e *Melanosuchus niger* no Estado do Tocantins, Brasil. *Biota Amazônia*, 4(1): 111-118.
- Pignati MT, Pezzuti JCB, Souza LC, Lima MO, Pignati WA, Mendes RA (2018). Assessment of mercury concentration in turtles (*Podocnemis unifilis*) in the Xingu River Basin, Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(1): 1-11.
- Pyle GG, Rajotte JW, Couture P (2005). Effects of industrial metals on wild fish populations along a metal contamination gradient. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 61(3): 287-312.
- Rajeshkumar S, Liu Y, Zhang X, Ravikumar B, Bai G, Li X (2018). Studies on seasonal pollution of heavy metals in water, sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Taihu Lake in China. *Chemosphere*, 191(1): 626-638.
- Rejomon G, Nair M, Joseph T (2010). Trace metal dynamics in fishes from the Southwest Coast of India. *Environmental Monitoring Assessment*, 167(4): 243-255.
- Repula CMM, Campos BK, Ganzarolli EM, Lopes MC, Quináia SQ (2012). Biomonitoramento de Cr e Pb em peixes de água doce. *Química Nova*, 35(5): 905-909.
- Ricketts P, Voutchkov M, Chan HM (2020). Risk-benefit assessment for total mercury, arsenic, selenium, and omega-3 fatty acids exposure from fish consumption in Jamaica. *Biological Trace Element Research*, 197(1): 262-270.
- Rios JHL, Marins RV, Oliveira KF, Lacerda LD (2016). Long-term (2002–2015) changes in mercury contamination in NE Brazil depicted by the mangrove oyster *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 97(1): 474-479.

- Rodrigues MA, Ortega I, D'Incao F (2019). The importance of shallow areas as nursery grounds for the recruitment of blue crab (*Callinectes sapidus*) juveniles in subtropical estuaries of Southern Brazil. *Regional Studies in Marine Science*, 25(1): 1-27.
- Sakamoto M, Itai T, Murata K (2017). Effects of prenatal methylmercury exposure: from Minamata disease to environmental health studies. *Nihon eiseigaku zasshi. Japanese journal of hygiene*, 72(3): 140-148.
- Salazar ISO, Cruz R (2019). Age and growth of the commercial spiny lobsters *Panulirus argus* (Latreille, 1804) and *Panulirus laevis* (Latreille, 1817) (Decapoda, *Palinuridae*) in Northeast Brazil: a review. *Crustaceana*, 92(7): 767-788.
- Santos AL, Medeiros JVF, Gault CE, Santos MJS, Souza ALA, Carvalho RW (2020). The fungus *Pestalotiopsis* sp., isolated from *Perna perna* (Bivalvia: *Mytilidae*) cultured on marine farms in Southeastern Brazil and destined for human consumption. *Marine Pollution Bulletin*, 153(1): 1-4.
- Santos RT, Neto FSC, Oliveira E, Carvalho Filho MAS, Vasconcelos EC (2018). Diagnóstico inicial da presença de metais pesados em sedimento e em organismos bentônicos da ilha de Itacolomi, PR. *Ambiência*, 14(3): 461-476.
- Santos FWB (2007). *Nutrição de peixes de água doce: definições, perspectivas e avanços científicos*. 1 ed. UFC: Rio de Janeiro, Brasil. 36p.
- Schneider L, Belger L, Burger J, Vogt RC, Ferrara CR (2010). Mercury levels in muscle of six species of turtles eaten by people along the Rio Negro of the Amazon Basin. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 58(1): 444-450.
- Siedlikowski M, Bradley M, Kubow S, Goodrich JM, Franzblau A, Basu N (2016). Bioaccessibility and bioavailability of methylmercury from seafood commonly consumed in North America: In vitro and epidemiological studies. *Environmental Research*, 149(1): 266-273.
- Severino-Rodrigues E, Soares FC, Graça-Lopes R, Souza KH, Canéo VOC (2009). Diversidade e biologia de espécies de Portunidae (Decapoda, Brachyura) no Estuário de Iguape, Ilha Comprida e Cananéia, São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto da Pesca*, 35(1): 47-60.
- Seves SM, Temme EHM, Brosens MCC, Zijp MC, Hoekstra J, Hollander A (2016). Sustainability aspects and nutritional composition of fish: evaluation of wild and cultivated fish species consumed in the Netherlands. *Climatic Change*, 135(1):597-610.
- Sfaciotte RAP, Vignoto VKC, Cardozo RM, Munhoz PM, Pinto AA, Wosiacki SR, Ferraro GC, Barbosa MJP (2015). Evaluation of microbiology and nutritive quality of exotic meats. *Ciências Agrárias*, 36(2): 839-848.

- Siqueira TV (2018). Aquicultura: a nova fronteira para aumentar a produção mundial de alimentos de forma sustentável. *Boletim regional, urbano e ambiental*, 17(1): 53-60.
- Soares LS, Vieira ACF, Fidler F, Nandi LG, Monteiro AR, Luccio MD (2020). volatile organic compounds profile obtained from processing steps of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) as perspective for food industry. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 1(1): 1-13.
- Sonoda DY, Shiota R (2012). Consumo de pescado no Brasil fica abaixo da média internacional. *Visão Agrícola*, 11(1): 1-3.
- Souza-Araujo J, Giarrizzo T, Lima MO (2015). Mercury concentration in different tissues of *Podocnemis unifilis* (Troschel, 1848) (Podocnemididae: Testudines) from the lower Xingu River – Amazonian, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 75(3): 106-111.
- Thoisay BDE, Hrbek T, Farias IP, Vasconcelos WR, Lavergne A (2006). Genetic structure, population dynamics, and conservation of black caiman (*Melanosuchus niger*). *Biological Conservation*, 1(33): 474-482.
- Vélez EJ, Lutfi E, Azizi SH, Perelló M, Salmerón C, Rieracodina M, Ibarz A, Fernández-Borràs J, Blasco J, Capilla E, Navarro I, Gutiérrez J (2017). Understanding fish muscle growth regulation to optimize aquaculture production. *Aquaculture*, 467(1): 28-40.
- Vieira LM, Nunes VS, Amaral MCA, Oliveira AC, Hauser-Davis RA, Campos RC (2011). Mercury and methyl mercury ratios in caimans (*Caiman crocodilus yacare*) from the Pantanal area, Brazil. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(1): 280-287.
- Vidal MF, Ximenes LF (2019). Produção de pescados na área de atuação do BNB. *Caderno Setorial do Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste*, 91(1): 1-18.
- Vilhena MPSP, Costa ML, Bêrredo JF, Sá GC, Costa AM, Santos EO, Brabo ES (2003). Mercúrio em sedimentos de mangues, caranguejos (*Ucides cordatus*) e cabelos humanos em torno dos manguezais do nordeste do Pará. *Geochimica Brasiliensis*, 17(2): 121-129.
- Virga RHP, Geraldo LP, Santos FH (2007). Avaliação de contaminação por metais pesados em amostras de siris azuis. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, 27(4): 779-785.
- Vitek T, Spurny P, Mares J, Zikova A (2007). Heavy metal contamination of the Loucka River water ecosystem. *Acta Veterinaria Brno*, 76(1): 149-154.

ÍNDICE REMISSIVO

A

ácidos fenólicos, 18, 20, 53, 65
aditivos alimentares, 46, 47, 48, 49, 53, 54, 65,
70, 71, 74
agentes de corpo, 46, 47, 48, 53, 65
anfíbios, 30, 85, 86
antifúngicos, 7, 20, 21, 23
antioxidantes, 18, 20, 21, 46, 48, 49, 50, 51, 52,
53, 54, 64, 65, 66, 67, 70
aquicultura, 17, 18, 25, 85, 87, 89
aromas, 48, 55, 65, 70

B

bioacumulação, 86, 92
biomagnificação, 92

C

cereais, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 21, 23, 39
consumo, 8, 16, 30, 31, 32, 33, 36, 37, 38, 39,
43, 47, 53, 59, 70, 75, 85, 86, 89, 93, 94, 98
contaminantes inorgânicos, 85, 93
corantes, 46, 59
crustáceos, 30, 85, 86, 87, 88, 92, 93

E

equinodermos, 30, 85, 93

F

fontes naturais emergentes, 49
fumonisinas, 7, 12, 15, 16, 22, 23, 31, 36, 41
Fusarium, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 21, 22, 23, 24,
25, 26, 27, 28, 29, 31, 40, 42, 45

I

ingestão, 8, 16, 20, 30, 36, 37, 38, 39, 47, 64,
71, 92, 93

M

metabólitos secundários, 12, 13, 31, 55
microalgas, 6, 7, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25,
48, 54
moluscos, 30, 85, 86, 92, 93

N

Nannochloropsis, 17, 18, 22, 23, 28, 29

P

países desenvolvidos, 31, 37
peixe, 30, 31, 33, 36, 37, 39, 93
pesca extrativa, 85, 87
proteína animal, 30

R

ração, 32, 33, 34, 36, 37, 39
regulamentação, 47, 74, 75
répteis, 30, 85, 86, 92, 93

S

Spirulina, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29,
60, 76, 80

T

tricotecnos, 7, 12, 13, 14, 22, 23, 32



 Wesclen Vilar Nogueira

Graduado em Engenharia de Pesca pela UNIR.
Mestre e doutorando em Engenharia e Ciência
de Alimentos pela FURG.

ISBN 978-658831904-8



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br