

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

Micotoxinas em pescado: ocorrência e risco de exposição

Recebido em: 13/07/2020

Aceito em: 16/07/2020

 10.46420/9786588319031cap2

Wesclen Vilar Nogueira^{1*} 

Jaqueline Garda Buffon² 

INTRODUÇÃO

Conforme definição do Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal, entende-se por pescado os peixes, crustáceos, moluscos, anfíbios, répteis, equinodermos e outros animais aquáticos usados na alimentação humana (Brasil, 2017). Estatísticas recentes da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação, mostram que a produção mundial de pescado em 2019 atingiu 172,6 milhões de toneladas (t), sendo os peixes as espécies mais produzidas, representando 66,6% (FAO, 2019). Deste total, 89% foram destinadas para consumo humano (e.g. congelado, fresco, enlatado ou seco) e 11%, a produção de produtos não alimentícios (e.g. farinha e óleo de peixe) (FAO, 2019).

Globalmente, o pescado representa cerca de 20% da ingestão média de proteína animal para quase 3,3 bilhões de pessoas (FAO, 2019). De modo geral, o pescado apresenta altos teores de proteínas, lipídios, minerais e vitamina (Tilami; Sampels, 2017; Vitorino et al., 2020). O consumo regular deste alimento está associado a redução do risco de morte por doenças cardíacas, redução do risco de acidente vascular cerebral e até ação anti-inflamatória devido a presença dos ácidos graxos poli-insaturados (e.g. ômega-3 e ômega-6) (Sartori; Amancio, 2012; Soares et al., 2019). Apesar desses benefícios, o pescado pode ser considerado fonte de exposição humana a uma variedade de contaminantes (Anh et al., 2017; Lavoie et al., 2018; Tongo et al., 2017; Pisciotto et al., 2020). A presença de compostos tóxicos em pescados e o risco associado à intoxicação humana ainda são pouco estudados (Gonkowski et al., 2018). Os estudos são limitados a contaminantes orgânicos como os metais (Naess et al., 2020;

¹ 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.

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.

* Autor de correspondência: wesclenvilar@gmail.com

Rejomon et al., 2010), ignorando o impacto da exposição humana a outros contaminantes tóxicos como as micotoxinas (Ladeira et al., 2017). Os efeitos ocasionados por estes compostos estão relacionados, particularmente, aos sistemas nervoso e hematopoiético, além dos rins e trato gastrointestinal, podendo causar efeitos cardiovasculares, citotóxicos, genotóxicos (Mamur et al., 2020), mutagênicos e cancerígenos (Ostry et al., 2017) para humanos e animais (IARC, 2002; Adam et al., 2017).

Em virtude da alta produção e consumo de peixe e os efeitos nocivos das micotoxinas, neste capítulo foram descritas informações sobre a ocorrência de micotoxinas em pescado, com foco em peixe. Além disso, considerando os maiores níveis de ocorrência para cada micotoxina, determinou-se o risco de exposição a população de países desenvolvidos, subdesenvolvidos e emergentes conforme classificação da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura.

MICOTOXINAS

Alguns gêneros fúngicos, especialmente os saprófitos (e.g. *Fusarium*, *Aspergillus* e *Penicillium*), quando submetidos a condições de estresse e oscilações nutricionais, sintetizam metabólitos secundários, as denominadas micotoxinas (Danial et al., 2020; Gambacorta et al., 2018; Krnjaja et al., 2020). A contaminação fúngica e síntese de micotoxinas pode ocorrer no campo, durante e após a colheita (Villa; Markaki, 2009), transporte, processamento e armazenamento de um determinado produto (Flores-Flores et al., 2015).

Dentre os fungos, espécies toxigênicas pertencentes aos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium* são os principais responsáveis pela síntese de micotoxinas (Marin et al., 2013). As principais micotoxinas produzidas por espécies do gênero *Aspergillus* são as aflatoxinas (AFs) dos grupos B₁, B₂, G₁ e G₂ (Razzaghi-Abyaneh et al., 2011). Dentre as AFs, a AFB₁ apresenta elevada ocorrência e altas concentrações incidentes em alimentos (Sun et al., 2015; Tola et al., 2015; Michelin et al., 2016; Tolosa et al., 2019; Christ-Ribeiro et al., 2020; Nogueira et al., 2020a), além de possuir potencial como agente carcinogênico para animais (IARC, 2002). Com relação ao gênero *Penicillium*, a ocratoxina A (OTA) é considerada uma das micotoxinas mais importantes (Schmidt-Heydt et al., 2012), apresentando efeito nefrotóxicos, teratogênicos (Tiemann et al., 2009) e carcinogênicos (Nogueira; Oliveira, 2006).

Para o gênero *Fusarium*, destacam-se as fumonisinas, micotoxina com alta incidência em gêneros alimentícios (Munawar et al., 2019). Seu alto potencial tóxico consiste na inibição da ceramida sintetase, enzima responsável pela síntese de esfingolipídios (Hedler; Silva, 2017). Outra micotoxina produzida por esse gênero fúngico é a zearalenona (ZEN), micotoxina com grande potencial estrogênico, imunossupressor e teratogênico em animais (Bennett; Klich, 2003). Além dessas, destacam-se a moniliformina (MON), eniatinas (ENs), beauvericina (BEA) (Afolabi et al., 2020; Witaszak et al., 2020)

e diversos compostos da classe dos tricotecenos, com destaque para nivalenol (NIV), deoxinivalenol (DON) e toxina T-2 (Pestka, 2007). Esses metabólitos apresentam elevada ocorrência em alimentos (Seus-Arraché et al., 2018), podendo ocasionar distúrbio do trato gastrointestinal de animais (Forsythe, 2013), além de efeitos imunotóxicos (Iqbal et al., 2014). Os tricotecenos ainda são considerados potentes inibidores da síntese proteica em eucarióticos, interferindo nas fases de iniciação, alongação e terminação, fator de pré-disposição a diversas doenças (Pestka, 2007).

LEGISLAÇÃO

A contaminação por micotoxinas é muito difundida (Gonçalves et al., 2016; Matejova et al., 2017). Devido aos efeitos que as micotoxinas podem oferecer a humanos e animais, é possível diminuir o risco de exposição pela implementação de limites máximo tolerável (LMT) de micotoxinas em produtos alimentícios em diferentes países. No entanto, não existe legislação para a presença desses metabólitos em pescado destinados ao consumo humano a nível mundial. Os níveis máximos legislados são estabelecidos apenas para rações e matérias-primas empregadas diretamente ou como ingrediente de rações destinadas a animais (FAO, 1997).

Em relação a ração para animais, as concentrações máximas de micotoxinas estabelecidas para os países do continente americano variam e são descritas pelo limite máximo apenas para aflatoxinas totais ($AFB_1 + AFB_2 + AFG_1 + AFG_2$) (10 a $20 \mu\text{g kg}^{-1}$) e AFB_1 (5 a $50 \mu\text{g kg}^{-1}$) (FAO, 1997). Para países da Europa, as legislações estabelecem níveis máximos para aflatoxinas totais (AFs) ($2,5$ a $10 \mu\text{g kg}^{-1}$), AFB_1 (1 a $50 \mu\text{g kg}^{-1}$) patulina - PAT ($30 \mu\text{g kg}^{-1}$), OTA (3 a $5 \mu\text{g kg}^{-1}$) e ZEN (100 a $1000 \mu\text{g kg}^{-1}$) (FAO, 1997). Na África, os níveis máximos são estabelecidos apenas para AFs (10 a $100 \mu\text{g kg}^{-1}$) e AFB_1 (5 a $50 \mu\text{g kg}^{-1}$) (FAO, 1997). Na Ásia, as legislações abrangem os níveis máximos para AFs ($30 \mu\text{g kg}^{-1}$), AFB_1 (10 a $1000 \mu\text{g kg}^{-1}$) e OTA ($300 \mu\text{g kg}^{-1}$). E, os países da Oceania também estabelecem apenas os níveis máximos para AFs ($5 \mu\text{g kg}^{-1}$) (FAO, 1997).

OCORRÊNCIA DE MICOTOXINAS EM PESCADO

De acordo com os órgãos regulamentadores, a presença de micotoxinas em concentrações inferiores aos limites regulamentados são considerados seguros, não apresentando efeito tóxico devido o processo de detoxificação do organismo (Cavret; Lecoecur, 2006; Gajecka et al., 2009; Upadhaya et al., 2010). Esses valores não seriam capazes de ocasionar efeitos adversos aos consumidores (FAO, 1997). Os estudos em produtos de origem animal estão concentrados, principalmente, em leite e derivados (Michlig et al., 2016; Marimón-Sibaja et al., 2018). Além disto, os relatos descrevem majoritariamente a presença de aflatoxina B₁ e o produto de sua metabolização, a aflatoxina M₁ (AFM₁) (Chavarría et al.,

2015; Ortiz-Martinez et al., 2016; Gonçalves et al., 2018; Michlig et al., 2016; Marimón-Sibaja et al., 2018). Entretanto, apesar de escassos, estudos relatam a ocorrência de micotoxinas em músculo de espécies ícticas conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Ocorrência de micotoxinas em músculo de peixes. Fonte: os autores.

Espécie	Micotoxina (FC - $\mu\text{g kg}^{-1}$)	País	Fonte
<i>Astyanax altiparanae</i>	AFB ₁ (6,64 - 58,47)	Brasil	Michelin et al. (2016)
<i>Cyprinus carpio</i> ,	OTA (<0,3 - 0,8) e	China	Sun et al. (2015)
<i>Carassius carassius</i> ,	ZEN (<0,4 - 0,5)		
<i>Ctenopharyngodon idella</i>			
<i>Limnothrissa miodon</i> ,	ZEN (29,2 - 50,7),	Zambia	Gonkowski et al. (2018)
<i>Stolothrissa tanganicae</i>	α -ZEL (<3,0 - 70,0), β -ZEL (<12,0 - 57,0)		
<i>Dicentrarchus labrax</i> ,	ENA ₁ (1,7 - 29,0),	Espanha	Tolosa et al. (2017)
<i>Sparus aurata</i> ,	ENB (1,3 - 103,0),		
<i>Salmo salar</i> ,	ENB ₁ (1,4 - 94,0)		
<i>Oncorhynchus mykiss</i>			

FC = faixa de contaminação. AFB₁ = aflatoxina B₁; ENA₁ = enniatina A₁; ENB = enniatina B; ENB₁ = enniatina B₁; OTA = ocratoxina A; ZEN = zearalenona; α -ZEL = α -zearalenol; β -ZEL = β -zearalenol.

A qualidade biológica de pescados em relação a presença de micotoxinas pode estar relacionada às características químicas das micotoxinas. Em estado puro, algumas micotoxinas são extremamente estáveis a altas temperaturas (150 °C) e resistentes ao frio, além de serem incolores, inodoras e não alterarem o sabor dos alimentos (Channaiah, 2019). Essas características permitem que esses metabólitos persistam no alimento mesmo após os processos usuais de industrialização (Pankaj; Shi; Keener, 2018). Desta forma, a presença de micotoxinas em músculo de peixe pode estar relacionado a transferência vertical na cadeia produtiva, da matéria-prima até a produção de ração e, alimentar, da ração para o peixe (Michelin et al., 2016).

Estudos de longo prazo em alimentos ao redor do mundo indicam que aproximadamente 70% dos alimentos utilizados para consumo humano ou animal podem estar contaminados com pelo menos uma micotoxina, porém, em grande maioria, várias micotoxinas podem ocorrer de forma simultânea

em uma única matéria-prima (Tabela 2). Além disso, outros estudos relatam elevadas concentrações de micotoxinas em rações destinadas a alimentação de espécies cultivadas (Tabela 3).

A problemática quanto a transferência de micotoxinas na cadeia produtiva de ração e alimentar para pescado está relacionada à bioacessibilidade e biodisponibilidade desses compostos (Martins et al., 2016; Noguera et al., 2020). A bioacessibilidade corresponde a fração de um determinado contaminante que é liberada da matriz alimentar e ficará disponível para absorção, a biodisponibilidade corresponde a fração bioacessível que alcançará a circulação sistêmica (Martins et al., 2016). Nogueira et al. (2020b) ao avaliar a bioacessibilidade *in vitro* de AFB₁ presente em ração contaminada naturalmente (16,5 µg kg⁻¹) verificaram que 85% do seu conteúdo está passível para ser absorvido pelos peixes. Thomas et al. (2018) observaram que a suplementação dietética para juvenis de catfish (*Clarias gariepinus*) com AFB₁ em concentrações de 2 µg kg⁻¹, inferiores as relatadas na Tabela 1, acarretaram reduções significativas ($p < 0,05$) nas médias de comprimento, ganho de peso e taxa de crescimento específico.

Tabela 2. Ocorrência de micotoxinas em ingredientes de origem vegetal utilizados na formulação de dietas para peixes.

Ingrediente	Micotoxinas (NMQ - $\mu\text{g kg}^{-1}$)	País	Fonte
Arroz	AFB ₁ (40,0), AFB ₂ (9,15), NIV (116,0), DAS (12,53), DON (115,0), FB ₁ (75,1), ZEN (114,0), T-2 (32,0) e OTA (24,0)	Paquistão	Majeed et al. (2018)
	ZEN (126,31)	Brasil	Savi et al. (2018)
Amendoim	AFB ₁ (1,34), AFB ₂ (0,27), AFG ₁ (0,95), ZEN (26,8), OTA (0,65)	China	Chen et al. (2016)
Aveia	NIV (500,0), T-2 (132,0)	Suíça	Martin et al. (2018)
Cevada	AOH (1689,0), AME (6812) e AT (3678)	Argentina	Castañares et al. (2019)
Milho	FB ₁ (846,59), OTA (26,71) e ZEN (109,14)	China	Zhang et al. (2018)
	BEA (1006,56), ENA (0,17), ENA ₁ (0,16) e ENB ₁ (0,32)	China	Han et al. (2018)
	DON (4300,7), 3-ADON (385,33) e 15-ADON (4811,06)	China	Yan et al. (2020)
Soja	DON (2,265) e ZEN (853,0)	Croácia	Pleadin et al. (2017)
	AFs (3430,0), OTA (125,0) e FB ₁ (4286,0)	África do Sul	Egbuta et al. (2016)
Trigo	OTA (34,75)	Argélia	Zebiri et al. (2018)
	DON (55,76), MON (21,55) e ENs (0,55)	Estados Unidos	Cowger et al. (2020)
	AOH (262)	Itália	Masiello et al. (2020)
	DON (6436,11), 3-ADON (149,49) e 15-ADON (24,46)	China	Yan et al. (2020)
	DON (1590,7) e ADONS (166,7)	Brasil	Seus-Arraché et al. (2018)

NMQ = nível máximo quantificado; 3-ADON = 3-acetil-deoxinivalenol; 15-ADON = 15-acetil-deoxinivalenol; ADONS = 3-acetil-deoxinivalenol + 15-acetil-deoxinivalenol; AFs = aflatoxinas totais (aflatoxina B₁ + aflatoxina B₂ + aflatoxina G₁ + aflatoxina G₂); AFB₁ = aflatoxina B₁; AFB₂ = aflatoxina B₂; AFG₁ = aflatoxina G₁; AME = alternariol monometil éter; AOH = alternariol; AT = ácido tenuazônico; BEA = beauvericina; DAS = diacetoxiscirpenol; DON = deoxinivalenol; ENs = eniatinas; ENA = enitiana A; ENA₁ = enitiana A₁; ENB₁ = enitiana B₁; FB₁ = fumonisina B₁; FB₂ = fumonisina B₂; MON = moniliformina; NIV = nivalenol; OTA = ocratoxina A; T-2 = toxina T-2; ZEN = zearalenona.

A ingesta de ração pode resultar na absorção de pequenas porções de micotoxinas e ocasionar efeitos acumulativo (Michelin et al., 2016) ou sinérgicos em curto ou longo prazo (Mohamed; Abd-Elsalam, 2020). Desta forma, mesmo que as espécies ícticas sejam expostas a micotoxinas de origem alimentar e os efeitos resultantes não sejam imediatos (Serviento et al., 2018), a possível retenção dessas toxinas em partes comestíveis pode representar um risco para o consumo humano (Michelin et al., 2016). As avaliações de exposição para humanos geralmente são baseadas em uma abordagem determinística obtendo os níveis estimados de ingestão diária (ID) para se avaliar o risco em consumir um alimento contendo micotoxinas (Pietsch, 2019).

Tabela 3. Ocorrência de micotoxinas em rações destinadas alimentação de peixes. Fonte: os autores.

Micotoxinas (FC - $\mu\text{g kg}^{-1}$)	País	Fonte
AFB ₁ (0,1 - 16,5), OTA (2,2 - 31,6) e ZEN (22,9 - 322,2)	Brasil	Nogueira et al. (2020b)
AFs (<0,5 - 32), DON (<10 - 396), FBs (<10 - 993), NIV (<10 - 53), OTA (<0,5 - 3), ZEN (<10 - 153) e 15-ADON (<10 - 139)	Índia, Indonésia, Myanmar, Taiwan, Tailândia	Gonçalves et al. (2018)
ADONS (22,5 - 63,2), AFs (2,4 - 126), DAS (0,7 - 1,1), FBs (69,1 - 755,4), DON (33,2 - 2834,6), NIV (45 - 732,5) e AOH (<2 - 91,3)	Quênia, Tanzânia, Ruanda, Uganda	Marijani et al. (2017)
FBs (0,148 - 2587)	México	Rodríguez-Cervantes et al. (2013)
AFs (52,5 - 150)	Egito	Hassan et al. (2011)

FC = faixa de contaminação; LOD = limite de detecção; 15-ADON = 15-acetil-deoxinivalenol; ADONS = 3-acetil-deoxinivalenol + 15-acetil-deoxinivalenol; AFs = aflatoxinas totais (aflatoxina B₁ + aflatoxina B₂ + aflatoxina G₁ + aflatoxina G₂); AFB₁ = aflatoxina B₁; AOH = alternariol; DAS = diacetoxiscirpenol; DON = deoxinivalenol; FBs = fumonisinas totais (fumonisina B₁ + fumonisina B₂ + fumonisina B₃); NIV = nivalenol; OTA = ocratoxina A; ZEN = zearalenona.

ESTIMATIVA DO RISCO DE EXPOSIÇÃO

A avaliação dos riscos à saúde associados ao consumo de peixe e exposição a micotoxinas é essencial para apoiar as ações destinadas a garantir um suprimento seguro de alimentos para a população (Marimón-Sibaja et al., 2018). A ingestão diária (ID) geralmente é calculada como $\mu\text{g kg}^{-1}$ de peso corporal por dia para cada micotoxina (Pietsch, 2019). Desta forma, a ID foi estimada assumindo os

menores níveis de contaminação como ingestão mínima e os maiores como ingestão máxima para cada micotoxina conforme os dados de ocorrência reportados na Tabela 2. Para os cálculos foi estabelecido uma massa média corporal de 60 kg (Pietsch, 2019) e consumo médio de pescado de 0,06, 0,03 e 0,02 kg dia⁻¹ para países desenvolvidos, subdesenvolvidos e emergentes, respectivamente (FAO, 2018). A ID foi estimada através da Equação 1.

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

A Tabela 4 resume a ingestão diária (ID) de micotoxinas estimada em termos de concentração mínima e máxima. Os maiores valores de ID apresentaram uma ordem decrescente para países desenvolvidos, subdesenvolvidos e emergentes. Assim, apesar dos benefícios do consumo de peixe, a população de países desenvolvidos estaria mais susceptível a contaminação por micotoxinas. No entanto, os valores de ID calculados foram inferiores aos estabelecidos pelo Comitê de Peritos e Aditivos Alimentares e Comité Científico da Alimentação da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2001; EC, 2002). Os valores determinados pelos comitês estabeleceram níveis de ingestão diária para humanos de 0,017 e 0,25 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de peso corporal para OTA e ZEN, respectivamente. Além disso, também é estabelecido uma ingestão diária de 0,1 $\mu\text{g kg}^{-1}$ para as toxinas T-2 e HT-2 juntas e 1 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de peso corporal para DON. Para as aflatoxinas e demais micotoxinas, nenhum nível de ingestão diária é estabelecido.

Entretanto, Michelin et al. (2016) avaliando exposição oral de lambari (*Astyanax altiparanae*) a AFB₁ (10; 20 e 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$) no Brasil, constatou que após 120 dias de experimento a concentração da micotoxina no músculo foi tão alta quanto os níveis da ração. Os autores concluíram e relatam que os limites para AFB₁ em rações no Brasil (50 $\mu\text{g kg}^{-1}$), não garantem segurança aos consumidores da espécie estudada. Os efeitos ocasionados por essa micotoxina são baseados na bioativação de metabólitos que podem interagir rapidamente com organelas celulares e macromoléculas e induzir a modificação de processos metabólicos normais e outros processos vitais. A biotransformação pelas monooxigenases (CYP) do citocromo P450 hepático produz AFB₁-8,9-epóxido, que está associada às propriedades de ligação ao DNA, composto relacionado à mutagenicidade e carcinogenicidade da AFB₁ (Vlastimil et al., 2014).

Desta forma, os limites máximos estabelecidos para AFB₁ em diversos países na América (5 a 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$), Europa (1 a 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$), África (5 a 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$) e Ásia (10 a 1000 $\mu\text{g kg}^{-1}$) não garantem 100% de segurança para os consumidores. Entretanto, apesar dessas constatações, evidencia-se a necessidade de investigação quanto a bioacessibilidade (Nogueira et al., 2020b) e biodisponibilidade da AFB₁ que pode variar de uma espécie para outra (Sun et al., 2015; Michelin et al., 2016; Tolosa et al., 2017). Além

disto, maior enfoque também deve ser dados a outras micotoxinas além da AFB₁, pois, apesar de não existir nenhum nível de ingestão diária estabelecido ou níveis toleráveis para sua ocorrência em matérias-primas a serem utilizadas diretamente ou como ingrediente para rações destinadas ao consumo de espécies animais, sua ocorrência em músculo é reportada neste estudo.

Tabela 4. Estimativa da Ingestão diária (ID) de micotoxinas.

Ingestão	Micotoxinas	ID $\mu\text{g kg}^{-1}$		
		Desenvolvidos	Subdesenvolvidos	Emergentes
Mínima	AFB ₁	0,006	0,003	0,002
	ENA ₁	0,001	0,0008	0,0005
	ENB	0,001	0,0006	0,0004
	ENB ₁	0,001	0,0007	0,0004
	OTA	0,0003	0,0001	0,0001
	ZEN	0,0004	0,0002	0,0001
	α -ZEL	0,003	0,001	0,001
	β -ZEL	0,012	0,006	0,004
Máxima	AFB ₁	0,058	0,029	0,019
	ENA ₁	0,029	0,014	0,009
	ENB	0,103	0,051	0,034
	ENB ₁	0,094	0,047	0,031
	OTA	0,0008	0,0004	0,0002
	ZEN	0,050	0,025	0,016
	α -ZEL	0,070	0,035	0,023
	β -ZEL	0,057	0,028	0,019

CONCLUSÃO

Os dados apresentados demonstraram existir poucas informações sobre a ocorrência de micotoxinas em pescado. Entretanto, a ocorrência de micotoxinas em matérias-primas (e.g. cereais) e ração destinada a alimentação de peixes é recorrente. A alta incidência em matérias-primas e rações representa uma preocupação devido o processo de transferência vertical na cadeia alimentar, pois a ingestão de pequenas quantidades desse metabólito pode apresentar risco para humanos e animais. Entretanto, a adoção de boas práticas agrícolas ou técnicas que visem a degradação destas toxinas durante toda a cadeia produtiva de grãos e fabricação de rações são alternativas para reduzir o processo de biodisponibilidade desses compostos. Além disso, a exposição pela implementação de limites máximo tolerável (LMT) de micotoxinas em produtos alimentícios em diferentes países pode reduzir os efeitos em animais, bem como o risco para humanos pelo consumo de produtos (e.g. peixe congelado, fresco, enlatado ou seco) oriundos da piscicultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam MAA, Tabana YM, Musa KB, Sandai DA (2017). Effects of different mycotoxins on humans, cell genome and their involvement in cancer. *Oncology Reports*, 37(3): 1321-1336.
- Afolabi CG, Ezekiel CN, Ogunbiyi AE, Oluwadairo OJ, Sulyok M, Krska R (2020). Fungi and mycotoxins in cowpea (*Vigna unguiculata* L) on Nigerian markets. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 13(1): 52-58.
- Anh H Q, Nam VD, Tri TM, Ha NM, Ngoc NT, Mai PTN, Anh DH, Minh NH, Tuan NA, Minh TB (2017). Polybrominated diphenyl ethers in plastic products, indoor dust, sediment and fish from informal e-waste recycling sites in Vietnam: a comprehensive assessment of contamination, accumulation pattern, emissions, and human exposure. *Environ Geochem Health*, 39(1): 935-954.
- Bennett JW, Klich M (2003). Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*, 16(1): 497-516.
- Brasil (2017). Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. *Decreto nº 9013 do Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal*. Brasília: MAPA. 76p.
- Castañares E, Pavicich MA, Dinolfo MI, Moreyra F, Stenglein AS, Patriarca A (2019). Ocorrência natural de micotoxinas de *Alternaria* em grãos de cevada para malte na principal região produtora da Argentina. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1(1): 1-29.
- Cavret S, Lecoecur S (2006). Fusariotoxin transfer in animal. *Food and Chemical Toxicology*, 44(3): 444-453.
- Channaiah, LH (2019). An overview of mycotoxicosis and human's health concerns: a mini-review. *Health Perspect*, 107(3): 469-472.

- Chavarría G, Granados-Chinchilla F, Alfaro-Cascante M, Molin A (2015). Detection of aflatoxin M₁ in milk, cheese and sour cream samples from Costa Rica using enzyme-assisted extraction and HPLC. *Food Additives and Contaminates Part B*, 8(2): 128-135.
- Chen F, Luan C, Wang L, Wang S, Shao L (2016). Simultaneous determination of six mycotoxins in peanut by high-performance liquid chromatography with a fluorescence detector. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(6): 1805-1810.
- Christ-Ribeiro A, Borba VS, Rodrigues MHP, Nogueira WV, Marimón-Sibaja KV, Badiale-Furlong E (2020). Personnel training and its role in generating information about demands to mitigate or mycotoxin problem. *Brazilian Applied Science Review*, 4(1): 176-185.
- Cowger C, Ward TJ, Nilsson K, Arellano C, McCormick SP, Busman M (2020). Regional and field-specific differences in *Fusarium* species and mycotoxins associated with blighted North Carolina wheat. *International Journal of Food Microbiology*, 323(1): 1-11.
- Danial AM, Medina A, Sulyok M, Magan N (2020). Efficacy of metabolites of a *Streptomyces* strain (AS1) to control growth and mycotoxin production by *Penicillium verrucosum*, *Fusarium verticillioides* and *Aspergillus fumigatus* in culture. *Mycotoxin Research*, 36(1): 225-234.
- EC - European Commission (2002). Committee on Food on *Fusarium* toxins. Part 6: Group evaluation of T-2 toxin, HT-2 toxin, nivalenol and deoxynivalenol. Bruxelles: EC. 12p.
- Egbuta MA, Mwanza M, Phoku JZ, Chilaka CA, Dutton MF (2016). Comparative analysis of mycotoxigenic fungi and mycotoxins contaminating soya bean seeds and processed soya bean from Nigerian markets. *Adv Microbiol*, 6(14): 1130-1139.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (1997). *Worldwide regulations for mycotoxins 1995 - a compendium FAO food and nutrition paper*. 1 ed. FAO, Roma, 64p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2001). *Safety evaluation of certain mycotoxins in food*. 1 ed. FAO, Rome. 712p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). *Fishery and aquaculture statistics*. 1 ed. FAO, Rome. 108p.
- Flores-Flores ME, Lizarraga E, Cerain ALD, González-Peñas E (2015). Presence of mycotoxins in animal milk: a review. *Food Control*, 53(1): 163-176.
- Forsythe SJ (2013). *Microbiologia da segurança dos alimentos*. 1 ed. Artmed: Porto Alegre. 602p.
- Gajecka M, Jakimiuk E, Zielonka L, Obremski K, Gajecki M (2009). The biotransformation of chosen mycotoxins. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 12(2): 293-303.
- Gambacorta L, Magistà D, Perrone G, Murgolo S, Logrieco AF, Solfrizzo M (2018). Co-occurrence of toxigenic moulds, aflatoxins, ochratoxin A, *Fusarium* and *Alternaria* mycotoxins in fresh sweet peppers (*Capsicum annuum*) and their processed products. *World Mycotoxin Journal*, 11(1): 159-174.

- Gonçalves KDM, Sibaja KVM, Feltrin ACP, Remedi RD, Garcia SO, Garda-Buffon J (2018). Occurrence of aflatoxins B₁ and M₁ in milk powder and UHT consumed in the city of Assomada (Cape Verde Islands) and Southern Brazil. *Food Control*, 93(1): 260-264.
- Gonçalves RA, Hofstetter U, Schatzmayr D, Jenkins T (2018). Mycotoxins in Southeast Asian aquaculture: plant-based meals and finished feeds. *World Mycotoxin Journal*, 11(2): 34-39.
- Gonçalves RA, Naehrer K, Santos GA (2016). Occurrence of mycotoxins in commercial aquafeeds in Asia and Europe: a real risk to aquaculture? *Reviews in Aquaculture*, 1(1): 1-18.
- Gonkowski S, Obremski K, Makowska K, Rytel L, Mwaanga ES (2018). Levels of zearalenone and its metabolites in sun-dried kapenta fish and water of Lake Kariba in Zambia - A preliminary study. *Science of the Total Environment*, 637(638): 1046-1050.
- Han X, Xu W, Zhang J, Xu J, Li F (2018). Natural occurrence of beauvericin and enniatins in corn- and wheat-based samples harvested in 2017 collected from Shandong Province, China. *Toxins*, 11(9): 1-12.
- Hassan AA, Hassan MA, El Shafei HM, El Ahl RMHS, El-Dayem RHA (2011). Detection of aflatoxigenic moulds isolated from fish and their products and its public health significance. *Nature and Science*, 9(9): 106-114.
- Hedler DL, Silva SCC (2017). Expressão gênica da enzima spl no fígado de tilápias-do-nilo desafiadas com níveis crescentes de fumonisinas por 30 dias. In: Centro Universitário de Maringá (Eds.). Encontro internacional de produção científica. Maringa: UniCesumar, 1(10): 1-5.
- IARC - International Agency for Research on Cancer (2002). *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. 1 ed. IARCpress, Lyon. 601p.
- Iqbal SZ, Nisar S, Asi MR, Jinap S (2014). Natural incidence of aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in chicken meat and eggs. *Food Control*, 43(1): 98-103.
- Krnjaja V, Mandić V, Bijelić Z, Lukić M, Petrović T, Stanković S, Nikolić M (2020). Natural toxigenic fungal and mycotoxin occurrence in maize hybrids. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 36(1): 75-85.
- Ladeira C, Frazzoli C, Orisakwe OE (2017) one health for non-communicable diseases in Africa: perspective for mycotoxins. *Frontiers in Public Health*, 1(1): 1-15.
- Lavoie RA, Bouffard A, Maranger R, Amyot M (2018). Mercury transport and human exposure from global marine fisheries. *Scientific Reports*, 8(1): 1-9.
- Majeed S, Boevre M, Saeger S, Rauf W, Tawab A, Habib F, Rahman M, Iqbal M (2018). Multiple mycotoxins in rice: occurrence and health risk assessment in children and adults of Punjab, Pakistan. *Toxins*, 10(2): 1-30.
- Mamur S, Ünal F, Yılmaz S, Erikel E, Yüzbaşıoğlu D (2020). Evaluation of the cytotoxic and genotoxic effects of mycotoxin fusaric acid. *Journal Drug and Chemical Toxicology*, 43(2): 149-157.

- Marijani E, Wainaina JM, Charo-Karisa H, Nzayisenga L, Munguti J, Gnonlonfin GJB, Kigadye E, Okoth S (2017). Mycoflora and mycotoxins in finished fish feed and feed ingredients from smallholder farms in East Africa. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 43(2): 169-176.
- Marimón-Sibaja KV, Garcia SO, Feltrin ACP, Remedi RD, Cerqueira MBR, Badiale-Furlong E, Garda-
Buffon J (2018). Aflatoxin biotransformation by commercial peroxidase and its application in contaminated food. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 94(4): 1187-1194.
- Marin S, Ramos AJ, Cano-Sancho G, Sanchis V (2013). Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 60(1): 218-237.
- Martin C, Schöneberg T, Vogelgsang S, Ferreira CSM, Morisoli R, Bertossa M, Bucheli TD, Mauch-
Mani B, Mascher F (2018). Responses of oat grains to *Fusarium poae* and *F. langsethiae* infections and mycotoxin contaminations. *Toxins*, 10(1): 1-18.
- Martins N, Barros L, Ferreira ICFR (2016). *In vivo* antioxidant activity of phenolic compounds: facts and gaps. *Trends in Food Science & Technology*, 48(1): 1-12.
- Masiello M, Somma S, Susca A, Ghionna V, Logrieco AF, Franzoni M, Ravaglia S, Meca G, Moretti A (2020). Molecular identification and mycotoxin production by *A. liernaria* species occurring on durum wheat, showing black point symptoms. *Toxins*, 12(1): 1-16.
- Matejova I, Faldyna M, Modra H, Blahova J, Palikova M, Markova Z, Franc A, Vicenova M, Vojtek L, Bartonkova J, Schonova P, Hostovsky M, Svobodova Z (2017). Effect of T-2 toxin-contaminated diet on common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Fish and Shellfish Immunology*, 60(1): 458-465.
- Michelin EC, Moassocco MM, Godoy SHS, Baldin JC, Yasui GS, Lima GG, Rottinghaus GE, Sousa RLM, Fernandes AM (2016). Carryover of aflatoxins from feed to lambari fish (*Astyanax altiparanae*) tissues. *Food Additives & Contaminants Part A*, 34(1): 265-272.
- Michlig N, Signorini M, Gaggiotti M, Chiericatti C, Basílico JC, Repetti MR, Beldomenico HR (2016). Risk factors associated with the presence of aflatoxin M₁ in raw bulk milk from Argentina. *Food Control*, 64(1): 151-156.
- Mohamed MA, Abd-Elsalam KA (2020). *Nanomycotoxicology: treating mycotoxins in the nano way*. 1 ed. Elsevier, Amsterdã. 378p.
- Munawar H, Karim K, Piletsky SA (2019). Utilization of synthetic antibody for fumonisin determination in feed and food. *Wartazoa*: 29(2): 51-60.
- Naess S, Aakre I, Lundebye AK, Ørnsrud R, Kjelleevold M, Markhus MW, Dahl L (2020). Mercury, lead, arsenic, and cadmium in Norwegian seafood products and consumer exposure. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 13(1): 1-9.

- Nogueira S, Oliveira MBPP (2006). Ochratoxin A prevalence in food and consequent food safety problems (in Portuguese). *Revista da Sociedade Portuguesa de Ciências da Nutrição e Alimentação*, 12(1): 69-75.
- Nogueira WV, Oliveira FK, Garcia SO, Marimón-Sibaja KV, Tesser MB, Garda-Buffon J (2020a). Sources, quantification techniques, associated hazards, and control measures of mycotoxin contamination of aquafeed. *Critical Reviews in Microbiology*, 46(1): 26-37.
- Nogueira WV, Oliveira FK, Marimón-Sibaja KV, Garcia SO, Kupski L, Souza MM, Tesser MB, Garda-Buffon J (2020b). Occurrence and bioaccessibility of mycotoxins in fish feed. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 1(1): 1-8.
- Ortiz-Martinez R, Valdivia-Flores AG, Luna-Lopez M, Quezada-Tristan T, Miranda-Castañeda CA, Rangel-Muñoz EJ, Cruz-Vazquez C (2016). Occurrence of aflatoxins in milk since dairy farms until consumers: an exploratory study. *Toxicology Letters*, 258(1): S87-S88.
- Ostry V, Malir F, Toman J, Grosse Y (2017). Mycotoxins as human carcinogens—the IARC Monographs classification. *Mycotoxin Research*, 33(1): 65-73.
- Pestka J (2007). Deoxynivalenol: toxicity, mechanisms and animal health risks. *Animal Feed Science and Technology*, 137(3): 283-298.
- Pietsch C (2019). Food safety: the risk of mycotoxin contamination in fish. In: Sabuncuoglu S (Eds.). *Mycotoxins and food safety*. Turquia: Intech Open, 1(1): 1-25.
- Pisciottano IDM, Mita GD, Gallo P (2020). Bisphenol A, octylphenols and nonylphenols in fish muscle determined by LC/ESI-MS/MS after affinity chromatography clean up. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 13(1): 1-9.
- Pleadin J, Frece J, Lešić T, Zadavec M, Vahčić N, Staver MM, Markov K (2017). Deoxynivalenol and zearalenone in unprocessed cereals and soybean from different cultivation regions in Croatia. *Food Additives & Contaminants*, 10(4): 268-274.
- Razzaghi-Abyaneh M, Shams-Ghahfarokhi M, Chang PK (2011). Aflatoxins: mechanisms of inhibition by antagonistic plants and microorganisms. In: Guevara-González RG (Eds.). *Aflatoxins - biochemistry and molecular biology*. Queretaro: InTech, 1(1): 255-282.
- Rejomon G, Nair M, Joseph T (2010). Trace metals dynamics in fishes from the southwest coast of India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167(4): 243-255.
- Rodríguez-Cervantes CH, Ramos AJ, Robledo-Marengo ML, Sanchis V, Marín S, Girón-Pérez MI (2013). Determination of aflatoxin and fumonisin levels through ELISA and HPLC, on tilapia feed in Nayarit, Mexico. *Food and Agricultural Immunology*, 24(3): 269-278.
- Sartori AGO, Amancio RD (2012). Pescado: importância nutricional e consumo no Brasil. *Segurança alimentar e nutricional*, 19(2): 83-93.

- Savi DG, Piacentini KC, Rocha LO, Carnielli-Queiroz L, Furtado BG, Scussel R, Zanoni ET, Ávila RAM, Corrêa B, Angioletto E (2018). Incidence of toxigenic fungi and ZEN ralenone in rice grains from Brazil. *International Journal of Food Microbiology*, 270(1): 5-13.
- Schmidt-Heydt M, Graf E, Stoll D, Geisen R (2012). The biosynthesis of ochratoxin A by *Penicillium* as one mechanism for adaptation to NaCl rich foods. *Food Microbiology*, 29(1): 233-241.
- Serviento AM, Brossard L, Renaudeau D (2018). An acute challenge with a deoxynivalenol-contaminated diet has short- and long-term effects on performance and feeding behavior in finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 96(12): 5209-5221.
- Seus-Arraché ER, Fontes MRV, Garda-Bufferon J, Badiale-Furlong E (2018). Trichothecenes in wheat: Methodology, occurrence and human exposure risk. *Journal of Cereal Science*, 82(1): 129-137.
- Soares LF, Ouboter P, Abdoel-Wahid F, Hindori-Mohangoo AD, Donald-Ottevanger M, Zijlmans C, Lichtveld M, Wickliffe J (2019). Omega-3 and omega-6 fatty acid profiles in select freshwater and marine species of fish in Suriname. *Environmental Epidemiology*, 3(1): 120-126.
- Sun W, Han Z, Aerts J, Nie D, Jin M, Shi W, Zhao Z, Saeger S, Zhao Y, Wu A (2015). A reliable liquid chromatography-tandem mass spectrometry method for simultaneous determination of multiple mycotoxins in fresh fish and dried seafoods. *Journal of Chromatography A*, 1387(1): 42-48.
- Tiemann U, Tomek W, Schneider F, Müller M, Pöhland R, Vanselow J (2009). The mycotoxins alternariol and alternariol methyl ether negatively affect progesterone synthesis in porcine granulosa cells in vitro. *Toxicology Letters*, 186(1): 139-145.
- Tilami SK, Sampels S (2017). Nutritional value of fish: lipids, proteins, vitamins, and minerals. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 15(1): 14-29.
- Tola S, Bureau DP, Hooft JM, Beamish FWH, Sulyok M, Krska R, Encarnação P, Petkam R (2015). Effects of wheat naturally contaminated with fusarium mycotoxins on growth performance and selected health indices of red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*). *Toxins*, 7(6): 1929-1944.
- Tolosa J, Barba FJ, Font G, Ferrer E (2019). Mycotoxin incidence in some fish products: QuEChERS methodology and liquid chromatography linear ion trap tandem mass spectrometry approach. *Molecules*, 24(3): 1-11.
- Tolosa J, Font G, Mañes J, Ferrer E (2017). Mitigation of enniatins in edible fish tissues by thermal processes and identification of degradation products. *Food and Chemical Toxicology*, 101(1): 67-74.
- Tongo I, Ogbeide O, Ezemonye L (2017). Human health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in smoked fish species from markets in Southern Nigeria. *Toxicology Reports*, 4(1): 55-61.
- Upadhaya SD, Park MA, Ha JK (2010). Mycotoxins and their biotransformation in the rumen: a review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(9): 1250-1260.

- Villa P, Markaki P (2009). Aflatoxin B₁ and ochratoxin A in breakfast cereals from athens market: occurrence and risk assessment. *Food Control*, 20(1): 455-461.
- Vitorino KC, Chambo APS, Coradini MF, Matiucci MA, Michka JMG, Goes ESR, Gonçalves AA, Souza MLR (2020). Cereal bars flavored with fish protein concentrate from different species. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 29(1): 65-72.
- Vlastimil D, Wu Q, Kuca K (2014). Metabolism of aflatoxin: key enzymes and interindividual as well as interspecies differences. *Archives of Toxicology*, 88(9): 1635-1644.
- Witaszak N, Waśkiewicz A, Bocianowski J, Stępień L (2020). Contamination of pet food with mycobiota and *Fusarium* mycotoxins—focus on dogs and cats. *Toxins*, 12(2): 130-144.
- Yan P, Liu Z, Liu S, Yao L, Liu Y, Wu Y, Gong Z (2020). Natural occurrence of deoxynivalenol and its acetylated derivatives in chinese maize and wheat collected in 2017. *Toxins*, 12(1): 1-15.
- Zebiri S, Mokrane S, Verheecke-Vaessen C, Choque E, Reghioui H, Sabaou N, Mathieu F, Riba A (2018). Occurrence of ochratoxin A in Algerian wheat and its milling derivatives. *Toxin Reviews*, 38(3): 1-6.
- Zhang X, Wang Z, Fang Y, Sun R, Cao T, Paudyal N, Fang W, Song H (2018). Antibody microarray immunoassay for simultaneous quantification of multiple mycotoxins in corn samples. *Toxins*, 10(415): 1-13.

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