



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
ESCOLA DE QUÍMICA E ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS

MICOTOXINAS EM RAÇÕES PARA PEIXES ONÍVOROS COMERCIALIZADAS NO
RIO GRANDE DO SUL E RONDÔNIA

WESCLEN VILAR NOGUEIRA

Profa. Dra Jaqueline Garda Buffon
Orientadora

Prof. Dr Marcelo Borges Tesser
Coorientador

RIO GRANDE - RS
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
ESCOLA DE QUÍMICA E ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS

MICOTOXINAS EM RAÇÕES PARA PEIXES ONÍVOROS COMERCIALIZADAS NO
RIO GRANDE DO SUL E RONDÔNIA

WESCLEN VILAR NOGUEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos.

Profa. Dra Jaqueline Garda Buffon
Orientadora

Prof. Dr Marcelo Borges Tesser
Coorientador

RIO GRANDE - RS

2019

Ficha catalográfica

N778m Nogueira,Wesclen Vilar.

Micotoxinas em rações para peixes onívoros comercializadas
no Rio Grande do Sul e Rondônia / Wesclen Vilar Nogueira. – 2019.
157 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande –
FURG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de
Alimentos, Rio Grande/RS, 2019.

Orientadora: Dra. Jaqueline Garda Buffon.

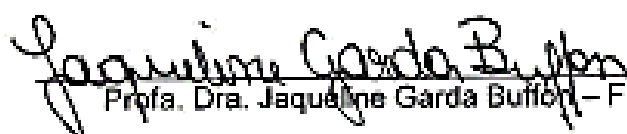
Coorientador: Dr. Marcelo Borges Tesser.

1. Aquicultura 2. Piscicultura 3. Ração 4. Bioacessibilidade
I. Buffon, Jaqueline Garda II. Tesser, Marcelo Borges III. Título.

CDU 639.3(816.5:811.1)

APROVAÇÃO

Dissertação defendida por Wesclen Vilar Nogueira e aprovada em 27 de fevereiro de 2019, pela Comissão Examinadora constituída pelos professores:


Profa. Dra. Jaqueline Garda Buffon - FURG


Profa. Dra. Janaina Fernandes de Medeiros Burkert - FURG


Profa. Dra. Rute Bianchini Pontuschka - UNIR


Dra. Larine Kupski - FURG

Aos meus pais, Cleide e Luiz,
e meu irmão Orleans,
pelo amor, apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Concluir esse trabalho foi um processo árduo! Afinal, “cai sem paraquedas em uma terra desconhecida”. E o que dizer dessa situação? Foi sensacional! Como é bom descobrir novos horizontes! Porém, é preciso ter persistência e acreditar que tudo depende única e exclusivamente de nossa capacidade. Precisamos apostar em nós mesmos e confiar na nossa força de luta. A vida a cada momento nos proporciona desafios e precisamos saber enfrentá-los, e se ao acaso surgirem vários, pense que eles existem para serem superados. Deixar-se se abater no primeiro equívoco, é ser desproporcional às conquistas merecidas, portanto, seja sempre persistente aos desafios, encare-os de frente usando sempre a perseverança, o otimismo e um belo sorriso no rosto como parceiros inseparáveis nessa batalha.

Primeiramente agradeço a **Deus**, sou eternamente grato por este presente maravilhoso que é viver.

Aos meus pais, **Cleide** e **Luiz**, cada um ao seu modo fez desse sonho uma realidade. Apenas um muito obrigado é pouco diante do que me proporcionam. Mãe, Pai, saibam que meu orgulho por vocês não possui fim. Essa conquista foi possível graças ao apoio incondicional de vocês. Minhas conquistas são para vocês!

À Professora Doutora **Jaqueline Garda Buffon**, minha orientadora, expresso a mais profunda gratidão e agradeço pelo incansável e permanente encorajamento, pelos ensinamentos, conselhos, paciência, compreensão e incentivos que me fizeram crescer. Te admiro e a tenho como exemplo de profissional e ser humano!

Ao Professor Doutor **Marcelo Borges Tesser**, meu co-orientador, agradeço pela confiança, paciência e por estar à disposição em me ajudar sempre que o procurei.

À minha ic **Francine Kerstner**, seu empenho foi essencial para conclusão deste trabalho. Você é uma excelente profissional. Obrigado pela dedicação e amizade.

Aos **membros da banca**, obrigado por aceitarem o convite e pelas contribuições para o trabalho.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior** – CAPES, pelo auxílio financeiro - código de financiamento 001.

Aos **professores e membros da secretaria** do PPGECA por todo esclarecimento e atenção. Em especial às professoras **Janaina e Leonor**, e à secretária **Amanda**.

Aos amigos que estiveram presentes ao longo deste período:

Fabiano, Thalitta, Mikelle e Satia, a graduação nos uniu, desde então não tenho palavras pra descrever o quão especiais vocês se tornaram em minha vida.

Mário Lima, obrigado por tudo meu amigo, apesar de não estar entre nós você segue vivendo na minha saudade, e com muito carinho na minha memória!

Grécica, obrigado pelos anos de amizade, respeito, e companheirismo em Rio Grande, e por compartilhar o mesmo sentimento relativo à conquista - um homen de verdade é aquele que conquista seus objetivos e metas através do seu próprio esforço e dedicação.

Rute e Bay, obrigado pelos anos de amizade, ensinamentos e conselhos.

Daiane Nogueira, você foi um grande presente que a vida me proporcionou, neste momento faltam palavras para te agradecer. Peço que esteja presente em minha vida para todo sempre!

Aos demais integrantes do Bonde do Caldeirão, **Gabriel e Sibeles**, obrigado pelos constantes sorrisos e conversas. Vocês são especiais. “E o que que tá acontecenu!” hahah

Priscila Muniz, minha baiana favorita! Obrigado pelos momentos compartilhados, conselhos e amparos. Oxênte, barril dobrado! haha

Guilherme Menegazzi, obrigado pelo bons momentos e parceria nesta caminhada.

Cleber e Shadai, obrigado pela convivência e apoio em Rio Grande. Cleber, em especial pela ajuda na manutenção e dessecagem dos peixes.

A todos os integrantes e ex-integrantes do Laboratório de Micotoxinas e Ciência de Alimentos. Durante esses dois anos, parte de vocês foram mais que amigos, foram minha família! Cada um com sua particularidade contribuiu para o fortalecimento do nosso intelecto e enriquecimento dos relacionamentos. Levarei um pouco de vocês para a vida. Acredito que essa é a mais bela

responsabilidade do ser humano, absorver o que há de especial naqueles que nos rodeiam, isso nos transforma em pessoas melhores.

Professora Doutora **Eliana**, obrigado pelas palavras que me traz ensinamentos, paz, otimismo, esperança, fé e gratidão... inspiração, e pelas xícaras de café toda manhã! Isso às vezes nos basta, afinal, tudo o que esquentava o coração, também alimenta a fé e fortalece a alma e a vida.

Ao trio **Anelise, Kelly e Larine**, obrigado por sempre estarem dispostas a me ajudar, pelos ensinamentos e bons momentos compartilhados.

Manuel, obrigado pelas trocas de ideias e apoio estatístico. Te admiro muito, é um exemplo de profissional para mim.

Karen, minha colombiana favorita! Obrigado por tudo e principalmente por me ensinar a levar a vida sem tanto mimimi.

Priscila Scaglioni, agradeço o carinho, apoio, dicas para a vida e baladinhas, afinal, as vezes precisamos descontrair.

Ana Feltrin, obrigado pelas sugestões e correções. Obrigado por ser esse anjo em forma de pessoa. Continue assim e nunca perca sua essência!

Marcy e Verônica, obrigado pelo apoio nesse período. Aprendemos juntos a superar os medos e adversidades que a vida acadêmica proporciona. Marcy, continue sendo esse poço de sinceridade que você é. Antes ser sincera que hipócrita!

Ao **Keven, Maicon e Rafael**, obrigado por cada momento. Tudo no laboratório era mais fácil quando vocês estavam presentes. Quem conviveu sabe, por favor voltem!

Xicão, o inacreditável ursão! haha Obrigado por nos divertir tanto, continue sendo esse ser especial que tu é irmãozinho.

Elisa Seus, obrigado pelo auxílio, orientações e conselhos.

Maristela, a melhor laboratorista do EQA! Obrigado por toda ajuda.

Gabriela Lemos, obrigado pelo sorriso frouxo que sempre trás contigo, elogios, força e momentos de descontração. Impossível mater a postura quando você e Ane estão juntas hahah

Taiana, obrigado pelas dicas, paciência, e ajuda!

Aos demais Buffonetes, **Eliza, Cintia, Rafaela, Carmem, Sabrina**, obrigado pelos ensinamentos.

A todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte deste processo de crescimento acadêmico, pessoal, profissional e espiritual. Meus sinceros agradecimentos!

Não é sobre ganhar, é sobre não desistir.
Se você tem um sonho, lute por ele...
Não é sobre quantas vezes você caiu e teve que levantar.
É sobre quantas vezes você fica em pé, levanta a cabeça e segue em frente.

Stefani J. A. Germanotta

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	17
LISTA DE TABELAS.....	19
CAPÍTULO I	21
RESUMO.....	23
ABSTRACT.	25
1 INTRODUÇÃO	27
2 OBJETIVOS	28
2.1 OBJETIVO GERAL.....	28
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
CAPÍTULO II.....	29
3 REVISÃO DA LITERATURA	31
3.1 PANORAMA DA PISCICULTURA NO BRASIL.....	31
3.2 SUPLEMENTAÇÃO ALIMENTAR.....	33
3.3 MICOTOXINAS	35
3.3.1 Aflatoxinas.....	36
3.3.2 Ocratoxina A.....	38
3.3.3 Zearalenona.....	39
3.3.4 Ocorrência de micotoxinas em alimentos e rações	40
3.4 BIOACESSIBILIDADE.....	45
CAPÍTULO III	47
ARTIGO I - MICOTOXINAS NA CADEIA PRODUTIVA PISCÍCOLA	49
RESUMO.....	51
ABSTRACT.	53
1 INTRODUÇÃO	55
2 MATÉRIA-PRIMA VEGETAL COMO VEÍCULO DE CONTAMINAÇÃO DE RAÇÕES NA PISCICULTURA.....	56
3 OCORRÊNCIA E TÉCNICAS PARA DETERMINAÇÃO DE MICOTOXINAS EM RAÇÕES.....	60
4 EFEITOS TÓXICOS DAS MICOTOXINAS SOBRE OS PEIXES	64

5 CONTROLE DE MICOTOXINAS EM RAÇÕES.....	71
6 CONCLUSÃO	74
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ARTIGO 2 –MICOTOXINAS EM RAÇÕES COMERCIAIS PARA PEIXES ONÍVOROS: OCORRÊNCIA E BIOACESSIBILIDADE.....	87
RESUMO.....	89
ABSTRACT.....	91
1 INTRODUÇÃO.....	93
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	94
2.1 MATERIAL	94
2.1.1 Amostras	94
2.1.2 Padrões analíticos e reagentes.....	94
2.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS	95
2.3 DETERMINAÇÃO DAS MICOTOXINAS.....	95
2.3.1 Extração	95
2.3.2 Quantificação e condições cromatográficas.....	96
2.4 DETERMINAÇÃO DA INGESTÃO DIÁRIA (ID)	96
2.5 BIOACESSIBILIDADE	97
2.5.1 Atividade enzimática.....	97
2.5.2 Método de digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	97
2.5.3 Determinação de AFB ₁ após processo de digestão.....	98
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	99
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	99
3.1 COMPOSIÇÃO DAS RAÇÕES.....	99
3.2 VALIDAÇÃO DE MÉTODO	100
3.2 OCORRÊNCIA DE MICOTOXINAS NAS RAÇÕES.....	102
3.3 CORRELAÇÃO ENTRE COMPOSIÇÃO QUÍMICA E OCORRÊNCIA DE MICOTOXINAS	106
4 CONCLUSÃO	110
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
CAPÍTULO IV	123
CONCLUSÃO GERAL	125
CAPÍTULO V.....	127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO II

REVISÃO DA LITERATURA

Figura 1 - Estruturas químicas das aflatoxinas.....	37
Figura 2 - Estrutura química da ocratoxina A	38
Figura 3 - Estrutura química da zearalenona.	39

CAPITULO III

ARTIGO 2 –MICOTOXINAS EM RAÇÕES COMERCIAIS PARA PEIXES ONÍVOROS: OCORRÊNCIA E BIOACESSIBILIDADE

Figura 1 – Cromatograma da eluição dos padrões de AFB ₁ (A) e OTA e ZEN (C), e das amostras de ração naturalmente contaminadas com AFB ₁ (B) e OTA e ZEN (D).	101
Figura 2 - Análise de componentes principais.	107

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

REVISÃO DA LITERATURA

Tabela 1 - Ocorrência de micotoxinas em produtos de origem agrícola no Brasil.....41

Tabela 2 - Ocorrência de micotoxinas em rações para peixes.....42

Tabela 3 – Níveis máximos de micotoxinas em rações e matérias-primas a serem utilizadas diretamente ou como ingrediente para rações destinadas ao consumo animal.....43

CAPÍTULO III

ARTIGO I - MICOTOXINAS NA CADEIA PRODUTIVA PISCÍCOLA

Tabela 1 - Ingredientes de origem vegetal empregados na formulação de dietas para peixes....588

Tabela 2 - Ocorrência de micotoxinas em ingredientes de origem vegetal utilizados na formulação de dietas para peixes.6060

Tabela 3 - Ocorrência e métodos de detecção de micotoxinas em rações para peixes.....62

Tabela 4 - Toxicidade aguda e doses letais (DL) de micotoxinas em peixes.....65

Tabela 5 - Efeitos tóxicos das micotoxinas em diferentes espécies de peixes.....66

Tabela 6- Adsorventes utilizados na alimentação de diferentes classes animais.....72

ARTIGO 2 –MICOTOXINAS EM RAÇÕES COMERCIAIS PARA PEIXES ONÍVOROS: OCORRÊNCIA E BIOACESSIBILIDADE

Tabela 1 - Composição química das rações analisadas.100

Tabela 2 - Recuperações obtidas para AFB₁, OTA e ZEA nas rações.....101

Tabela 3 - Ocorrência de micotoxinas em rações comercializadas nos estados do RS e RO.....102

Tabela 4 – Determinação da ingestão diária de micotoxinas para tilápia.....109

CAPÍTULO I

MICOTOXINAS EM RAÇÕES PARA PEIXES ONÍVOROS COMERCIALIZADAS NO RIO GRANDE DO SUL E RONDÔNIA

RESUMO

A aquicultura é a atividade agropecuária que mais cresce no Brasil e no mundo, possuindo produção superior a setores já consolidados como a pecuária de corte e leite. Um dos pontos críticos na atividade é a ração, por representar grande parte dos custos operacionais. O objetivo deste estudo foi avaliar a ocorrência de aflatoxina B₁, ocratoxina A e zearalenona em rações para peixes oriundas de regiões sul e norte do Brasil, relacionando o perfil de contaminação com sua composição química e bioacessibilidade. Para tanto, as rações foram caracterizadas quanto à sua composição química, as micotoxinas foram quantificadas, foi determinado o risco de exposição e bioacessibilidade de aflatoxina B₁. O método empregado para a caracterização química das rações seguiu os protocolos estabelecidos pela Association of Official Analytical Chemists para umidade, proteína, lipídeos, fibras e cinzas. Os carboidratos foram estimados por diferença. Para a extração das micotoxinas foi aplicado o método de QuEChERS, já para separação e quantificação foi utilizada cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) com detector fluorescência (FL). Todas as determinações foram realizadas em triplicata. A contaminação por micotoxinas foi verificada em 93,3% das amostras avaliadas, com nível máximo de 16,5 µg/kg para AFB₁, 31,6 µg/kg para OTA e 322,2 µg/kg para ZEN. Em 60% das rações as três micotoxinas foram detectadas, 13,3% apresentaram co-ocorrência de duas. Em relação à composição, foi verificado que quanto maior o conteúdo de proteína, menor a concentração detectada de AFB₁. Esta relação inversa também foi observada entre o conteúdo de carboidrato e a concentração de OTA e ZEN. Peixes alimentados com ração contendo os níveis mais elevados de contaminação detectados neste estudo estão expostos a riscos, seguindo uma ordem decrescente na concentração (µg/kg/dia) para alevino, juvenil e adulto. De acordo com os testes de bioacessibilidade *in vitro* para AFB₁ pode ser verificado que 85% desse metabólito presente na ração destinada a alimentação animal estava disponível para absorção pelos peixes.

Palavras-chave: Aquicultura. Piscicultura. Ração. Bioacessibilidade.

MYCOTOXINS IN FEEDS FOR OMNIVOROUS FISH MARKETED IN RIO GRANDE DO SUL AND RONDÔNIA

ABSTRACT

Aquaculture is the fastest growing agricultural activity in Brazil and in the world, with production superior to already consolidated sectors such as beef cattle and milk. One of the critical points in the activity is the ration, since it represents a large part of the operating costs. The objective of this study was to evaluate the occurrence of aflatoxin B₁, ochratoxin A and zearalenone in diets for fish from southern and northern Brazil, relating the contamination profile with its chemical composition and bioaccessibility. For this, the rations were characterized as to their chemical composition, the mycotoxins were quantified and bioaccessibility of aflatoxin B₁ was determined to define the risk of exposure. The method used for the chemical characterization of the rations followed the protocols established by the Association of Official Analytical Chemists for moisture, protein, lipids, fibers and ashes. Carbohydrates were estimated by difference. For the extraction of mycotoxins, the QuEChERS method was applied, and for the separation and quantification, high performance liquid chromatography (HPLC) with fluorescence detector (FL) was used. All determinations were performed in triplicate. Mycotoxin contamination was verified in 93.3% of the evaluated samples, with a maximum level of 16.5 µg/kg for AFB₁, 31.6 µg/kg for OTA and 322.2 µg/kg for ZEN. In 60% of the rations the three mycotoxins were detected, 13.3% presented co-occurrence of two. Regarding the composition, it was verified that the higher the protein content, the lower the detected concentration of AFB₁. This inverse relationship was also observed between the carbohydrate content and the concentration of OTA and ZEN. Fish fed with feed containing the highest levels of contamination detected in this study are exposed to significant risks, following a decreasing order of concentration (µg/kg/day) for juvenile, juvenile and adult fish. According to in vitro bioaccessibility tests for AFB₁ it can be seen that 85% of this metabolite present in the animal feed was available for absorption by fish.

Keywords: Aquaculture. Pisciculture. Ration. Bioaccessibility.

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura é considerada um dos segmentos de produção animal com desenvolvimento acelerado e contínuo em todo o mundo (FROEHLICH et al., 2017). Os indicadores de crescimento e produtividade são notáveis, em torno de 6,5% e 4,1%, respectivamente, para o período de 2010 a 2014 (FAO, 2016). O cultivo de peixes se destaca neste segmento de produção animal, somando 68% do volume de produção total da aquicultura mundial, sendo a maior parte desse valor representado por peixes de água doce, com 59% da produção, e faturamento superior a 53 milhões de dólares por ano (FAO, 2018).

Aliado ao crescimento do cultivo de peixes, e com o aumento na demanda por insumos, a indústria de ração cresceu em ritmo acelerado nas últimas décadas (SCHULTER; VIEIRA FILHO, 2017). A ração, é considerado o item que mais influencia no custo total de produção aquícola, com as despesas variando entre 70 e 80% (BARONE, 2017). Devido a isso, a qualidade da ração vem sendo motivo de preocupação, em especial por sua susceptibilidade ao ataque microbiano, principalmente por fungos, com destaque para os micotoxigênicos (BARBOSA et al., 2013), que, em condições de estresse, podem oportunizar a síntese de micotoxinas (TOLOSA et al., 2014). Assim, ressalta-se a importância do controle desses compostos dentro da cadeia produtiva (GONÇALVES et al., 2018).

Segundo Iheshiulor et al. (2011), grande parte da produção de cereais (25%), destinada ao consumo humano e animal está contaminada por toxinas de origem fúngica. Desta forma, o controle desses metabólitos em alimentos e rações é de grande importância (GONÇALVES et al., 2018), destacando para o setor piscícola a aflatoxina B₁ (AFB₁), a ocratoxina A (OTA) e a zearalenona (ZEN) por apresentarem ampla ocorrência em rações para peixes (BARBOSA et al., 2013) e elevada toxicidade para as espécies cultivadas (CHITARRINI et al., 2014).

A problemática central quanto à utilização de rações para peixes contendo micotoxinas está diretamente relacionada à bioacessibilidade desses compostos, ou seja, à quantidade que será liberada para a absorção no organismo do animal durante o processo digestivo. Mesmo que apenas uma pequena porção seja absorvida pelas células intestinais, essas passarão a exercer seus efeitos tóxicos (HAMDAN; MOYANO; SCHUHARDT, 2009), podendo estes ser carcinogênicos (KHANAFARI; SOUDI; MIRABOULFATHI, 2007), citotóxicos (PIETSCH et al., 2011),

neurotóxicos (KUBITZA, 2010), estrogênicos (BAKOS et al., 2013), nefrotóxicos (BALOGH et al., 2009), e ainda, imunossupressores (SELIM; EL-HOFY; KHALIL, 2014).

Desta forma, considerando a importância econômica da aquicultura como uma atividade agropecuária promissora e também no que diz respeito à qualidade da alimentação animal, além da escassez de informações sobre micotoxinas em rações destinadas à piscicultura no Brasil, é de fundamental importância que se estabeleçam técnicas eficientes que consigam detectar e monitorar a presença desses compostos em toda a cadeia de produção piscícola, principalmente na ração.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a ocorrência de aflatoxina B₁, ocratoxina A e zearalenona em rações para peixes onívoros oriundas das regiões Norte e Sul do Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Padronizar método de extração de aflatoxina B₁, ocratoxina A e zearalenona em rações para peixes onívoros.

Caracterizar a ração quanto à composição química, relacionando com o perfil de contaminação por micotoxinas.

Estimar a ingestão diária das micotoxinas para espécies que apresentem interesse zootécnicos e mercadológico no Brasil.

Determinar a bioacessibilidade de AFB₁ em peixes através de testes de digestibilidade *in vitro* da ração.

CAPÍTULO II

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 PANORAMA DA PISCICULTURA NO BRASIL

A aquicultura tornou-se uma atividade agropecuária com desenvolvimento notável em todo o mundo (SAMPAIO et al., 2016), principalmente em função do crescimento populacional e da busca dos consumidores por alimentos mais saudáveis (VÉLEZ et al., 2017). Dentro do setor produtivo da aquicultura, a piscicultura é o ramo com maior desenvolvimento e rentabilidade (IBGE, 2016). Neste contexto, o cultivo de peixes em cativeiro se estabelece como uma alternativa viável para continuar aumentando a oferta de pescado, visto que a pesca encontra-se com a produção estabilizada desde a década de 1990 (FAO, 2016).

Dentre os países com maior potencial para a aquicultura, o Brasil tem papel de destaque, em especial por sua disponibilidade de recursos hídricos, geológicos e edáficos, além de apresentar elevado número de espécies com interesse zootécnico e mercadológico (MACHADO; DRUMMOND; PAGLIA, 2008). Esses fatores são responsáveis por conferir ao Brasil o segundo lugar no ranking de produção aquícola latino-americana e o décimo quarto lugar no ranking de produção global, apresentando valores de produção superiores a setores já consolidados como a pecuária de corte e leite, produção de aves e suínos (COSTA et al., 2015; PEIXE BR, 2018).

Em relação aos índices de produção, dados do Anuário da Associação Brasileira de Piscicultura (PEIXE BR, 2018), apontaram que no ano de 2017, o Brasil foi responsável por uma produção superior a 691 mil toneladas de peixes. Com incremento produtivo de 8% em relação a 2016, apresentando aumento expressivo, com destaque para as regiões norte e sul.

O incremento produtivo é comandado pela região sul, juntos, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, contribuíram com mais 25,8% da produção nacional. A produção para a região está centrada principalmente no cultivo de tilápia, espécie que representa 51,7% da produção piscícola nacional, além de carpas e trutas, representando 4,6% da produção brasileira. O estado do Rio Grande do Sul apresenta-se como o terceiro maior produtor, com despesa superior a 22 mil toneladas de peixe para o ano de 2017 (PEIXE BR, 2018).

Dentre os estados da região norte, Rondônia se destaca na produção piscícola (ALMEIDA et al., 2017). A atividade, que teve início na década de 1980 como fonte alternativa de renda para a população local, apresentou despesa superior a 77 mil toneladas de peixes no ano de

2017, consolidando o estado de Rondônia como principal polo produtor de peixes nativos no país (BAPTISTA et al., 2018). A produção piscícola do Estado está centrada principalmente no cultivo de espécies regionais, como pirarucu, pacu, tambatinga, pintado, e principalmente o tambaqui (*Colossoma macropomum*) (PEIXE BR, 2018), segunda espécie mais cultivada no Brasil, com despesca de 136,99 mil toneladas para o ano de 2016, representando 27% do total de peixes produzidos, sendo o estado de Rondônia responsável por 50,8% do total da produção nacional e 63,7% da produção regional (IBGE, 2016).

O crescimento exponencial da piscicultura no Brasil está diretamente relacionado ao alto grau de transferência de mecanização e tecnologia para o setor aquícola nos últimos anos. Em especial para os sistemas de produção e desenvolvimento de planos alimentares e nutricionais adequados, permitindo que as espécies cultivadas apresentem melhor desenvolvimento zootécnico nas diferentes fases de cultivo (BOSCOLO et al., 2011).

Em relação aos sistemas de produção, vale salientar que este é composto por um conjunto de mecanismos sistemáticos relacionados à criação ou cultivo de uma espécie qualquer, definidos por alguns fatores de produção, sendo estes interligados por um processo de gestão cooperada (MACHADO, 2015). Um sistema de produção agropecuário é classificado levando em consideração sua complexidade e o grau de interação entre os sistemas de criação (HIRAKURI et al., 2012). De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 413/2009, os sistemas de criação piscícolas brasileiros são classificados como (BRASIL, 2009):

i) sistema extensivo: possui como característica principal a alimentação natural, apresentando densidade de estocagem inferior a 2.000 peixes/ha, não apresenta monitoramento da qualidade de água, e os viveiros não possuem planejamento quanto à construção, apresentando dimensões variadas.

ii) sistema semi-intensivo: possui como característica principal a maximização da produção primária por adubação e suplementação alimentar com subprodutos como grãos e frutas, ou até com ração comercial, apresenta densidade de estocagem variando de 5.000 a 20.000 peixes/ha, com monitoramento esporádico da qualidade da água, sendo os viveiros construídos com planejamento prévio para produção de peixes.

iii) sistema intensivo: possui como característica principal o uso de rações balanceadas para alimentação dos peixes em todas as fases de desenvolvimento, apresenta densidade de estocagem variando de 10.000 a 100.000 peixes/ha, com monitoramento total da qualidade de água,

sendo os viveiros construídos com planejamento prévio para a produção de peixes. Geralmente esse sistema é destinado ao monocultivo de espécies com interesse zootécnico.

iv) sistema superintensivo: possui como característica principal o uso de rações nutricionalmente completas, devendo apresentar estabilidade na coluna d'água, sendo esta a principal fonte de alimento dos peixes em todas as fases de desenvolvimento. Apresenta baixa renovação de água nos viveiros, sendo a densidade de estocagem expressa por biomassa/m³, e não por m².

Desta forma, uma maior produção e retorno econômico da atividade piscícola está diretamente relacionada ao sistema de cultivo adotado e no desenvolvimento de planos alimentares e nutricionais adequados (MORO; RODRIGUES, 2015). Os alimentos utilizados nesses planos deverão ser altamente digestíveis e em proporções que permitam o máximo de aproveitamento (JOBLING; GOMES; DIAS, 2001). Além disso, outros fatores são primordiais para o desenvolvimento da atividade, tais como o conhecimento da genética (NUNES et al., 2017), métodos reprodutivos (NOBREGA et al., 2017) e qualidade da água (LIU et al., 2016).

3.2 SUPLEMENTAÇÃO ALIMENTAR

Dentro da atividade piscícola, a alimentação é considerada uma das atividades de maior importância (POHLENZ; GATLIN III, 2014). Durante muitos anos esta área esteve concentrada apenas em estabelecer os índices nutricionais necessários para o crescimento das espécies com potencial zootécnico (NRC, 2011). Porém, com a consolidação da piscicultura como atividade econômica lucrativa (LASNER et al. 2017), os estudos referentes à alimentação passaram a concentrar seu objetivo na elaboração de dietas completas visando alcançar a taxa de crescimento ideal (MELLO et al., 2016), manter a saúde dos animais (KIRON, 2012), suas funções fisiológicas e reprodutivas (PEZZATO et al., 2004), contribuindo para a otimização da produção (SALAMA; MURRAY, 2011) e oferta de produtos seguros ao consumidor (CARVALHO, 2011).

No processo produtivo estabelecido pela piscicultura moderna, o fornecimento de proteínas, carboidratos, lipídios, fibras, vitaminas e minerais se estabelece na forma de ração (SCORVO FILHO et al., 2010). A formulação das rações é flexível, baseada na mistura de vários compostos, o balanço dos seus componentes deve ser adequado, ofertando aos peixes energia para manutenção de suas funções metabólicas, locomoção, reprodução e transformação da ração

ofertada em tecido muscular (FREITAS et al., 2016). A energia propicia capacidade de trabalho para todo organismo animal, sendo o processo biológico de sua utilização determinado como metabolismo, em contrapartida, a proporção em que a energia é utilizada é chamada taxa metabólica. Esta última situação em peixes é influenciada por fatores relativos à espécie, idade, temperatura e parâmetros químicos da água (BALDISSEROTTO, 2013).

A energia liberada pelo metabolismo das rações em peixe assume as formas de energia livre, usada para manutenção das funções fisiológicas, e energia calórica, utilizada para a regulação da temperatura corporal (LOGATO, 2012). Todavia, os peixes não possuem um mecanismo interno para regular sua temperatura corporal, são pecilotérmicos, não fazendo uso desta última forma de energia liberada (LU et al., 2019). Apresentando assim, grande vantagem na conversão e transformação do alimento oferecido em proteínas de alto valor nutritivo (STONEHAM et al., 2018).

Desse modo, as fontes de energia presentes nos alimentos são carboidratos, proteínas, gorduras. As fibras não são digeridas pelos peixes, por isto não apresentam grande importância, entretanto, estão presentes em praticamente todos os ingredientes utilizados para a formulação de alimentos para peixes (LANNA et al., 2004). Na produção de ração servem principalmente para conferir volume e aglutinação das rações (SILVA et al., 2017).

Dentre os principais componentes utilizados como fonte energética para os peixes, os lipídeos, a proteína e os carboidratos são os mais importantes para manutenção dos seus processos metabólicos, locomoção, reprodução e transformação da fonte energética ofertada em tecido muscular. Desta forma, os alimentos podem ser divididos em dois grandes grupos, alimentos proteicos e energéticos (FINN; FYHN, 2010).

Os alimentos proteicos apresentam balanço aminoacídico elevado e alta palatabilidade, podendo estes ser de origem vegetal (e.g. farelos de soja, de algodão, de amendoim, de girassol, de canola, grãos de destilarias e glúten de milho), ou de origem animal (farinhas de sangue, penas, carne, ossos, subprodutos lácteos, levedura, vísceras de frango e resíduo de pescado) (MORO; RODRIGUES, 2015). Dentre os alimentos energéticos, o milho é apresentado como a principal fonte de amido. Devido à sua alta palatabilidade e disponibilidade no mercado, é a principal fonte de carboidratos, estabelecendo-se como componente essencial para a expansão e aglutinação, além de conferir maior fluabilidade às rações. Porém, no processo de fabricação podem ser empregadas outras fontes de amido como sorgo, milheto, farelo de arroz e trigo (LOGATO, 2012;

MORO; RODRIGUES, 2015). Fontes de alimentos proteicos e energéticos também são utilizadas como fontes de minerais. Apesar de os peixes possuírem a habilidade de absorver alguns elementos inorgânicos da água, as dietas necessitam de suplementação mineral, pois sua falta implica na perda de apetite, em interferências nos parâmetros zootécnicos, mortalidade e até mesmo em deformidades (GASCO et al., 2018).

A proporção de cada ingrediente pode variar no processo de formulação de ração, uma vez que os peixes apresentam diferentes hábitos alimentares (BARROS; ZUANON; DEUS, 2017). Alguns ingredientes como o milho e a soja, por exemplo, podem ser incluídos em proporções de 5 a 17% e de 35 a 53%, respectivamente, para espécies onívoras (DAIRIKI; SILVA, 2011). O trigo pode ser incluído em uma proporção de 15 a 27% nas rações para peixes carnívoros, enquanto que para herbívoros pode variar de 20 a 70% (BERNTSEN; JULSHAMN; LUNDEBYE, 2010).

No entanto, para a inclusão de qualquer alimento no processo de fabrico de ração, deve ser implementado um monitoramento constante da qualidade e composição química desses ingredientes, uma vez que esses podem apresentar contaminantes físicos, químicos e biológicos (KUBITZA, 2010). A contaminação biológica se destaca em decorrência da presença de fungos, em especial os produtores de micotoxinas, que podem afetar toda cadeia produtiva (BAPTISTA; HORII; BAPTISTA, 2004).

3.3 MICOTOXINAS

Algumas espécies de fungos filamentosos quando submetidos a condições de estresse e oscilações nutricionais, sintetizam metabólitos secundários denominados micotoxinas (MARIJANI et al., 2017). Esses compostos se caracterizam por sua ampla faixa de toxicidade, por apresentar baixa massa molecular (KÖPPEN et al., 2010), termoestabilidade (ELSANHOTY et al., 2014), não apresentar imunogenicidade (MAZIERO; BERSOT, 2010) e serem nocivos à saúde de humanos (ALGÜL; KARA, 2014) e animais (MICHELIN et al., 2016).

A contaminação fúngica de alimentos pode ocorrer no campo (FERRARI FILHO, 2011), durante e após a colheita (VILLA; MARKAKI, 2009), transporte, processamento e armazenamento de um determinado produto (PETZINGER; WEIDENBACH, 2002), ocasionando um risco à segurança do alimento (SPEIJERS; SPEIJERS, 2004). Dentre os fungos, espécies

toxigênicas pertencentes aos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium* são os principais responsáveis pela síntese de micotoxinas (MARIN et al., 2013).

Aproximadamente 300 compostos são reconhecidos como micotoxinas, e uma vez produzidas são estáveis e podem acarretar perdas referentes à qualidade nutricional e tecnológica dos produtos (SCAGLIONE, 2017). Dentre as micotoxinas mais comumente detectadas em produtos alimentícios estão as aflatoxinas, a ocratoxina A, as fumonisinas, a zearalenona e os Tricotecenos (FOROUD; EUDES, 2009; MEERDINK, 2002). As propriedades químicas e biológicas dessas micotoxinas são diferentes e os seus efeitos tóxicos são extremamente variáveis (BAKOS et al., 2013; BALOGH et al., 2009; KHANAFARI; SOUDI; MIRABOULFATHI, 2007; KUBITZA, 2010; PIETSCH et al., 2011; SELIM; EL-HOFY; KHALIL, 2014).

Segundo Iheshiulor et al. (2011), grande parte da produção de cereais (25%), destinada ao consumo humano e animal está contaminada por toxinas de origem fúngica. Desta forma, o controle desses metabólitos em alimentos e rações é de grande importância (GONÇALVES et al., 2018), destacando para o setor piscícola a aflatoxina B₁ (AFB₁), a ocratoxina A (OTA) e a zearalenona (ZEN) por apresentarem ampla ocorrência em rações para peixes (BARBOSA et al., 2013) e elevada toxicidade para as espécies cultivadas (CHITARRINI et al., 2014).

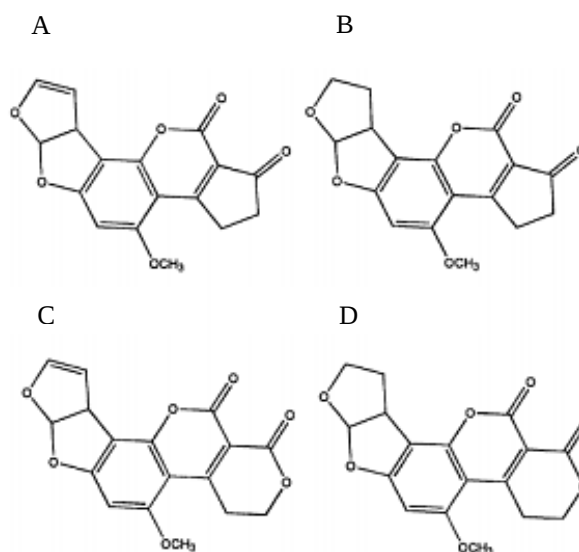
3.3.1 Aflatoxinas

Dentre as principais micotoxinas produzidas por espécies do gênero *Aspergillus*, tem-se as aflatoxinas (AFLAs) dos grupos B₁, B₂, G₁ e G₂ (RAZZAGHI-ABYANEH; SHAMS-GHAHFAROKHI; CHANG, 2011), sendo a AFB₁ de maior importância pois apresenta maior ocorrência e em altas concentrações em alimentos contaminados. As aflatoxinas apresentam estruturas similares entre si, formando um único grupo de compostos heterocíclicos altamente oxigenados. Suas estruturas apresentam um núcleo cumarínico fundido com um anel bifurano, além de um anel pentanona ou 6-lactona (SHI et al., 2017).

As AFLAs do grupo G diferem quimicamente do grupo B pela presença de um anel 3-lactona no lugar do anel ciclopentanona. Além disso, uma dupla ligação 8,9 é encontrada na forma de éter vinil no anel terminal furano nas aflatoxinas B₁, G₁ e G₂ (Figura 1) (JAIMEZ et al., 2000). As iniciais B (*blue*) e G (*green*) estão relacionados ao fato de apresentarem fluorescência azul e verde, respectivamente, quando observadas sob luz ultravioleta (SILVA, 2009). A AFB₁ é

considerada a mais tóxicas das aflatoxinas, apresentando alto poder carcinogênico. A carcinogênese hepática representa o mais importante efeito de toxicidade crônica desta micotoxina para muitas espécies animais, incluindo peixes, aves, mamíferos (MONSON et al., 2016; RAWAL; KIM; COULOMBE, 2010).

Figura 1 - Estruturas químicas das aflatoxinas.



A = AFB₁; B = AFB₂; C = AFG₁; D = AFG₂

Fonte: Zain (2011).

As AFLAs são sintetizadas principalmente por espécies do gênero *Aspergillus*. Como característica biossintética, o *A. flavus* só produz aflatoxinas do grupo B, enquanto que o *A. parasiticus* sintetiza as dos grupos B e G. A contaminação por esses metabolitos pode ocorrer no campo ou durante armazenagem e após o processamento (ONO et al., 2006). Fatores relativos ao genótipo da planta hospedeira, condições ambientais, danos mecânicos, além de condições inadequadas de secagem e armazenamento dos produtos podem contribuir para a síntese desses metabolitos (PATERSON; LIMA, 2010).

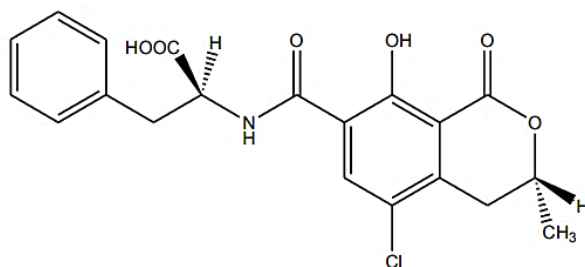
Em estado puro, as AFLAs são extremamente estáveis a altas temperaturas (> 200 °C) e não são afetadas pelo frio, além de serem incolores, inodoras e não alterarem o sabor dos alimentos (KWIATKOWSKI; ALVES, 2002). Dentre essas características, a estabilidade térmica propicia a síntese desses metabolitos em uma ampla variedade de produtos alimentares, principalmente em grãos e cereais produzidos nos trópicos úmidos e subtropicais, como o milho, o

sorgo, o arroz, o trigo, o amendoim, a soja, o girassol e o algodão (BHATNAGAR-MATHUR, et al., 2015).

3.3.2 Ocratoxina A

A ocratoxina A (OTA) é um pentacetídeo formado por uma isocumarina ligada a uma fenilalanina, além de possuir em sua estrutura uma molécula de cloro, principal responsável por sua toxicidade (Figura 2). Essa micotoxina é sintetizada principalmente por fungos do gênero *Aspergillus* e *Penicillium* (ONORIO et al., 2011; PATTONO; GALLO; CIVERA, 2011). No entanto, os gêneros fúngicos citados se desenvolvem em condições distintas. Em regiões de clima temperado a OTA é sintetizada por fungos do gênero *Penicillium*, já em regiões de clima tropical, o gênero *Aspergillus* é responsável pela síntese deste metabólito (SCHMIDT-HEYDT et al., 2012).

Figura 2 - Estrutura química da Ocratoxina A



Fonte: Andrade (2016).

A OTA já foi detectada em uma ampla gama de alimentos como frutos secos, leguminosas e bebidas, entretanto, ocorre com maior frequência em produtos derivados de cereais e em café (CORONEL et al., 2012). A contaminação de alimentos por essa micotoxina pode ocorrer antes da colheita ou, de forma mais frequente, durante o armazenamento. Assim, o controle relativo à presença deste composto nessas etapas deve ser realizado com a aplicação de protocolos de prevenção, tendo como objetivo reduzir a concentração desse metabólito presente nos alimentos para níveis aceitáveis (DUARTE; PENA; LINO, 2010).

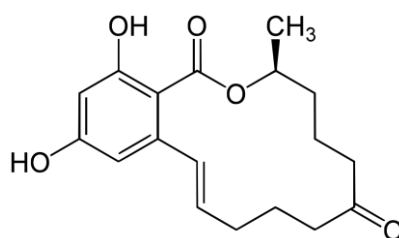
Por apresentar alta estabilidade à acidez e a altas temperaturas (KHOURY; ATOUI, 2010), pode persistir no alimento mesmo após este passar por diversos processamentos utilizados na produção de alimentos (RIBEIRO, 2007), sendo necessárias temperaturas superiores a 250 °C durante vários minutos para reduzir a sua concentração (EFSA, 2006).

Por apresentar uma ampla ocorrência em alimentos, os estudos referentes aos efeitos desse metabolito em organismos vivos se intensificaram, levando a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer a classificar a ocratoxina A (grupo 2B), como um possível carcinógeno humano (IARC, 1993). Seus efeitos são variados, possuindo características neurotóxicas (SAVA et al., 2006), genotóxicas (TOZLOVANU et al., 2006), carcinogênicas (BROWN; ODELL; MANTLE, 2007), mutagênicas (PALMA et al., 2007), teratogênicas (WANGIKAR et al., 2007) e imunossupressoras (ROSSIELLO et al., 2008) em animais e humanos.

3.3.3 Zearalenona

A zearalenona (ZEN) é uma micotoxina descrita como uma lactona do ácido fenólico resorcílico que apresenta ligação insaturada no C1 e C2 e uma função cetona na posição C6 (Figura 3) (VEKIRU et al., 2010). Esse metabólito pode sofrer redução da ligação insaturada ou da posição da função cetona, produzindo uma série de congêneres estereoisômeros (MARAGOS, 2010). Apesar de ser uma lactona apresentando um anel, compreendendo 13 carbonos, se apresenta estável ao rompimento hidrolítico, característica atribuída à presença de um grupo metil secundário que impede que ataques nucleofílicos sejam efetivados na carbonila da lactona (OGA; CAMARGO; BATISTUZZO, 2008).

Figura 3 - Estrutura química da zearalenona.



Fonte: Maragos (2010).

A ZEN apresenta baixa toxicidade aguda para animais, entretanto apresenta risco à saúde devido à sua forte atividade estrogênica, apresentando ação relacionada ao controle da ovulação. Desta forma, por possuir semelhança química com a estrutura do hormônio estrogênico 17- β -estradiol (ZINEDINE et al., 2007), pode se ligar tanto aos receptores de estrogênio alfa como beta, agindo como um disruptor endócrino (KOWALSKA et al., 2018).

Várias espécies do gênero *Fusarium* são responsáveis pela síntese de ZEN. *F. graminearum* é o principal produtor, sendo sua síntese favorecida por altas umidades e baixas temperaturas. A síntese desse metabolito tem sido reportada em grãos ainda no campo, durante a colheita, processamento e estocagem de alimentos ou rações formulados a partir de grãos contaminados (BRIYONES-REYES; GOMÉZ-MARTINEZ; CUERVA-ROLÓN, 2007). Apresenta como principal substrato de contaminação o milho, além de outras *commodities* agrícolas como a soja, o trigo, o sorgo e o arroz (ZINEDINE et al., 2007).

3.3.4 Ocorrência de micotoxinas em alimentos e rações

O número de estudos que avaliam a contaminação por micotoxinas vem crescendo no Brasil, tanto em alimentos destinados para animais quanto para humanos. Em geral, os substratos de contaminação por esses metabólitos são produtos de origem agrícola, com destaque especial para os grãos e cereais (HEIDTMANN-BEMVENUTI et al., 2011). Como a maioria das espécies fúngicas produz mais de uma micotoxina, é difícil apenas uma micotoxina apresentar ocorrência em um produto (EYNI et al., 2016) (Tabela 1).

A contaminação por esses metabólitos é muito difundida, especialmente em regiões com clima tropical e em desenvolvimento (GONÇALVES et al., 2016; MATEJOVA et al., 2017). A ocorrência de micotoxinas ocasionam perdas econômicas para todos os setores do agronegócio, inclusive na piscicultura (GRUBER-DORNINGER et al., 2018) (Tabela 2).

Estas perdas são de difícil contabilização, pois grande parte está relacionada aos danos causados à saúde humana e animal, à redução da produtividade, à perda de receita em divisas, aos custos em inspeção e amostragens, aos custos de para desintoxicação de alimentos à pesquisa e formação. Devido a isso, diversos países estabeleceram suas próprias legislações referentes aos níveis desses metabólitos em alimentos destinados ao consumo animal. De acordo com

Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2004), 101 países possuem legislações regulamentadas para micotoxinas (Tabela 3).

Tabela 1 - Ocorrência de micotoxinas em produtos de origem agrícola no Brasil.

Região	Micotoxinas	Matriz	N	NMQ (µgkg)	Referência
Centro-oeste	FT e AFLAs	Milho	12	23630 e 3,4	Arenhardt (2015)
Norte	FB ₁ e FB ₂	Milho	76	1987,0 e 1194.6	Valmorbida et al. 2017
Sudeste	AFLAs, OTA e ZEN	Milho	110	1600; 206 e 4640	Machinski Jr et al. (2001)
Sul	FT e ZEN	Milo	40	6450 e 99	Queiroz et al. (2012)
	AFB ₁ , DON, OTA e ZEN	Arroz	32	74; 400; 26 e 396	Dors; Bierhals e Badiale-Furlong, (2011)
	AFLAs, OTA, ZEN, DON e CTV	Arroz	165	0,11; 0,24; 4872; 244 e 31,1	Almeida et al. (2012)
	AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ e AFG ₂	Milho	84	84,1; 4,6; 22,6 e 1,8	Bento et al. (2012)
	OTA	Arroz	38	560,0	Hackbart et al. (2012)
	FB ₁	Trigo	11	4906,0	Mendes et al. (2015)
	AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ e AFG ₂	Milho	108	6,5; 14,5; nd e 4,1	Domenico et al. (2016)
	FB ₁ e FB ₂	Soja	39	1495,0 e 552,2	Garcia et al. (2016)
	DON	Trigo	668	11800	Machado et al. (2017)
	ZEN	Arroz	100	126,31	Savi et al. (2018)
	DON, ADONS e NIV	Trigo	20	1590,7; 428,0 e 187,5	Seus-Arraché et al. (2018)

ADONS = (3-acetil-desoxinivalenol e 15-acetil-desoxinivalenol); AFLAs = aflatoxinas totais (AFB₁, AFB₂, AFG₁ e AFG₂); AFB₁ = aflatoxina B₁; AFB₂ = aflatoxina B₂; AFG₁ = aflatoxina G₁; AFG₂ = aflatoxina G₂; CTV = citreoviridina; DON = deoxinivalenol; FB₁ = fumonisina B₁; FB₂ = fumonisina B₂; FT = fumonisinas totais; NIV = nivalenol; OTA = ocratoxina A; ZEN = zearalenona.

Tabela 2 - Ocorrência de micotoxinas em rações para peixes.

Micotoxinas	País	Referências
AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ AFG ₂ , ZEN, DON, NIV, 3-ADON, 15-ADON, FB ₁ , FB ₂ , FB ₃ , T-2, HT-2, DAS, NEO, OTA, 3-ADON, 15-ADON, AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ AFG ₂ , BEA, DON, DAS, FB ₁ , HT-2, NIV, OTA, T-2, ZEN	Índia, Indonésia, Myanmar, Taiwan, Tailândia República Checa	Gonçalves et al. (2018b) Modra et al. (2016)
AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ AFG ₂ , FB ₁ , FB ₂ , FB ₃ , DON, 3-ADON, 15-ADON, DAS, AOH, T-2, NIV	Quênia, Tanzânia, Ruanda, Uganda	Marijani et al. (2017)
AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ , AFG ₂ , OTA, NEO, FB ₁ , FB ₂ , FB ₃ , T-2, DAS, ZEN, NIV, DON, 3-ADON, 15-ADON, FUS-X, HT- 2	Espanha	Nácher-Mestre et al. (2015)
ENA, ENA ₁ , ENB, ENB ₁ , BEA	Espanha	Tolosa et al. (2014)
AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ , AFG ₂ , AFM ₁ , FB ₁ , FB ₂ , FB ₃ , HFB ₁ , DON, D3G, ZEN, NIV	Nigéria	Olorunfemi et al. (2013)
AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ , AFG ₂ , FB ₁ , FB ₂ , HT-2, OTA, T-2,	Espanha	Nácher-Mestre et al. (2013)
AFB ₁	Brasil	Gonçalves-Nunes et al. (2015)
AFB ₁ , FB ₁ , OTA	Brasil	Barbosa et al. (2013)
DON, ZEN	Suíça	Pietsch et al. (2013)
ZEN	Polônia	Woźny et l. (2013)

AFG₁ = aflatoxinas G₁; AFG₂ = aflatoxina G₂; FB₂ = fumonisina B₂; 3-ADON = 3-acetil deoxinivalenol; 15-ADON = 15-acetil-deoxinivalenol; FUS-X = fusarenon-X; FB₂ = fumonisin B₂; FB₃ = fumonisin B₃; HT-2 = toxina HT-2; NEO = neosolaniol; BEA = beauvericina; ENA = eniatina A; ENA₁ = eniatina A₁; ENB = eniatina B; ENB₁ = eniatina B₁; AFM₁ = aflatoxina M₁; AOH = alternariol; HFB₁ = fumonisina B₁ hidrolisada; D3G = deoxinivalenol-3-β-D-glucosídeo.

Tabela 3 – Níveis máximos de micotoxinas em rações e matérias-primas a serem utilizadas diretamente ou como ingrediente para rações destinadas ao consumo animal.

Continente	País	Categoria alimentar	Concentração (µg/kg)			
			AFB ₁	AFLAs	OTA	ZEN
América	Argentina	Farelo de soja	30			
	Uruguai	Produtos à base de soja		30		
		Milho e cevada				200
		Arroz, cevada e milho			50	
	Barbados	Rações		50		
	Canadá	Rações		20		
	Chile	Rações		50		
	Cuba	Rações e ingredientes para rações		5		
	El Salvador	Rações em geral	10			
	Suriname	Rações		30		
	Venezuela	Rações		20		
Europa	Dinamarca	Cereais			5	
	Espanha	Todos alimentos	5	10		
	França	Todos alimentos	10			
		Cereais			5	200
	Grécia	Milho	5	10		
	Itália	Cereais			3	100
	Suécia	Ingredientes para rações	50			
		Rações	10			
	Bósnia e Herzegovina	Arroz, milho e trigo	1			
	Bulgária	Grãos, cereais e derivados		2,5		
	Macedônia	Arroz, milho e trigo	1			
		Rações e ingredientes	50			
	Romênia	Rações			5	
	Rússia	Cereais, farinhas e farelos	5			1000

Continuação da Tabela 4

Continente	País	Categoria alimentar	Concentração (µg/kg)			
			AFB ₁	AFLAs	OTA	ZEN
Europa	Sérvia	Arroz, milho e trigo	1			
Europa	Suíça	Milho e cereais		5		
África	África do Sul	Alimentos em geral	5	10		
	Costa do Marfim	Ingredientes para rações		100		
		Rações prontas		10		
	Egito	Milho	10			
	Nigéria	Rações	50			
	Senegal	Derivados de amendoim	50			
	Zimbabwe	Milho e sorgo	5			
	Ásia	Arroz	10			
		Trigo e sorgo	20			
		Milho e farelo de amendoim	50			
	Israel	Grãos para rações	20		300	
	Japão	Rações	1000			
	Jordânia	Arroz, milho e rações	15	30		
	Omã	Rações	10			
	Singapura	Todos alimentos		0		
Oceania	Austrália	Alimentos em geral		5		
	Nova Zelândia	Alimentos em geral		5		

Desta forma, a introdução de fontes proteicas e de carboidratos de origem vegetal, como o milho, a soja e o arroz na fabricação de ração (SPRING; FEGAN, 2005) não é considerada importante apenas como fonte energética para os peixes, mas esses componentes apresentam-se como fator limitante para a atividade piscícola por conterem substratos ideais para o crescimento de fungos que, em condições favoráveis, podem oportunizar a produção de micotoxinas (TOLOSA et al., 2014). Assim, o conhecimento relativo a quantidade desses metabólitos nas rações que

podem ser absorvidos pelos animais é essencial, podendo esses serem estabelecidos por testes, como a bioacessibilidade.

3.4 BIOACESSIBILIDADE

Bioacessibilidade corresponde à fração de um composto que é libertado a partir da sua matriz alimentar, no trato gastrointestinal durante a digestão e, assim, se torna disponível para absorção intestinal (CALATAYUDI et al., 2012; LAIRD; CHAN, 2013).

A bioacessibilidade dos compostos presentes em uma matriz alimentar pode ser determinada por diferentes abordagens analíticas, como os estudos da digestão *in vivo* e *in vitro* (VERSANTVOORT et al., 2005). Os testes *in vivo* são considerados onerosos, necessitam de longo período de execução, exigem planejamentos complexos, recursos financeiros elevados, além de apresentarem limitações analíticas e éticas (CARDOSO et al., 2015).

Desta forma, os testes *in vitro* apresentam-se como forma de ultrapassar tais limitações, sendo considerados métodos simples, rápidos e de baixo custo (MORADI et al., 2011). Buscam retratar e simular o processo digestivo de forma simplificada através da aplicação de condições fisiológicas similares às reais, como pH, temperatura, tempo de residência dos compostos em cada parte do trato gastrointestinal e composição química de fluidos digestivos, principalmente atividade enzimática (GILANNEJAD et al., 2017). Os testes de bioacessibilidade *in vitro* estão cada vez mais aprimorados, visando aproximar cada fase do teste às condições do organismo humano ou animal, podendo estimar de maneira mais precisa a quantidade absorvida de um determinado composto (BERTIN et al., 2016; CUNHA et al., 2017).

Estudos referentes à bioacessibilidade estão concentrados em estabelecer a absorção de macro e microelementos utilizados na alimentação humana e animal, pois estes são essenciais para um funcionamento do metabolismo, participando de forma direta ou indireta das diversas funções metabólicas e estruturais do organismo (FAILLA; THAKKAR; KIM, 2009; GODOY et al., 2016; HAMDAN; MOYANO; SCHUHARDT, 2009; HAMDAN et al., 2014; KULKARNI et al., 2007). Estes estudos também são úteis na determinação da porção bioacessível de metais pesados (e.g. mercúrio, cádmio e chumbo) presente em alimentos destinados ao consumo humano e animal (HAN-HAN et al., 2017; INTAWONGSE et al., 2012; JUHASZ et al., 2014; LAIRD; CHAN,

2013; MENDOZA et al., 2017; NAKATSUBO, 2017; RODRIGUES et al., 2014; SHIM, et al., 2009; TORRES-ESCRIBANO et al., 2011).

Outros estudos estabelecem a bioacessibilidade de micotoxinas em diversas matrizes alimentares para humanos, como a AFLA B₁ em amendoim e trigo (VERSANTVOORT et al., 2005), a AFB₁ e a OTA em nozes e trigo (KABAK et al., 2009), a AFB₁, o desoxinivalenol (DON) e a OTA em macarrão (RAIOLA et al., 2012), as toxinas T-2 e HT-2 em pão (ANGELIS et al., 2014; MONACI et al., 2015), as toxinas T-2 e HT-2 em trigo (NATHANAIL et al., 2015).

No entanto, estudos que avaliam a bioacessibilidade *in vitro* de micotoxinas por animais, mais especificamente para peixe, são ausentes no meio científico. Ressalta-se que a formulação das rações é flexível, estando baseada na mistura de vários elementos (FREITAS et al., 2016), podendo apresentar mais de um tipo de micotoxina. Portanto, é de suma importância não somente a determinação desses contaminantes em rações, como também a determinação de sua bioacessibilidade, a fim de inferir sobre o real risco de exposição à esses metabólitos.

CAPÍTULO III

ARTIGO I - MICOTOXINAS NA CADEIA PRODUTIVA PISCÍCOLA

Submetido a revista **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**

RESUMO

Com a intensificação produtiva da piscicultura, a substituição parcial ou total da farinha de peixe por ingredientes de origem vegetal passou a ser uma realidade dentro das indústrias de ração, tendo como intuito a redução de custos, porém aumentando o risco da contaminação por micotoxinas. Estudos comprovam que as micotoxinas podem induzir diversos distúrbios em peixes, como alterações celulares e orgânicas, comprometimento do desenvolvimento funcional e morfológico, e em casos mais graves, mortalidade. Desta forma, estudos tem focado sua atenção em avaliar e desenvolver estratégias para prevenir a formação de micotoxinas, bem como a sua eliminação, inativação ou redução de sua disponibilidade em rações. Assim, esta revisão tem como objetivo descrever as vias de contaminação e ocorrência de micotoxinas em rações destinadas a alimentação de peixes, relacionado aos efeitos tóxicos desses metabólitos sobre os animais e possíveis formas de mitigação.

Palavras-chave: Aquicultura. Contaminação. Ração. Matéria-prima. Toxicidade.

ABSTRACT

With the productive intensification of fish farming, the partial or total replacement of fishmeal by ingredients of plant origin became a reality within the feed industry, with the aim of reducing costs, but increasing the risk of contamination by mycotoxins. Studies have shown that mycotoxins can induce various disorders in fish, such as cellular and organic alterations, impairment of functional and morphological development, and in more severe cases, mortality. Thus, studies have focused their attention on evaluating and developing strategies to prevent the formation of mycotoxins, as well as their elimination, inactivation or reduction of their availability in feed. Thus, this review aims to describe the pathways of contamination and occurrence of mycotoxins in fish feed, related to the toxic effects of these metabolites on animals and possible forms of mitigation.

Keywords: Aquaculture. Contamination. Feed. Raw. Materials. Toxicity.

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura global apresentou grande ascensão produtiva nos últimos anos (FROEHLICH et al., 2017), estabelecendo uma alternativa viável para aumento da oferta de proteína animal, já que a pesca encontra-se com a captura estabilizada desde a década de 1990 (FAO, 2016). O impacto sobre o desenvolvimento e progresso da aquicultura se estabelece basicamente pela piscicultura, responsável por 68% da produção aquícola mundial, sendo a piscicultura de águas interiores o setor mais promissor, com 59% da produção, e faturamento superior a 53 milhões de dólares por ano (FAO, 2017).

Este progresso está diretamente relacionado ao alto grau de mecanização e tecnologias empregadas em pontos primordiais dentro do setor produtivo, como melhoramento genético (VÉLEZ, et al., 2017; NUNES et al., 2017), qualidade de água (LIU et al., 2016), métodos reprodutivos (NOBREGA et al., 2017), e principalmente inovações relacionadas às práticas alimentares, formuladas especialmente para atender às necessidades nutricionais dos peixes nas diversas fases do ciclo produtivo (PAULINO et al., 2018).

A ração influencia diretamente no custo operacional aquícola (POHLENZ; GATLIN III, 2014), com despesas variando entre 70 e 80% (BARONE, 2017). Sua formulação é flexível, baseada na mistura de vários compostos (FREITAS et al., 2016), tanto de origem animal quanto vegetal (MORO; RODRIGUES, 2015). Muitos desses compostos, principalmente os de origem vegetal, como os cereais, apresentam-se como substratos ideais para o desenvolvimento microbiano, principalmente fungos e, dentre eles, os toxigênicos, que quando submetidos a condições de estresse ou oscilações nutricionais necessárias para o seu desenvolvimento, sintetizam substâncias tóxicas denominadas micotoxinas (TOLOSA et al., 2014).

Análises quantitativas em rações para peixes reportam a presença de diversas micotoxinas, principalmente as produzidas pelos gêneros *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp. (OLORUNFEMI et al., 2013) e *Penicillium* spp. (BARBOSA et al., 2013). O impacto causado pela ingestão de ração contendo micotoxinas pode afetar o desempenho dos peixes de forma direta, lesionando órgãos responsáveis pela digestão e absorção de nutrientes, e de maneira indireta, agindo sobre o sistema imunossupressor (SELIM et al., 2014), tornando os animais propensos a infecções, além de oportunizar redução de peso corporal, e até efeitos deletérios, podendo estes ser

carcinogênicos (KHANAFARI et al., 2007), citotóxicos (PIETSCH et al., 2011), neurotóxicos (KUBITZA, 2010), estrogênicos (BAKOS et al., 2013) e nefrotóxicos (BALOGH et al., 2009).

Dado o exposto, esta revisão tem como objetivo descrever as vias de contaminação e ocorrência de micotoxinas em rações destinadas a alimentação de peixes, relacionando aos efeitos tóxicos desses metabólitos sobre os animais e possíveis formas de mitigação.

2 MATÉRIA-PRIMA VEGETAL COMO VEÍCULO DE CONTAMINAÇÃO DE RAÇÕES NA PISCICULTURA

O requerimento nutricional para peixes é escasso em comparação com outras espécies zootécnicas que já atingiram o estágio de controle na formulação de rações balanceadas (YOSSA et al., 2015). Essas informações são ainda menores quando levamos em consideração as espécies nativas com potencial aquícola (SAINT-PAU, 2017). Dessa forma, as exigências nutricionais para peixes não apresentam padrão que possa ser utilizado como referência (NAVARRO-GUILLÉN et al., 2018). Dentre os fatores que contribuem para tal situação, pode ser destacado o fato de que os peixes apresentam dependências direta e indireta do meio onde vivem, estando sujeitos a condições ambientais de difícil manipulação (HALVER; HARDY, 2002).

As exigências nutricionais dos peixes não diferem dos demais animais, porém diferentes variações térmicas no ambiente de cultivo, além das fases de desenvolvimento dos peixes, podem modificá-las. Desta forma, a determinação das necessidades qualitativas e quantitativas dos nutrientes essenciais na dieta é de fundamental importância para a adequada formulação de rações para as diferentes espécies (LOGATO, 2012).

Os alimentos utilizados como fontes de nutrientes se subdividem em dois grandes grupos na cadeia produtiva de dietas para peixes: alimentos proteicos, tanto de origem animal quanto vegetal, e alimentos energéticos. Dentre os alimentos proteicos de origem animal, a farinha de peixe é comumente utilizada (HARDY, 2010) por apresentar excelente fonte de aminoácidos, minerais essenciais, além de vitaminas (LOGATO et al., 2012). Porém, sua demanda é requerida pelos demais setores, para animais domésticos e avicultura, resultando em uma elevação nos custos referente a este ingrediente nos sistemas piscícolas, tornando necessária a busca por fontes alternativas que possam substituir e sustentar a demanda emergente de rações para a aquicultura (ANTONOPOULOU et al., 2017).

Dentre as fontes proteicas de origem vegetal (NCR, 2011), o farelo de soja (AZARM; LEE, 2014), o farelo de amendoim, e o farelo de algodão são as mais utilizadas, e apresentam grande potencial para substituição total ou parcial da farinha de peixe, impulsionadas pela maior abundância e menor preço (BANDARA, 2018). Entre os alimentos energéticos, o milho é apresentado como a principal fonte, caracterizado por sua grande quantidade de amido (SANTOS-CIPRIANO et al., 2015), apresentando alta palatabilidade e disponibilidade no mercado, estabelecendo-se como componente essencial para a expansão e aglutinação, o que confere maior fluvariabilidade às rações (MORO; RODRIGUES, 2015). Outras fontes de origem vegetal também apresentam potencial para substituição da farinha de peixe, podendo ser empregadas em ração, conforme descrito na Tabela 1.

Para a inclusão de fontes proteicas e energéticas de origem vegetal no processo industrial de ração, deve ser implementado um monitoramento constante de sua qualidade, principalmente para contaminantes como as micotoxinas (BAPTISTA et al., 2004) (Tabela 2) que se destacam pelos efeitos tóxicos em animais (AYYAT et al., 2018). A presença e magnitude das micotoxinas nas diferentes matérias-primas variam em função de fatores climáticos, genéticos e geográficos (MAGAN; MEDINA; RODRIGUEZ, 2014), além de inadequadas condições de cultivo, colheita e armazenamento das *commodities* agrícolas e do produto final após seu processamento industrial em ração (MARIJANI et al., 2017).

Estudos de longo prazo em alimentos ao redor do mundo indicam que aproximadamente 70% dos alimentos podem estar contaminados com pelo menos uma micotoxina, porém, em grande maioria, várias micotoxinas podem ocorrer de forma simultânea em uma única matéria-prima (KOSICKI et al., 2016). Desta forma, no processo de fabricação de ração com a mistura de vários lotes de diferentes matérias-primas, ocorre a elaboração de uma matriz totalmente nova com um novo perfil de risco (PIETSCH et al., 2013). Portanto, é provável a incidência de diferentes micotoxinas de forma simultânea nas rações, podendo apresentar efeitos tóxicos, aditivos ou sinérgicos aos peixes (GONÇALVES et al., 2018b).

Tabela 1 - Ingredientes de origem vegetal empregados na formulação de dietas para peixes.

Ingredientes	Espécie	País	Rererências
Concentrado proteico de milho	<i>Oreochromis niloticus</i>	Emirados Árabes	Khalifa et al. (2018)
Concentrado proteico de arroz	<i>Megalobrama amblycephala</i>	China	Cai et al. (2018)
Farinhas de soja, de milho e de trigo, concentrado proteico de soja	<i>Colossoma macropomum</i>	Brasil	Paulino et al. (2018)
Farinha de glúten de milho	<i>Lates calcarifer</i>	Índia	Nandakumar et al. (2017)
Farelo de amendoim desengordurado	<i>Oreochromis mossambicus</i>	Paquistão	Yildirim e Acar (2016)
Farelos de soja e de glúten de milho	<i>Arapaima gigas</i>	Brasil	Cipriano et al. (2016)
Farinha de aveia	<i>Lateolabrax japonicus</i>	China	Wang et al. (2015)
Farinha de camelina	<i>Salmo salar</i>	Canadá	Hixson et al. (2014)
Farinha de soja fermentada	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	Coréia do Sul	Azarm e Lee (2014)
Ervilha verde	<i>Lates calcarifer</i>	Filipinas	Ganzon-Naret (2013)
Ervilha, tremoço, farelos de soja e de sorgo	<i>Argyrosomus japonicus</i>	Austrália	Booth et al. (2013)
Farinhas do feno de maniçoba, do feno de leucena e do feno da folha de mandioca, raspa de mandioca e resíduos de vitivinícola	<i>Oreochromis niloticus</i>	Brasil	Araújo et al. (2012)
Farelo de soja fermentado	<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	China	Zhou et al. (2011)
Farelo de soja, glúten de milho e farinha de trigo	<i>Solea senegalensis</i>	Portugal	Dias et al. (2010)

Continuação da Tabela 1

Ingredientes	Espécie	País	Autores
Farinha de soja desengordurada	<i>Sparus aurata</i>	Espanha	Martínes-Llorens et al. (2009)
Concentrado proteico de soja, farinha de glúten de milho, farinha de glúten de trigo, concentrado proteico de arroz, farinha de soja, farinha de semente de algodão, farinha de canola, farinha de linhaça, farelo de arroz, farelo de trigo, trigo moído, cevada, trigo inteiro, farinha de trigo e milho inteiro	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Estados Unidos	Gaylord, Barrows e Rawles (2008)
Farinha de glúten de milho, glúten de trigo, ervilha extrusada, farinha de colza, trigo extrusado	<i>Sparus aurata</i>	França	Francesco et al. (2007)
Soja, concentrado proteico de soja, isolado proteico de soja, canola inteira, concentrado proteico de canola, semente de linhaça, tremço, concentrado proteico de ervilha, glúten de milho e glúten de trigo	<i>Gadus morhua</i>	Canada	Tibbetts, Milley e Lall (2006)

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

Ingrediente	Micotoxinas (NMQ em µg/kg)	País	Autores
Arroz	AFB ₁ (40,0), AFB ₂ (9,15), NIV (116,0), DAS (12,53), FB ₁ (75,1), ZEN (114,0), T-2 (32,0), DON (115,0) e OTA (24,0)	Paquistão	Majeed et al. (2018)
	ZEN (126,31)	Brasil	Savi et al. (2018)
Aveia	NIV (500,0), T-2 (132,0)	Suíça	Martin et al. (2018)
Milho	AFB ₁ (24,0)	Japão	Nomura et al. (2018)
	DON (725)	Turquia	Pekel et al. (2018)
Soja	DON (2,265) e ZEN (853,0)	Croácia	Pleadin et al. (2017)
	AFLAs (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)

AFLAs = aflatoxinas totais (AFB₁, AFB₂, AFG₁ e AFG₂); AFB₁= aflatoxina B₁; AFB₂ = aflatoxina B₂; NIV = nivalenol; DAS = diacetoxiscirpenol; DON = deoxinivalenol; FB₁ = fumonisina B₁; NMQ = nível máximo quantificado; OTA = ocratoxina A; T-2 = toxina T-2; ZEN = zearalenona.

3 OCORRÊNCIA E TÉCNICAS PARA DETERMINAÇÃO DE MICOTOXINAS EM RAÇÕES

A utilização de ingredientes à base de vegetais para formulação de ração intensificou a introdução de micotoxinas em sistemas de cultivo devido às altas cargas de contaminação presentes nas matrizes vegetais (MODRA et al., 2017). A contaminação por esses metabólitos é muito difundida, especialmente em regiões com clima tropical e em desenvolvimento (GONÇALVES, NAEHRER; SANTOS, 2016; MATEJOVA et al., 2017). No geral, as investigações apontam que a contaminação de rações por micotoxinas indica problema significativo e disseminado na piscicultura, causando limitações econômicas e de saúde em vários países (GRUBER-DORNINGER; JENKINS; SCHATZMAYR, 2018).

Estudos relatam a presença e o monitoramento de micotoxinas em rações para as diversas espécies de animais em todo o mundo (ARROYO-MANZANARES et al., 2015; KOTINAGU; MOHANAMBA; KUMARI, 2015; KIM et al., 2017). No entanto, existem poucas

informações sobre a ocorrência desses contaminantes em rações destinadas à alimentação de peixes (Tabela 3).

A ocorrência de micotoxinas em rações é difícil de ser prevenida, podendo sua concentração ser baixa nesta matriz alimentar, exigindo a disponibilidade de métodos sensíveis, precisos, robustos, seletivos e confiáveis que permitam sua detecção (GRECO et al., 2015).

A forma de separação mais usual de micotoxinas incluem cromatografia líquida (LC), cromatografia gasosa (CG), cromatografia em camada delgada (CCD) e técnicas de imunoenensaio enzimático (ELISA) (GULLINO et al., 2017). Essas técnicas de separação cromatográfica podem ser acopladas a detectores tendo como função a amplificação do sinal do analito em estudo, assim as técnicas de LC podem ser acopladas a detectores de raios ultravioleta (UV), arranjos de diodo (DAD), fluorescência (FL) ou espectrometria de massa (MS). Já as técnicas de CG acopladas a detectores de ionização de chama (FID) ou espectrometria de massas (MS) (SNYDER; KIRKLAND; DOLAN, 2010).

Dentre essas técnicas, as cromatografias líquida e gasosa acopladas a espectrometria de massas estabelecessem-se como as mais viáveis para a determinação qualitativa e quantitativa de micotoxinas devido às suas vantagens quanto à seletividade e possibilidade de detecção de vários analitos de forma simultânea em relação aos demais métodos de detecção (SFORZA; DALL'ASTA; MARCHELLI, 2005), tornando-as excelentes técnicas confirmatórias (SPANJER; RENSEN; SCHOLTEN, 2008).

Tabela 3 - Ocorrência e técnicas de detecção de micotoxinas em rações para peixes.

Técnicas	Micotoxinas	N	NP (%)	FC (µg/kg)	País	Referências
LC-MS/MS	AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ AFG ₂ , ZEN, DON, NIV, 3-ADON, 15-ADON, FB ₁ , FB ₂ , FB ₃ , T-2, HT-2, DAS, NEO, OTA,	12	12 (100)	<0,5 – 993	Índia, Indonésia, Myanmar, Taiwan, Tailândia	Gonçalves et al. (2018b)
	3-ADON, 15-ADON, AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ AFG ₂ , BEA, DON, DAS, FB ₁ , HT-2, NIV, OTA, T-2, ZEN	2	2 (100)	<1,0 – 1800	República Checa	Modra et al. (2016)
	AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ AFG ₂ , FB ₁ , FB ₂ , FB ₃ , DON, 3-ADON, 15-ADON, DAS, AOH, T-2, NIV	14	14 (100)	0,9 – 1136,5	Quênia, Tanzânia, Ruanda, Uganda	Marijani et al. (2017)
	AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ , AFG ₂ , OTA, NEO, FB ₁ , FB ₂ , FB ₃ , T-2, DAS, ZEN, NIV, DON, 3-ADON, 15-ADON, FUS-X, HT-2	5	5 (100)	0,1 – 754	Espanha	Nácher-Mestre et al. (2015)
	ENA, ENA ₁ , ENB, ENB ₁ , BEA	20	20 (100)	0,1 – 10	Espanha	Tolosa et al. (2014)
	AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ , AFG ₂ , AFM ₁ , FB ₁ , FB ₂ , FB ₃ , HFB ₁ , DON, D3G, ZEN, NIV	94	94 (100)	4,0 – 900,9	Nigéria	Olorunfemi et al. (2013)
	AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ , AFG ₂ , FB ₁ , FB ₂ , HT-2, OTA, T-2,	10	10 (100)	20 – 100	Espanha	Nácher-Mestre et al. (2013)

Continuação da Tabela 3

Método	Micotoxinas	N	NP (%)	FC (µg/kg)	País	Referências
ELISA	AFB ₁	36	6 (16,7)	1,6 – 9,8	Brasil	Gonçalves-Nunes et al. (2015)
ELISA e CCD	AFB ₁ , FB ₁ , OTA	60	50 (90)	0,3 – 4,94	Brasil	Barbosa et al. (2013)
LC-DAD e LC-FL	DON, ZEN	11	11 (100)	3 – 825	Suíça	Pietsch et al. (2013)
LC-FL	ZEN	*	*	10,3 – 81,8	Polônia	Woźny et l. (2013)

N = número de amostras; NP = número de amostras positivas; FC = faixa de contaminação; AFG₁ = aflatoxinas G₁; AFG₂ = aflatoxina G₂; FB₂ = fumonisina B₂; 3-ADON = 3-acetil deoxinivalenol; 15-ADON = 15-acetil-deoxinivalenol; FUS-X = fusarenon-X; FB₂ = fumonisin B₂; FB₃ = fumonisin B₃; HT-2 = toxina HT-2; NEO = neosolaniol; BEA = beauvericina; ENA = eniatina A; ENA₁ = eniatina A₁; ENB = eniatina B; ENB₁ = eniatina B₁; AFM₁ = aflatoxina M₁; AOH = alternariol; HFB₁ = fumonisina B₁ hidrolisada; D3G = deoxinivalenol-3-β-D-glucosídeo; * = não mencionados.

4 EFEITOS TÓXICOS DAS MICOTOXINAS SOBRE OS PEIXES

Diversos países estabeleceram suas próprias legislações referentes aos níveis desses metabólitos em alimentos destinados ao consumo humano e animal, procurando regulamentar o controle dos níveis de micotoxinas. De acordo com Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2004), 101 países possuem legislações regulamentadas para micotoxinas. Esses níveis, chamados de limites máximos tolerados, foram estimados devido aos efeitos que estas micotoxinas causam nas diferentes espécies animais como aves, suínos e bovinos. Porém, há uma lacuna quanto aos níveis de orientação para as espécies ícticas (WALCZAK, JEDZINIAK; REICHERT, 2018).

O estabelecimento desses valores é importante, pois estudos comprovam que as micotoxinas podem induzir diversos distúrbios em peixes, como alterações celulares e orgânicas, comprometer o desenvolvimento funcional e morfológico, e em casos mais graves, mortalidade (ANATER et al., 2016). No entanto, poucos estudos avaliaram o grau de toxicidade aguda (Tabela 4), estando a maioria das investigações focadas apenas em estabelecer a toxicidade crônica, não estabelecendo um padrão referente à dose letal ou ao tempo de exposição às diferentes micotoxinas (Tabela 5).

Tabela 4 - Toxicidade aguda e doses letais (DL) de micotoxinas em peixes.

Micotoxinas	Espécies	Fase	Doses	DL	Administração	Referências
FB ₁	<i>Ictalurus punctatus</i>	Adulto	0,3; 20; 80; 320 e 720 mg/kg	320 mg/kg (DL ₇₀)	Ração - 14 semanas	Lumlertdacha et al. (1995)
AFB ₁	<i>Labeo rohita</i>	Alevino	7,5; 11,25 e 13,75 mg/kg	13,75 mg/kg (DL ₆₀)	Intraperotenial - 10 dias	Sahoo et al. (2001)
AFB ₁	<i>Oreochromis niloticus</i>	Alevino	0,25; 2,5; 10 e 100 mg/kg	100 mg/kg (DL ₆₀)	Ração - 8 semanas	Tuan et al. (2002)
OTA	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Adulto	0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35 e 0,4 mg/kg	0,3 mg/kg (DL ₅₀)	Ração - 4 dias	El-Sayed, Khalil e Saad, (2009)
T-2	<i>Danio rerio</i>	Embrião	0,05; 0,10; 0,20; 0,25; 0,30; 0,40 e 0,80 µmol/L	0,40 (DL ₈₀) e 0,80 µmol/L (DL ₁₀₀)	Ração - 24 horas	Yuan et al. (2014)
OTA	<i>Oreochromis niloticus</i>	Alevino	0,08 e 0,16 mg/kg	0,08 mg/kg (DL ₅₀)	Intraperotenial - 8 semanas	Mansour et al. (2015)
FB ₁	<i>Oreochromis niloticus</i>	Juvenil	0,20; 0,30; 0,50; 0,60; 0,80 e 1,0 mg/kg	0,60 mg/kg (DL ₅₀)	Ração - 6 semanas	Abu-Hassan et al. (2016)

AFB₁ = aflatoxinas B₁; FB₁ = fumonisina B₁; OTA = ocratoxina A, T-2 = toxina T-2.

Tabela 5 - Efeitos tóxicos das micotoxinas em diferentes espécies de peixes.

Micotoxinas	Espécies	Fases	Dose	Administração	Efeitos tóxicos	Autores
OTA	<i>Ictalurus punctatus</i>	Juvenil	0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0 mg/kg	Ração - 8 semanas	Redução no ganho de peso, baixa conversão alimentar, redução dos hematócritos, mortalidade	Manning et al. (2003)
STC	<i>Oreochromis niloticus</i>	Alevino	1,6 µg/kg	Intragástrico - 4 semanas	Clastogênico, redução de peso, aberrações cromossômicas nos rins	Abdel-Wahhab et al. (2005)
AFB ₁	<i>Oreochromis niloticus</i> e <i>Oreochromis aureus</i>	Juvenil	19; 85; 245; 638; 793 e 1641 µg/kg	Ração - 20 semanas	Indução de distúrbio hepático, resultando em diminuição do conteúdo lipídico, índice hepatossomático, atividade do citocromo P450 A1, e elevação da atividade alanina aminotransferase plasmática	Deng et al. (2010)
DON	<i>Cyprinus carpio</i> L.	Juvenil	352; 619 e 953 µg/kg	Ração - 4 semanas	Efeitos citotóxicos sobre as células imunitárias	Pietsch et al. (2014b)
ZEN	<i>Cyprinus carpio</i> L.	Juvenil	332; 621 e 797 µg/kg	Ração - 4 semanas	Efeitos citotóxicos sobre as células imunitárias	Pietsch et al. (2015)

Continuação da Tabela 5

Micotoxinas	Espécies	Fases	Dose	Administração	Efeitos tóxicos	Autores
DON e ZEN	<i>Oreochromis niloticus</i> e <i>Oreochromis mossambicus</i>	Alevino	0,07; 0,31; 0,50; 0,92; 1,15 mg/kg e 0,01; 0,09; 0,21; 0,37; 0,98 mg/kg	Ração - 8 semanas	Redução no ganho de peso e crescimento, baixa conversão alimentar	Tola et al. (2015)
OTA	<i>Ictalurus punctatus</i>	Juvenil	2; 4 e 8 mg/kg	Ração - 8 semanas	Redução no ganho de peso e crescimento, baixa conversão alimentar	Zahran et al. (2016)
T-2	<i>Cyprinus carpio</i> L.		5,3 mg/kg	Ração - 4 semanas	Redução no ganho de peso, baixa conversão alimentar, anemia, linfopenia, estresse oxidativo	Matejova et al. (2017)
AFB ₁	<i>Oreochromis niloticus</i>	Alevino	2 mg/kg	Ração - 14 semanas	Redução no ganho de peso, baixa conversão alimentar; diminuição das concentrações de hemoglobina no sangue, eritrócitos totais, proteínas totais, albumina e globulinas	Ayyata et al. (2018)

Continuação da Tabela 5

Micotoxinas	Espécies	Fases	Dose	Administração	Efeitos tóxicos	Autores
AFB	<i>Cyprinus carpio</i>	Juvenil	0,5; 0,7 e 1,4 mg/kg	Ração - 3 semanas	Diminuição da atividade da lisozima e redução da imunoglobulina no plasma sanguíneo	Bitsayah, Banaee e Haghi (2018)
FB ₁ e B ₂	<i>Oreochromis niloticus</i>	Alevino	20; 40 e 60 mg/kg	Ração - 4 semanas	Redução dos níveis de RNA mensageiro, redução da expressão do gene CASP7	Claudino-Silva et al. (2018)
AFB ₁	<i>Cyprinus carpio</i>	Juvenil	50 µg/kg	Ração - 8 semanas	Redução do crescimento e baixa conversão alimentar	Fan et al. (2018)
AFB ₁	<i>Pangasius hypophthalmus</i>	Alevino	50; 100; 250; 500 e 1000 µg/kg	Ração - 8 semanas	Redução no ganho de peso, aumento do índice hepatossomático e adiposo, níveis elevados de alanina aminotransferase e aspartato aminotransferase	Gonçalves et al. (2018a)
DON	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Alevino	4,5 e 10,5 mg/kg	Ração - 8 semanas	Redução nos parâmetros zootécnicos, atividade das enzimas e RNA alteradas e retenção de nutrientes	Gonçalves et al. (2018b)

Continuação da Tabela 5

Micotoxinas	Espécies	Fases	Dose	Administração	Efeitos tóxicos	Autores
AFB ₁	Carpa comum	Adulto	100; 200 e 400 mg/kg	Ração - 8 semanas	Estresse oxidativo, aumento das substâncias reativa ao ácido tiobarbitúrico, níveis de glutathione elevados, regulação da expressão gênica keap1, repressão dos genes gpx4a e gpx4b	Kövesi et al. (2018)
T-2	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Adulto	1,0 e 1,8 mg/kg	Ração - 4 semanas	Estresse oxidativo, aumento da peroxidação lipídica, atividade da ceruloplasmina aumentada	Modra et al. (2016)
DON	<i>Cyprinus carpio</i> L.	Juvenil	352; 619 e 953 µg/kg	Ração - 6 semanas	Aumento da peroxidação lipídica no fígado, rim e baço	Pietsch et al. (2014a)
AFB ₁ e FB ₁	<i>Clarias gariepinus</i>	Juvenil	2,0; 7,3; 17,6; 48,0; 93,0 µg/kg e 3,0; 15,0 24,5; 43,0; 83,0 mg/kg	Ração - 8 semanas	Redução no ganho de peso e comprimento, baixa conversão alimentar	Thomas et al. (2018)

AFB₁ = aflatoxinas B₁; DON = deoxinivalenol; FB₁ = fumonisina B₁; FB₁ = fumonisina B₁; FB₂ = fumonisina B₂; T-2 = toxina T-2; STC = sterigmatocistina.

A letalidade da ingesta de ração contaminada varia em função do tipo e da concentração da micotoxina (BITSAYAH; BANAE; HAGHI, 2018), da espécie (FAN et al., 2018) e idade do animal (GONÇALVES et al., 2018b; KHEZRI et al., 2018) e principalmente do período de exposição, sendo este último ponto importante para descrever os possíveis efeitos e consequências sobre os animais (ZHOU et al., 2017).

Devido ao fato de apresentar sintomas inespecíficos, o diagnóstico das enfermidades provocadas por micotoxinas é dificultado, de forma que os efeitos da exposição a diferentes níveis de micotoxinas não aparecem de imediato (WALCZAK, JEDZINIAK; REICHERT, 2018), sendo a redução de peso e crescimento, além da baixa conversão alimentar, os primeiros e principais efeitos observados (Tabela 5). Entretanto, Imani et al. (2017) ao analisarem a toxicidade de aflatoxina B₁ (0, 25 e 50 ng/kg) em alevinos de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), observaram que os peixes alimentados com ração contaminada apresentaram maior ganho de peso ($p < 0,05$), além de aumento gradativo da atividade de enzimas digestivas, incluindo protease alcalina, lipase e amilase. Pietsch et al. (2014a) avaliaram o efeito de rações suplementadas com desoxinivalenol (352, 619 e 953 µg/kg) para carpa comum (*Cyprinus carpio* L.), e evidenciaram que o desempenho de crescimento permaneceu inalterado durante o período experimental, tendo como efeito sobre os animais apenas o aumento da peroxidação lipídica no fígado, rim e baço após a alimentação com a maior concentração. Desta forma, o ganho de peso não pode ser considerado parâmetro sensível para evidenciar a contaminação por micotoxinas em rações.

Dentre outros efeitos ocasionados pelas micotoxinas, Schwartz et al. (2010) avaliaram os efeitos da exposição à ZEN ralenona (ZEN) (100, 320, 1000 e 3200 ng/L) na reprodução, fisiologia e morfologia de *zebrafish* (*Danio rerio*), constatando que a exposição não afetou a fertilidade, eclosão, sobrevivência dos embriões e a morfologia das gônadas dos peixes adultos. Bakos et al. (2013), avaliando as fases de desenvolvimento de embriões e adultos desta mesma espécie, constataram que a ZEN, além dos efeitos estrogênicos em adultos, pode interagir com outras vias ontogênicas e provocar alterações no desenvolvimento do coração, olhos e anormalidade no desenvolvimento das nadadeiras caudal em embriões. Logo, tais estudos, ressaltam a necessidade de padronização dos testes toxicológicos de micotoxinas em peixes, principalmente em relação ao tempo de exposição, às doses ministradas e às condições de desenvolvimento experimental (ANATER et al., 2016).

Além dos efeitos nos animais, a contaminação de peixes através da ingestão de ração contendo níveis de micotoxinas representa risco à saúde humana, pois sua ingestão simultânea pode resultar em sinergismo tóxico e bioacumulação na cadeia alimentar (FRAGA

et al., 2007). Tal fato foi comprovado por Michelin et al. (2016), que avaliaram a transferência de aflatoxina B₁ (10; 20 e 50 µg/kg) da ração para lambari (*Astyanax altiparanae*), constatando que após 120 dias de experimento a concentração de micotoxina no músculo foi similar aos níveis da ração.

Tal fato pode explicar o grande número de estudos centrados em determinar a toxicidade crônica das aflatoxinas (Tabela 5), por apresentarem propriedades carcinogênicas, mutagênicas e teratogênicas, causando grandes danos à saúde humana e acarretando prejuízos econômicos.

5 CONTROLE DE MICOTOXINAS EM RAÇÕES

A contaminação de produtos agrícolas por micotoxinas é uma realidade nos mercados mundiais (OKEKE et al., 2015). A prevenção da contaminação e do crescimento fúngico são as medidas ideais de controle da presença desses compostos em *commodities* e produtos processados como rações. No entanto, esta estratégia nem sempre apresenta elevada eficiência na remoção destes contaminantes, e quando presentes, seu controle pode ser estabelecido por métodos de detoxificação (LAITILA; VAHALA, P.; SARLIN, 2018).

A adoção de boas práticas agrícolas durante toda a cadeia produtiva de grãos e fabricação de rações é útil na redução ou eliminação desses compostos (KABAK; DOBSON; VAR, 2006). Atualmente, tem-se estudado o desenvolvimento de grãos geneticamente modificados tendo como intuito mitigar a contaminação e crescimento fúngico, e consequente síntese de micotoxinas (BHATNAGAR-MATHUR et al., 2015). No entanto, devido à ampla diversidade geográfica mundial, a produção dessas culturas não parece viável, uma vez que cada região apresenta condições climáticas específicas (MEDINA; RODRÍGUEZ; MAGAN, 2015).

Em contrapartida, processos de detoxificação podem ser aplicados de forma a remover ou reduzir as concentrações de micotoxinas a valores legislados (KARLOVSKY et al., 2016). Dentre os métodos empregados para a detoxificação das micotoxinas em ração, a maioria se estabelece pelo uso de adsorventes (JONES et al., 2007). Esses devem ser nutricionalmente inertes, tendo como característica a adsorção das micotoxinas, reduzindo ou impedindo sua absorção durante as etapas do processo digestivo, evitando efeitos tóxicos para os animais e também a propagação da contaminação na cadeia alimentar (PENG; MARCHAL; VANDERPOEL, 2018).

Atualmente, estudos relatam o uso de adsorventes na redução das diferentes classes de micotoxinas presentes em alimentos destinados a diversas classes animais, incluindo peixes (Tabela 6).

Tabela 6- Adsorventes utilizados na alimentação de diferentes classes animais.

Adsorvente	Micotoxina	Animal	Referências
Carvão ativado, bentonitas sódicas e cálcicas, glucomanano esterificado	AFM ₁	Bovino	Diaz et al. (2004)
Aluminossilicato de sódio hidratado, <i>Saccharomyces cerevisiae</i> e glucomanano esterificado	AFB ₁	Peixe	Selim et al. (2014)
Aluminossilicato de sódio e cálcio	AFB ₁ , FB ₁	Ave	Sobrane Filho et al. (2016)
Aluminossilicato de sódio e cálcio hidratado	AFLAs	Ave	Tanpong et al. (2017)
<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>Enterococcus faecium</i> e <i>Lactobacillus acidophilus</i> Leveduras secas de cervejaria, da espécie <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> e <i>Bacillus pumilus</i>	AFB ₁	Peixe	Pinheiro et al. (2017)

AFLAs = aflatoxinas totais (AFB₁, AFB₂, AFG₁ e AFG₂); AFB₁ = aflatoxina B₁; AFB₂ = aflatoxina B₂; AFM₁ = aflatoxina M₁.

De modo geral, o adsorvente deve: (I) preservar as propriedades nutritivas e tecnológicas do produto final, (II) não originar resíduos nos alimentos, (III) não interferir na aceitabilidade, (IV) ser economicamente viável (PENG; MARCHAL; VANDERPOEL, 2018), além de (V) não gerar resíduos ao meio ambiente após ser excretado pelos animais (Jard et al., 2011). Até o momento nenhum método de desintoxicação disponível possui todos esses requisitos mencionados ou é adequado para todos os alimentos (KANDEL, 2018).

A eficácia do adsorvente está diretamente relacionada à distribuição de carga, área de superfície e tamanho dos poros, polaridade, forma, classe e concentração das micotoxinas, além da natureza do alimento, condições relativas à umidade e temperatura (KABAK;

DOBSON; VAR., 2006). Muitos adsorventes disponíveis, como os aluminossilicatos, atuam de forma efetiva sobre as aflatoxinas, porém são incapazes de desenvolver ligação com outras micotoxinas, como os tricotecenos, ZEN ralenona e ocratoxina (MUSSADDEQ; BEGUM; AKHTER, 2000), uma vez que as aflatoxinas possuem características polares, enquanto as demais apresentam características apolares. Scaglioni e Badiale-Furlong (2016) avaliaram o uso de casca de arroz como adsorvente natural de AFB₁ e AFM₁ em leite, observando níveis de adsorção AFB₁ entre 77,2 e 122%, já para AFM₁ entre 73,1 e 125. Embora os trabalhos sejam em outra matriz alimentar, os resultados são satisfatórios, podendo ser testado para verificar seu efeito em rações.

Alternativas viáveis e promissoras para emprego de adsorvetes em ração pode ser o uso de outros métodos, como os químicos e biológicos. Os métodos químicos proporcionam mudanças na conformação da molécula, ou em sua ligação, para tal, podem ser realizados por tratamento com atmosfera modificada e por meio de produtos químicos. Hassan et al. (2018) avaliaram o efeito da redução de AFB₁ em rações usando diferentes doses de gás ozônio, constatando redução significativa ($p \leq 0,05$) na concentração (67,5%) após o processo. Alcántar-Barrios e Méndez-Albores (2018), avaliaram o efeito de ácido tartárico associado a um tratamento de radiação não ionizante na estabilidade e redução de aflatoxinas do grupo B (140 ng/g) em amostras de farinha de milho (<420 μ m). Os autores constataram que a combinação afetou significativamente ($p < 0,01$) na redução (43 a 87%) de aflatoxinas na farinha, mesmo em curto período de tratamento (3 min). Outros métodos químicos se mostraram eficientes para o controle de micotoxinas em alimentos como a amonização (HUWIG et al., 2001) ou uso de substâncias naturais como óleos essenciais extraídos de plantas comestíveis (AL-SOHAIBANI et al., 2011).

Os métodos biológicos apresentam destaque, e são considerados promissores para a detoxificação de micotoxinas por serem considerados de baixo impacto ao meio ambiente e exigir moderadas condições de operação (KANDEL, 2018). A degradação biológica compreende na inativação com uso de microrganismos ou enzimas (SHI et al., 2014). Kupski et al. (2018) relataram que as enzimas produzidas por *Rhizopus oryzae* e *Trichoderma reesei*, ambos micro-organismos não toxigênicos, apresentaram efeito positivo na degradação de OTA. Os autores relatam que após 48 h, *R. oryzae* degradou 63,5% da micotoxina e, após 72 h, *T. reesei* reduziu em 57,7%.

6 CONCLUSÃO

As consequências da contaminação por micotoxinas em rações para peixes estão diretamente relacionadas às perdas na produção, afetando o ganho de peso, crescimento e conversão alimentar, além de inúmeros relatos de deficiências imunológicas e lesões em órgãos. Desta forma, os cuidados com a qualidade dos ingredientes, produção e armazenamento de ração animal são de extrema importância.

Quando presentes, diversas técnicas são passíveis de aplicação para a prevenção, ou diminuição dos prejuízos causados pelas micotoxinas. Entretanto, a maioria dos métodos podem ser considerados inviáveis, ineficazes ou inseguros, além de afetarem as características finais dos alimentos, diminuindo a qualidade nutricional e palatabilidade dos mesmos, além da possível produção de compostos tóxicos (KANDEL, 2018). Porém, dentre os métodos, os biológicos demonstram e devem ser estudados como uma alternativa viável para serem aplicados na redução das concentrações de micotoxinas na cadeia produtiva da piscicultura.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-WAHHABA, M. A.; HASANB, A. M.; ALYA, S. E.; MAHROUSB, K. F. Adsorption of sterigmatocystin by montmorillonite and inhibition of its genotoxicity in the Nile tilapia fish (*Oreochromis niloticus*). **Mutation Research**, v. 582, p. 20-27, 2005.
- ABU-HASSAN, F. A. M.; KHALIL, R. H.; SAAD, T. T.; AMER, M. T.; ABDEL-LATIF, H. M. R. Histopathological outcomes designating the toxicological aspects of Fumonisin B₁ on Cultured Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies**, v. 4, p. 52-60, 2016.
- ALCÁNTAR-BARRIOS, C. A.; MÉNDEZ-ALBORES, A. Potential of tartaric acid in combination with infrared-microwave heating as a method for aflatoxin reduction in maize. **Animal Nutrition and Feed Technology**, v. 17, p. 469-478, 2018.
- AL-SOHAIBANI, S.; MURUGAN, K.; LAKSHIMI, G.; ANANDRAJ, K. Xerophilic aflatoxigenic black tea fungi and their inhibition by *Elettaria cardamomum* and *Syzygium aromaticum*. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 8, p. 387-394, 2011.
- ANATER, A.; MANYES, L.; MECA, G.; FERRER, E.; LUCIANO, F. B.; PIMPÃO, C. T.; FONT, G. Mycotoxins and their consequences in aquaculture: A review. **Aquaculture**, v. 451, p. 1-10, 2016.
- ANTONOPOULOU¹, E.; CHOURI, E.; FEIDANTSIS, K.; LAZOU, A.; CHATZIFOTIS, S. Effects of partial dietary supplementation of fish meal with soymeal on the stress and apoptosis response in the digestive system of common dentex (*Dentex dentex*). **Journal of Biological Research-Thessaloniki**, v. 24, p. 2-10, 2017.

ARAÚJO, J. R.; SANTOS, L. D. SILVA, L. C. R.; SANTOS, O. O.; MEURER, F. Apparent digestibility of ingredients of the Northeast Semi-Arid for Nile tilapia. **Ciência Rural**, v. 42, p. 900-903, 2012.

ARROYO-MANZANARES, N.; HUERTAS-PÉREZ, J. R.; GARCÍA-CAMPAÑA, A. M.; GÁMIZ-GRACIA, L. Aflatoxins in animal feeds: A straightforward and cost-effective analytical method. **Food Control**, v. 54, p. 74-78, 2015

AYYATA, M. S.; AYYAT, A. M. N.; AL-SAGHEERA, A. A.; EL-HAISC, A. E. M. Effect of some safe feed additives on growth performance, blood biochemistry, and bioaccumulation of aflatoxin residues of Nile tilapia fed aflatoxin-B₁ contaminated diet. **Aquaculture**, v. 495, p. 27-34, 2018.

AZARM, H. M.; LEE, S. Effects of partial substitution of dietary fish meal by fermented soybean meal on growth performance, amino acid and biochemical parameters of juvenile black sea bream *Acanthopagrus schlegeli*. **Aquaculture Research**, v. 45, p. 994-1003, 2014.

BAKOS, K.; KOVÁCS, R.; STASZNY, Á.; SIPOS, D. K.; URBÁNYI, B.; MÜLLER, F.; CSENKI, Z.; KOVÁCS, B. Developmental toxicity and estrogenic potency of ZEN ralenone in zebrafish (*Danio rerio*). **Aquatic Toxicology**, v. 136, p. 13-21, 2013.

BALDISSERA, M. D.; SOUZA, C. F.; ZEPPEFELD, C. C.; DESCOVI, S.; SILVA, A. S.; BALDISSEROTTO, B. Changes in the cerebral phosphotransfer network impair energetic homeostasis in an aflatoxin B₁-contaminated diet. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 44, p. 1051-1059, 2018.

BALOGH, K.; HEINCINGER, M.; FODOR, J.; MEZES, M. Effect of long term feeding of T-2 and HT-2 toxin contaminated diet on the glutathione redox status and lipid peroxidation processes in common carp (*Cyprinus carpio* L.). **Acta Biologica Szegediensis**, v. 53, p. 23-27, 2009.

BANDARA, T. Alternative feed ingredients in aquaculture: Opportunities and challenges. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 6, p. 3087-3094, 2018.

BAPTISTA, A. S.; HORII, J.; BAPTISTA, A. S. Fatores físico-químicos e biológicos ligados à produção de micotoxinas. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 22, p. 1-14, 2004.

BARBOSA, T. S.; PEREYRA, C. M.; SOLEIRO, C. A.; DIAS, E. O.; OLIVEIRA, A. A.; KELLER, K. M.; SILVA, P. P. O.; CAVAGLIERI, L. R.; ROSA, C. A. R. Mycobiota and mycotoxins present in finished fish feeds from farms in the Rio de Janeiro State, Brazil. **International Aquatic Research**, v. 5, p. 2-9, 2013.

BARONE, R. S. C. **Ração é o principal insumo da produção aquícola**. Brasília: CNA/PECEGE/ESALQ-USP, 2017. 8 p.

BHATNAGAR-MATHUR, P.; SUNKARA, S.; BHATNAGAR-PANWAR, M.; WALIYAR, F.; SHARMA, K. K. Biotechnological advances for combating *Aspergillus flavus* and aflatoxin contamination in crops. **Plant Science**, v. 1, p. 2-49, 2015.

- BITSAYAH, A.; BANAEI, M.; HAGHI, B. N. Effects of Aflatoxin-Contaminated Feed on Immunological Parameters of Common Carp (*Cyprinus carpio*). **Iranian Journal of Toxicology**, v. 1, p. 7-12, 2018.
- BOOTH, M. A.; ALLAN, G. L.; SMULLEN, R. P. Digestibility of common feed ingredients by juvenile mullet *Argyrosomus japonicus*. **Aquaculture**, v. 414, p. 140-148, 2013.
- CAI, W. C.; JIANG, G. Z.; LI, X. F.; SUN, C. X.; MI, H. F.; LIU, S. Q.; LIU, W. P.; Effects of complete fish meal replacement by rice protein concentrate with or without lysine supplement on growth performance, muscle development and flesh quality of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 481-491, 2018.
- CHEN, Y.; MENG, X.; ZHU, Y.; SHEN, M.; LU, Y.; CHENG, J.; XU, Y. Rapid detection of four mycotoxins in corn using a microfluidics and microarray-based immunoassay system. **Talanta**, v. 186, p. 299-305, 2018.
- CLAUDINO-SILVA, S. C.; LALA, B.; MORA, N. H. A. P.; SCHAMBER, C. R.; NASCIMENTO, C. S.; PEREIRA, V. V.; HEDLER, D. L.; GASPARINO, E. Fumonisin B₁ + B₂ change the expression of genes in apoptosis balance in Nile tilapia fingerlings. **Aquaculture**, v. 488, p. 155-160, 2018.
- CIPRIANO, F. S.; LIMA, K. S.; SOUZA, R. H. B.; TONINI, W. C. T.; PASSINATO, E. B.; BRAGA, L. G. T. Digestibility of animal and vegetable protein ingredients by pirarucu juveniles, *Arapaima gigas*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, p. 581-586, 2016.
- DENG, S. X.; TIAN, L. X.; LIU, F. J.; JIN, S. J.; LIANG, G. Y.; YANG, H. J.; DU, Z. Y.; LIU, Y. J. Toxic effects and residue of aflatoxin B₁ in tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) during long-term dietary exposure. **Aquaculture**, v. 307, p. 233-240, 2010.
- DIAS, J.; YÚFERA, M.; VALENTE, L. M. P.; REMA, P. Feed transit and apparent protein, phosphorus and energy digestibility of practical feed ingredients by Senegalese sole (*Solea senegalensis*). **Aquaculture**, v. 302, p. 94-99, 2010.
- DIAZ, D. E.; HAGLER JUNIOR, W. M.; BLACKWELDER, J. T.; EVE, J. A.; HOPKINS, B. A.; ANDERSON, K. L.; JONES, F. T.; WHITLOW, L. W. Aflatoxin Binders II: Reduction of aflatoxin M₁ in milk by sequestering agents of cows consuming aflatoxin in feed. **Mycopathologia**, v. 157, p. 233-241, 2004.
- EGBUTA, M. A.; MWANZA, M.; PHOKU, J. Z.; CHILAKA, C. A.; DUTTON, M. F. Comparative analysis of mycotoxigenic fungi and mycotoxins contaminating soya bean seeds and processed soya bean from Nigerian markets. **Advances in Microbiology**, v. 6, p. 1130-1139, 2016.
- EL-SAYED, Y. S.; KHALIL, R. H.; SAAD, T. T. Acute toxicity of ochratoxin-A in marine water-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). **Chemosphere**, v. 75, p. 878-882, 2009.
- FAN, Y.; LIU, L.; ZHAO, L.; WANG, X.; WANG, D.; HUANG, C.; ZHANG, J.; JI, C.; MA, Q. Influence of *Bacillus subtilis* ANSB060 on growth, digestive enzyme and aflatoxin residue

in Yellow River carp fed diets contaminated with aflatoxin B₁. **Food and Chemical Toxicology**, v. 113, p. 108-114, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FOA.

Reglamentos a nivel mundial para las micotoxinas en los alimentos y en las raciones en el año 2003: Alimentación y nutrición. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO.

The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FOA. **An Overview of Recently Published Global Aquaculture Statistics.** Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2017.

FRANCESCO, M.; PARISI, G.; PÉREZ-SÁNCHEZ, J.; GÓMEZ-RÉQUENI, P.; MÉDALE, F.; KAUSHIK, S. J.; MECATTI, M.; POLI, B. M. Effect of high-level fish meal replacement by plant proteins in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) on growth and body/fillet quality traits. **Aquaculture Nutrition**, v. 13, p. 361-372, 2007.

FRAGA, M.; CURVELLO, F.; GATTI, M.; CAVAGLIERI, L.; DALCERO, A.; ROSA, C. R. Potential aflatoxin and ochratoxin A production by *Aspergillus* species in poultry feed processing. **Veterinary Research Communications**, v. 31, p. 343-353, 2007.

FREITAS, L. E. L.; RODRIGUES, A. P. O.; MORO, G. V.; LUNDSTEDT, L. M. Práticas para avaliação da qualidade física em rações para peixes. **Circular Técnica**, v. 3, p. 1-7, 2016.

FROEHLICH, H. E.; GENTRY, R. R.; RUST, M. B.; GRIMM, D.; HALPERN, B. S. Public perceptions of aquaculture: evaluating spatiotemporal patterns of sentiment around the world. **Plos One**, v. 12, p. 1-18, 2017.

GANZON-NARET, E. S. The use of green pea (*Pisum sativum*) as alternative protein source for fish meal in diets for Asian sea bass, *Lates calcarifer*. **Journal - Bioflux - Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation**, v. 6, p. 399-406, 2013.

GAYLORD, T. G.; BARROWS, F. T.; RAWLES, S. D. Apparent digestibility of gross nutrients from feedstuffs in extruded feeds for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 39, p. 827-834, 2008

GONÇALVES-NUNES E. M. C.; GOMES-PEREIRA, M. M.; RAPOSO-COSTA, A. P.; ROCHA-ROSA, C. A.; PEREYRA, C. M.; CALVET, R. M.; ALVES-MARQUES, A. L.; CARDOSO-FILHO, F.; SANCHES-MURATORI, M. C. Screening of aflatoxin B₁ and mycobiota related to raw materials and finished feed destined for fish. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 43, p. 595-600, 2015.

GONÇALVES, R. A.; NAEHRER, K.; SANTOS, G. A. Occurrence of mycotoxins in commercial aquafeeds in Asia and Europe: a real risk to aquaculture? **Reviews in Aquaculture**, v. 1, p. 1-18, 2016.

GONÇALVES, R. A.; NAVARRO-GUILLÉN, C.; GILANNEJAD, N.; DIAS, J.; SCHATZMAYR, D.; BICHL, G.; CZABANY, T.; MOYANO, F. J.; REMA, P.; YÚFERA, M.; MACKENZIE, S.; MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, G. Impact of deoxynivalenol on rainbow trout: Growth performance, digestibility, key gene expression regulation and metabolism. **Aquaculture**, v. 490, p. 362-372, 2018a.

GONÇALVES, R. A.; HOFSTETTER, U.; SCHATZMAYR, D.; JENKINS, T. Mycotoxins in Southeast Asian aquaculture: plant-based meals and finished feeds. **World Mycotoxin Journal**, v. 1, p. 34-39, 2018b.

GRECO, M.; KEMPPAINEN, M.; POSE, G.; PARDO, A. Taxonomic Characterization and Secondary Metabolite Profiling of Aspergillus Section Aspergillus Contaminating Feeds and Feedstuffs. **Toxins**, v. 7, p. 3512-3537, 2015

GRUBER-DORNINGER, C.; JENKINS, T.; SCHATZMAYR, G. Multi-mycotoxin screening of feed and feed raw materials from Africa. **World Mycotoxin Journal**, v. 4, p. 14-53, 2018.

GULLINO, M. L.; STACK, J. P.; FLETCHER, J.; MUMFORD, J. D. **Practical Tools for plant and food Biosecurity**: Results from a european Network of excellence. Cham Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, 2017

HALVER, J. E.; HARDY, R. W. **Fish nutrition**. 3th revised ed. Academic press, Cambridge, Massachusetts, EUA, 2002.

HIXSON, S. M.; PARRISH, C. C.; ANDERSON, D. M. Full substitution of fish oil with camelina (*Camelina sativa*) oil, with partial substitution of fish meal with camelina meal, in diets for farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effect on tissue lipids and sensory quality. **Food Chemistry**, v. 157, p. 51-61, 2014.

HOSSAIN, M. Z.; MARAGOS, C. M. Gold nanoparticle-enhanced multiplexed imaging surface plasmon resonance (iSPR) detection of *Fusarium* mycotoxins in wheat. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 101, p. 245-252, 2018.

HUWIG, A.; FREIMUND, S.; KÄPPELI, O.; DUTLER, H. Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents. **Toxicology Letters**, v. 122, p. 179-188, 2001.

IMANI, A.; BANI, M. S.; NOORI, F.; FARZANEH, M.; MOGHANLOU, K. S. The effect of bentonite and yeast cell wall along with cinnamon oil on aflatoxicosis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Digestive enzymes, growth indices, nutritional performance and proximate body composition. **Aquaculture**, v. 476, p. 160-167, 2017.

JARD, G.; LIBOZ, T.; MATHIEU, F.; GUYONVARCH, A.; LEBRIHI, A. Review of mycotoxin reduction in food and feed: from prevention in the field to detoxification by adsorption or transformation. **Food Additives & Contaminants**, v. 28, p. 1590-1609, 2011.

JONES, F. T.; GENTER, M. B.; HAGLER, W. M.; HANSEN, J. A.; MOWREY, B. A.; POORE, M. H.; WHITLOW, L. W. 2007. **Understanding and coping with effects of mycotoxins in livestock feed and forage**. North Carolina Cooperative Extension Service, Raleigh, North Caroline, EUA.

KABAK, B.; DOBSON, A. D. W.; VAR, I. Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 46, p. 593-619, 2006.

KANDEL, R. **Potential for using aluminosilicates for removal of heavy metals and mycotoxins from feed and water**. Oslo, Norway, 2018.

KARLOVSKY, P.; SUMAN, M.; BERTHILLER, F.; MEESTER, J.; EISENBRAND, G.; PERRIN, I.; OSWALD, I. P.; SPEIJERS, G.; CHIODINI, A.; RECKER, T.; DUSSOR, P. Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination. **Mycotoxin Research**, v. 32, p. 179-205, 2016.

KHALIFA, N. S. A.; BELA, I. E. H.; EL-TARABILY, K. A.; TARIQ, S.; KASSAB, A. A. Evaluation of replacing fish meal with corn protein concentrate in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings commercial diet. **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 143-152, 2018.

KHANAFARI, A.; SOUDI, H.; MIRABOULFATHI, M. Biocontrol of *Aspergillus flavus* and aflatoxin B₁ production in corn. **Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering**, v. 4, p. 163-168, 2007.

KHEZRI, A.; HERRNAZ-JUSDADO, J. G.; ROPSTAD, E.; FRASER, T. W. K. Mycotoxins induce developmental toxicity and behavioural aberrations in zebrafish larvae. **Environmental Pollution**, v. 242, p. 500-506, 2018.

KIM, H. J.; LEE, M. J.; KIM, H. J.; CHO, S. K.; PARK, H. J.; JEONG, M. H. Analytical method development and monitoring of Aflatoxin B₁, B₂, G₁, G₂ and Ochratoxin A in animal feed using HPLC with Fluorescence detector and photochemical reaction device. **Food Science and Technology**, v. 3, p. 1-8, 2017.

KOSICKI, R.; BŁAJET-KOSICKA, A.; GRAJEWSKI, J.; TWARUŻEK, M. Multiannual mycotoxin survey in feed materials and feedingstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 215, p. 165-180, 2016.

KOTINAGU, K.; MOHANAMBA, T.; KUMARI, L. R. Assessment of aflatoxin B₁ in livestock feed and feed ingredients by high-performance thin layer chromatography. **Veterinary World**, v. 8, p. 1396-1399, 2015.

KÖVESI, B.; PELYHE, C.; ZANDOKI, E.; MEZES, M.; BALOGH, K. Changes of lipid peroxidation and glutathione redox system, and expression of glutathione peroxidase regulatory genes as effect of short-term aflatoxin B₁ exposure in common carp. **Toxicon**, v. 144, p. 103-108, 2018.

KUBITZA, F. Micotoxinas e seus efeitos sobre os peixes. **Panorama da Aquicultura**, v. 20, p. 14-23, 2010.

KUPSKI, L.; QUEIROZ, M. I.; BADIALE-FURLONG, E. Application of carboxypeptidase A to a baking process to mitigate contamination of wheat flour by ochratoxin A. **Process Biochemistry**, v. 64, p. 248-254, 2018.

LAITILA, A.; VAHALA, P.; SARLIN, T. **Integrated preventive actions to avoid mycotoxins in malting and brewing**. Finlandia Hall, Helsinki, Finland, 2018.

LIU, X.; XU, H.; CHENG, G.; LIU, C.; LIU, S.; LU, S.; TIAN, C.; TANG, R.; GU, Z. Effects of portable solar water quality control machines on aquaculture ponds. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 4040-4047, 2016.

LOGATO, P. V. R. **Nutrição e alimentação de peixes de água doce**, 2 ed. Aprenda Fácil Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2012.

LUMLERTDACHA, S.; LOVELL, R. T.; SHELBY, R. A.; LENZ, S. D.; KEMPPAINEN, B. W. Growth, hematology, and histopathology of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, fed toxins from *Fusarium moniliforme*. **Aquaculture**, v. 130, p. 201-218, 1995.

MAGAN, N.; MEDINA, A.; RODRIGUEZ, A. Effect of climate change on *Aspergillus flavus* and aflatoxin B₁ production. **Frontiers in Microbiology**, v. 5, p. 1-11, 2014

MAJEED, S.; BOEVRE, M.; SAEGER, S.; RAUF, W.; TAWAB, A.; HABIB, F.; RAHMAN, M.; IQBAL, M. Multiple mycotoxins in rice: occurrence and health risk assessment in children and adults of Punjab, Pakistan. **Toxins**, v. 10, p. 1-30, 2018

MANNING, B. B.; ULLOA, R. M.; LI, M. H.; ROBINSON, E. H.; ROTTINGHAUS, G. E. Ochratoxin A fed to channel catfish (*Ictalurus punctatus*) causes reduced growth and lesions of hepatopancreatic tissue. **Aquaculture**, v. 219, p. 739-750, 2003.

MANSOUR, A. T.; OMAR, E. A.; SOLIMAN, M. K.; SROUR, T. M.; NOUR, A. M. The antagonistic effect of whey on Ochratoxin A toxicity on the growth performance, feed utilization, liver and kidney functions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Middle East Journal Applied Sciences**, v. 1, p. 176-183, 2015.

MARIJANI, E.; WAINAINA, J. M.; CHARO-KARISA, H.; NZAYISENGA, L.; MUNGUTI, J.; GNONLONFIN, G. J. B.; KIGADYE, E.; OKOTH, S. Mycoflora and mycotoxins in finished fish feed and feed ingredients from smallholder farms in East Africa. **Egyptian Journal of Aquatic Research**, v. 43, p. 169-176, 2017.

MARTIN, C.; SCHÖNEBERG, T.; VOGELGSANG, S.; FERREIRA, C. F. M.; MORISOLI, R.; BERTOSSA, M.; BUCHELI, T. D.; MAUCH-MANI, B.; MASCHER, F. Responses of oat grains to *Fusarium poae* and *F. langsethiae* infections and mycotoxin contaminations. **Toxins**, v. 10, p. 1-18, 2018.

MARTÍNEZ-LLORENS, S.; VIDAL, A. T.; GARCIA, I. J.; TORRES, M. P.; CERDÁ, M. J. Optimum dietary soybean meal level for maximizing growth and nutrient utilization of on-growing gilthead sea bream (*Sparus aurata*). **Aquaculture Nutrition**, v. 15, p. 320-328, 2009.

MATEJOVA, I.; FALDYNA, M.; MODRA, H.; BLAHOVA, J.; PALIKOVA, M.; MARKOVA, Z.; FRANC, A.; VICENOVA, M.; VOJTEK, L.; BARTONKOVA, J.; SEHONOVA, P.; HOSTOVSKY, M.; SVOBODOVA, Z. Effect of T-2 toxin-contaminated diet on common carp (*Cyprinus carpio* L.). **Fish and Shellfish Immunology**, v. 60, 458-465, 2017.

MEDINA, A.; RODRÍGUEZ, A.; MAGAN, N. Climate change and mycotoxigenic fungi: impacts on mycotoxin production. *Current. Current Opinion In Food Science*, v. 5, p. 99-104, 2015.

MICHELIN, E. C.; MASSOCCO, M. M.; GODOY, S. H. S.; BALDIN, J. C.; YASUI, G. S.; LIMA, G. G.; ROTTINGHAUS, G. E.; SOUSA, R. L. M.; FERNANDES, A. M. Carryover of aflatoxins from feed to lambari fish (*Astyanax altiparanae*) tissues. *Food Additives & Contaminants Part A*, v. 34, p. 265-272, 2016.

MODRA, H.; SISPEROVA, E.; BLAHOVA, J.; ENEVOVA, V.; FICTUM, P.; FRANC, A.; MARES, J.; SVOBODOVA, Z. Elevated concentrations of T-2 toxin cause oxidative stress in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, v. 24, p. 842-849, 2017.

MORO, G. V.; RODRIGUES, A. P. O. **Raões para organismos aquáticos: tipos e formas de processamento**, Brasília, Brasil, 2015.

MUSSADDEQ, Y.; BEGUM, I.; AKHTER, S. Activity of aflatoxins adsorbents in poultry feed Pakistan. *Journal of Biological Sciences*, v. 3, p. 1697-1699, 2000.

NÁCHER-MESTRE, J.; IBÁÑEZ, M.; SERRANO, R.; PEREZ-SÁNCHEZ, J. Hernández, F. Qualitative Screening of Undesirable Compounds from Feeds to Fish by Liquid Chromatography Coupled to Mass Spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 61, p. 2077-2087, 2013.

NÁCHER-MESTRE, J.; SERRANO, R.; BELTRÁN, E.; PÉREZ-SÁNCHEZ, J.; SILVA, J.; KARALAZOS, V.; HERNÁNDEZ, F.; BERNTSEN, M. H. G. Occurrence and potential transfer of mycotoxins in gilthead sea bream and Atlantic salmon by use of novel alternative feed ingredients. *Chemosphere*, v. 128, p. 314-320, 2015.

NANDAKUMAR, S.; AMBASANKAR, K.; ALI, S. S. R.; SYAMADAYA, J.; VASAGAM, K. Replacement of fish meal with corn gluten meal in feeds for Asian seabass (*Lates calcarifer*). *Aquaculture International*, v. 25, p. 1495-1505, 2017.

NAVARRO-GUILLÉN, G.; ENGROLA, S.; YÚFERA, M. Daily dynamic of digestive processes in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) larvae and post-larvae. *Aquaculture*, v. 493, p. 100-106, 2018.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 2011. **Nutrient Requirements of Fish and Shrimp**. National Academic Press, 2011. 360p.

NÓBREGA, R. H.; JESUS, L. W. O.; HONJI, R. M.; BORELLA, M. I. Characterization of gonadotropic cells during continuous and seasonal spermatogenesis of two freshwater fish species: a histochemical and immunohistochemical study. *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 43, p. 51-63, 2017.

NOMURA, M.; AOYAMA, K.; ISHIBASHI, T. Sterigmatocystin and aflatoxin B₁ contamination of corn, soybean meal, and formula feed in Japan. *Mycotoxin Research*, v. 34, p. 21-27, 2018.

NUNES, J. R. S.; LIU, S.; PÉRTILLE, F.; PERAZZA, C. A.; VILLELA, P. M. S.; ALMEIDA-VAL, V. M. F.; HILSDORF, A. W. S.; LIU, Z.; COUTINHO, L. L. Large-scale SNP discovery and construction of a high-density genetic map of *Colossoma macropomum* through genotyping-by-sequencing. **Scientific Reports**, v. 7, p. 1-11, 2017.

OKEKE, O. F. I.; FAPOHUNDA, S.; SOARES, C.; LIMA, N.; AYANBIMPE, G. M. Mycotoxin Contamination of Maize and Guinea corn from Markets in Plateau State, Nigeria. **Mycotoxicology**, v. 2, p. 28-34, 2015.

OLORUNFEMI, M. F.; ODEBODE, A. C.; JOSEPH, O. O.; EZEKIEL, C.; SULYOK, M.; KRSKA, R.; OYEDELE, A. **Multi-Mycotoxin Contaminations in Fish Feeds from Different Agro-Ecological Zones in Nigeria**. In: Tielkes, E. (Eds), Agricultural development within the rural-urban continuum. Cuvillier Verlag, Göttingen, pp. 557-562, 2013.

PAULINO, R. R.; PEREIRA, R. T.; FONTES, T. V.; OLIVA-TELES, A.; PERES, H.; CARNEIRO, D. J.; ROSA, P. V. Optimal dietary linoleic acid to linolenic acid ratio improved fatty acid profile of the juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Aquaculture**, v. 488, p. 9-16, 2018.

PEKEL, A. Y.; ALIK, A. C.; ALATAS, M. S.; KUTER, E.; CENGİZ, O.; OMURTAG, G. Z.; INAN, G. Evaluation of correlations between nutrients, fatty acids, heavy metals, and deoxynivalenol in corn (*ZEN mays* L.). **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 1, p. 1-14, 2018.

PENG, W. X.; MARCHAL, J. L. M.; VANDERPOEL, A. F. B. Strategies to prevent and reduce mycotoxins for compound feed manufacturing. **Animal Feed Science and Technology**, v. 237, p. 129-153 237, 2018.

PIETSCH, C.; BUCHELI, T. D.; WETTSTEIN, F. E.; BURKHARDT-HOLM, P. Frequent biphasic cellular responses of permanent fish cell cultures to deoxynivalenol (DON). **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 256, p. 24-34, 2011.

PIETSCH, C.; KERSTEN, S.; BURKHARDT-HOLM, P.; VALENTA, H.; DÄNICKE, S. Occurrence of deoxynivalenol and ZEN ralenone in commercial fish feed: an initial study. **Toxins**, 5, 184-192, 2013.

PIETSCH, C.; SCHULZ, C.; ROVIRA, P.; KLOAS, W.; BURKHARDT-HOLM, P. Organ Damage and Hepatic Lipid Accumulation in Carp (*Cyprinus carpio* L.) after Feed-Borne Exposure to the Mycotoxin, Deoxynivalenol (DON). **Toxins**, v. 6, p. 756-778, 2014a.

PIETSCH, C.; NOSER, J.; WETTSTEIN, F. E.; BURKHARDT-HOLM, P. Unraveling the mechanisms involved in ZEN ralenonemediated toxicity in permanent fish cell cultures. **Toxicon**, v. 88, p. 44-61, 2014b.

PIETSCH, C.; JUNGE, R.; BURKHARDT-HOLM, P. Immunomodulation by ZEN ralenone in Carp (*Cyprinus carpio* L.). **BioMed Research International**, v. 1, p. 1-9, 2015.

PINHEIRO, R. E. E.; PEREYRA, C. M.; NEVES, J. A.; CALVET, R. M.; SANTOS, J. T. O.; LIMA, C. E.; ALVES, V. C.; PEREIRA, M. M. G.; MURATORI, M. C. S. In vitro evaluation

of aflatoxin B1 adsorption by commercial products used in animal feed. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 84, p. 1-6, 2017.

PLEADIN, J.; FRECE, J.; LEŠIĆ, T.; ZADRAVEC, M.; VAHČIĆ, N.; STAVAR, M. M.; MARKOV, K. Deoxynivalenol and ZEN ralenone in unprocessed cereals and soybean from different cultivation regions in Croatia. **Food Additives & Contaminants**, v. 10, p. 268-274, 2017.

POHLENZ, C.; GATLIN III, D. M. Interrelationships between fish nutrition and health. **Aquaculture**, v. 431, p. 111-117, 2014.

SAHOO, P. K.; MUKHERJEE, S. C.; NAYAK, S. K.; DEY, S. K. Acute and subchronic toxicity of aflatoxin B1 to rohu, *Labeo rohita* (Hamilton). **Indian Journal of Experimental Biology**, v. 39, p. 453-458, 2001.

SAINT-PAUL, U. Native fish species boosting Brazilian's aquaculture development. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 5, p. 1-9, 2017.

SANTOS-CIPRIANO, F.; LIMA, K. S.; BEVITÓRIO-PASSINATO, E.; JESUS, R. M.; MAGALHÃES JUNIOR, F. O.; TELES-TONINI, W. C.; TAVARES-BRAGA, L. G. Apparent digestibility of energetic ingredients by pirarucu juveniles, *Arapaima gigas* (Schinz, 1822). **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 43, p. 786-791, 2015.

SAVI, D. G.; PIACENTINI, K. C.; ROCHA, L. O.; CARNIELLI-QUEIROZ, L.; FURTADO, B. G.; SCUSSEL, R.; ZANONI, E. T.; MACHADO-DE-ÁVILA, R. A.; CORRÊA, B.; ANGIOLETTI, E. Incidence of toxigenic fungi and ZEN ralenone in rice grains from Brazil. **International Journal of Food Microbiology**, v. 270, p. 5-13, 2018.

SCAGLIONI, P. T.; BADIALE-FURLONG, E. Rice husk as an adsorbent: A new analytical approach to determine aflatoxins in milk. **Talanta**, v. 152, p. 423-431, 2016.

SCHWARTZ, P.; THORPE, K. L.; BUCHELI, T. D.; WETTSTEIN, F. E.; BURKHARDT-HOLM, P. Short-term exposure to the environmentally relevant estrogenic mycotoxin ZEN ralenone impairs reproduction in fish. **Science of the Total Environment**, v. 409, p. 326-333, 2010.

SELIM, K. M.; EL-HOFY, H.; KHALIL, R. H. The efficacy of three mycotoxin adsorbents to alleviate aflatoxin B₁-induced toxicity in *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture International**, v. 22, p. 523-540, 2014.

SFORZA, S.; DALL'ASTA, C.; MARCHELLI, R. Recent advances in mycotoxin determination in food and feed by hyphenated chromatographic techniques/mass spectrometry. **Mass Spectrometry Reviews**, v. 25, p. 54-76, 2005.

SHI, L.; LIANG, Z.; LI, J.; HAO, J.; XU, Y.; HUANG, K.; TIAN, J.; ELE, X.; XU, W. Oryzatoxin A biocontrole e biodegradação por *Bacillus subtilis* CW 14. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, p. 1879-1885, 2014.

SNYDER, L. R.; KIRKLAND, J. J.; DOLAN, J. W. **Introduction to Modern Liquid Chromatography**, 3th revised ed. John Wiley & Sons, Hoboken, Nova Jersey, EUA, 2010.

- SOBRANE FILHO, S. T.; JUNQUEIRA, O. M.; LAURENTIZ, A. C.; FILARDI, R. S.; RUBIO, M. S.; DUARTE, K. F.; LAURENTIZ, R. S. Effects of mycotoxin adsorbents in aflatoxin B₁ and fumonisin B₁ contaminated broiler diet on performance and blood metabolite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, p. 250-256, 2016.
- SPANJER, M.; RENSEN, P. M.; SCHOLTEN, J. M. LC–MS/MS multi-method for mycotoxins after single extraction, with validation data for peanut, pistachio, wheat, maize, cornflakes, raisins and figs. **Food Additives & Contaminants Part A**, v. 25, p. 472-489, 2008.
- TANPONG, S.; WONGTANGTINTHARN, S.; PIMPUKDEE, K.; TENGJAROENKUL, B.; KHAJARERN, J. Efficacy of hydrate sodium calcium aluminosilicate and yeast cell wall to ameliorate the toxic effects of aflatoxin in ducks. **Animal Production Science**, v. 57, p. 1637-1644, 2017.
- THOMAS, A. B.; OLOYEDE, T. L.; OGEH, A. V.; SARAH, M.; JOEL, O. Effects of dietary mixed aflatoxin B₁ and fumonisin B₁ on growth performance and haematology of juvenile *Clarias gariepinus* catfish. **Aquaculture**, v. 491, p. 190-196, 2018.
- TIBBETTS, S. M.; MILLEY, J. E.; LALL, S. P. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758). **Aquaculture**, v. 261, p. 1314–1327, 2006.
- TOLA, S.; BUREAU, D. P.; HOOFT, J. M.; BEAMISH, F. W. H.; SULYOK, M.; KRŠKA, R.; ENCARNAÇÃO, P.; PETKAM, R. Effects of wheat naturally contaminated with fusarium mycotoxins on growth performance and selected health indices of red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*). **Toxins**, v. 7, p. 1929-1944, 2015.
- TOLOSA, J.; FONT, G.; MANES, J.; FERRER, E. Natural occurrence of emerging Fusarium mycotoxins in feed and fish from aquaculture. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 12462-12470, 2014.
- TUAN, N. A.; GRIZZLE, J. M.; LOVELL, R. T.; MANNING, B. B.; ROTTINGHAUS, G. E. Growth and hepatic lesions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing aflatoxin B₁. **Aquaculture**, v. 212, p. 311-319, 2002.
- VÉLEZ, E. J.; LUTFI, E.; AZIZI, S. H.; PERELLÓ, M.; SALMERÓN, C.; RIERACODINA, M.; IBARZ, A.; FERNÁNDEZ-BORRÀS, J.; BLASCO, J.; CAPILLA, E.; NAVARRO, I.; GUTIÉRREZ, J. Understanding fish muscle growth regulation to optimize aquaculture production. **Aquaculture**, v. 467, p. 28–40, 2017.
- WALCZAK, M.; JEDZINIĄK, P.; REICHERT, M. Influence of mycotoxins on fish health. **Medycyna weterynaryjna**, v. 74, p. 161-166, 2018.
- WANG, Y.; WANG, F.; JI, W.; HAN, H.; LI, P. Optimizing dietary protein sources for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) with an emphasis on using poultry by-product meal to substitute fish meal. **Aquaculture Research**, v. 46, p. 874-883, 2015.

WOŹNY, M.; OBRĘMSKI, K.; JAKIMIUK, E.; GUSIATIN, M.; BRZUZAN, P. ZEN ralenone contamination in rainbow trout farms in north-eastern Poland. **Aquaculture**, v. 416, p. 209–211, 2013.

YILDIRIM, O.; ACAR, U. Defatted peanut meal (*Arachis hypogea*) as a complementary protein source in diets for mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) fry and effect on fatty acid composition. **Pakistan journal of zoology**, v. 48, p. 1-8, 2016.

YOSSA, R.; SARKER, P. K.; MOCK, D. M.; LALL, S. P.; VANDENBERG, G. W. Current knowledge on biotin nutrition in fish and research perspectives. **Reviews in Aquaculture**, v. 7, p. 59-73, 2015.

YUAN, G.; WANG, Y.; YUAN, X.; ZHANG, T.; ZHAO, J.; HUANG, L.; PENG, S. T-2 toxin induces developmental toxicity and apoptosis in zebrafish embryos. **Journal of Environmental Sciences**, v. 26, p. 917-925, 2014.

ZAHRAN, E.; MANNING, B.; SEO, J.; NOGA, E. J. The effect of Ochratoxin A on antimicrobial polypeptide expression and resistance to water mold infection in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Fish and Shellfish Immunology**, v. 57, p. 60-67, 2016.

ZEBIRI, S.; MOKRANE, S.; VERHEECKE-VAESSEN, C.; CHOQUE, E.; REGHIOUI, H.; SABAOU, N.; MATHIEU, F.; RIBA, A. Occurrence of ochratoxin A in Algerian wheat and its milling derivatives. **Toxin Reviews**, v. 1, p. 1-6, 2018.

ZHOU, F.; SONG, W.; SHAO, O.; PENG, X.; XIAO, J.; HUA, Y.; OWARI, B. N.; ZHANG, T.; NG, W. Partial replacement of fish meal by fermented soybean meal in diets for black sea bream, *Acanthopagrus schlegelii*, juveniles. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 42, p. 184-197, 2011.

ZHOU, H.; GEORGE, S.; LI, C.; GURUSAMY, S.; SUN, X.; GONG, Z.; QIAN H. Combined toxicity of prevalent mycotoxins studied in fish cell line and zebrafish larvae revealed that type of interactions is dose-dependent. **Aquatic Toxicology**, v. 193, p. 60-71, 2017.

**ARTIGO 2 –MICOTOXINAS EM RAÇÕES COMERCIAIS PARA PEIXES
ONÍVOROS: OCORRÊNCIA E BIOACESSIBILIDADE**

RESUMO

O estudo investigou a ocorrência de aflatoxina B₁ (AFB₁) ocratoxina A (OTA) e zearalenona (ZEN) em rações para peixes de regiões sul e norte do Brasil, relacionando o perfil de contaminação com sua composição química e bioacessibilidade, além de expor a relevância da exposição às micotoxinas analisadas sobre a segurança do consumo de ração. O método empregado para a caracterização química seguiu os protocolos estabelecidos pela Association of Official Analytical Chemists, para cinzas, fibras, lipídeos, proteína e umidade. Os carboidratos foram estimados por diferença. Para a extração das micotoxinas foi empregado o método de QuEChERS. Para separação e quantificação foi utilizada cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), com emprego de detector fluorescência (FL). Todas as análises foram realizadas em triplicata. As composições químicas das amostras de rações não apresentaram diferença estatística para os teores de fibras, lipídeos e umidade, entre os estados ($p > 0,05$). Entretanto, observa-se uma diferença entre os teores de carboidratos, cinzas e proteína ($p < 0,05$). Das amostras analisadas, 93,3% apresentaram contaminação por micotoxinas, com nível máximo nas amostras de 16,5 µg/kg para AFB₁, 31,6 µg/kg para OTA e 322,2 µg/kg para ZEN. Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas para a ocorrência de AFB₁ entre os estados ($p > 0,05$), já para OTA e ZEN as rações analisadas no estado do Rio Grande do Sul apresentaram maiores níveis de contaminação ($p < 0,05$) quando comparados às rações provenientes do estado de Rondônia. Em 60% das rações todas as micotoxinas foram detectadas, 13,3% apresentam co-ocorrência de duas das três micotoxinas em estudo. Foi verificado que quanto maior o conteúdo de proteína menor a concentração detectada de AFB₁, o mesmo se aplica à relação existente entre o conteúdo de carboidrato e a concentração de OTA e ZEN. Peixes alimentados com ração contendo os níveis mais elevados de contaminação estão expostos a riscos, seguindo uma ordem decrescente na concentração (µg/kg/dia) para alevino, juvenil e adulto. Além da ingestão das diferentes micotoxinas, foi observado que na ração com maior contaminação de AFB₁, 85% dessa concentração está disponível para absorção pelos peixes.

Palavras-chave: Brasil. Aflatoxina B₁. Ocratoxina A. Piscicultura. Zearalenona.

ABSTRACT

The study investigated the occurrence of aflatoxin B₁ (AFB₁), ochratoxin A (OTA) and zearalenone (ZEN) in diets for fish from southern and northern Brazil, relating the contamination profile to their chemical composition and bioaccessibility, in addition to exposing the relevance of exposure to mycotoxins analyzed on safety of feed consumption. The method used for the chemical characterization followed the protocols established by the Association of Official Analytical Chemists for ash, fiber, lipids, protein and moisture. Carbohydrates were estimated by difference. For the extraction of mycotoxins the QuEChERS method was used. For separation and quantification, a high performance liquid chromatograph (HPLC) was used, using a fluorescence detector (FL). All analyzes were performed in triplicate. The chemical compositions of the feed samples presented no statistical difference for the fiber, lipid and moisture contents, between the states ($p > 0.05$). However, a difference was observed between carbohydrate, ash and protein contents ($p < 0.05$). Of the samples analyzed, 93.3% presented mycotoxin contamination, with a maximum level in the samples of 16.5 $\mu\text{g/kg}$ for AFB₁, 31.6 $\mu\text{g/kg}$ for OTA and 322.2 $\mu\text{g/kg}$ for ZEN. No statistically significant differences were found for the occurrence of AFB₁ among the states ($p > 0.05$), whereas for OTA and ZEN the rations analyzed in the state of Rio Grande do Sul presented higher levels of contamination ($p < 0.05$) when compared to rations from the state of Rondônia. In 60% of the rations all mycotoxins were detected, 13.3% presented co-occurrence of two of the three mycotoxins under study. It was found that the higher the protein content the lower the detected concentration of AFB₁, the same applies to the relationship between the carbohydrate content and the concentration of OTA and ZEN. Fish fed with feed containing the highest levels of contamination are at risk, following a decreasing order of concentration ($\mu\text{g/kg/day}$) for juvenile, juvenile and adult fish. In addition to the ingestion of the different mycotoxins, it was observed that in the diet with the highest contamination of AFB₁, 85% of this concentration is available for absorption by the fish.

Keywords: Brazil. Aflatoxin B₁. Ochratoxin A. Fish farming. Zearalenone.

1 INTRODUÇÃO

A alimentação é considerada o setor de maior importância para a piscicultura podendo representar até 70% dos custos totais dependendo da forma de cultivo adotada (BARONE, 2017). Desta forma, as matérias primas utilizadas para a formulação de rações deverão ser altamente digeríveis, energéticas e em proporções que permitam o máximo de aproveitamento pelos animais (SIMON et al., 2019), tendo como intuito atender as exigências nutricionais dos peixes por sua influencia direta na taxa de crescimento (MELLO et al., 2016), e saúde (KIRON, 2012). Além de interferir em suas funções fisiológicas e reprodutivas, contribuindo para a otimização da produção (LOGATO, 2012).

Qualquer fator que interfira negativamente neste ponto determina prejuízos para o setor piscícola (HUYBEN et al. 2019). Assim, ressalta-se a importância do controle de micotoxinas em rações (GONÇALVES et al., 2018), destacando-se para o setor piscícola a aflatoxina B₁ (AFB₁), ocratoxina A (OTA) e zearalenona (ZEN) por apresentarem maior ocorrência em rações (BARBOSA et al., 2013) e elevada toxicidade para humanos e animais (CHITARRINI et al., 2014).

O conhecimento relativo à quantidade desses metabólitos que podem ser absorvidos pelos animais é essencial, pois a ingestão de ração contaminada pode ocasionar diversos efeitos a saúde dos peixes, ocasionando perdas significativa para o setor (SELIM et al., 2014). Tais efeitos podem variar entre as espécies cultivadas, sexo, idade, hábito alimentar (WALCZAK, JEDZINIAK; REICHERT, 2018). Além de estarem relacionados aos níveis de contaminação existente no alimento, interações tóxicas induzidas por diferentes micotoxinas (OLORUNFEMI et al., 2013), tempo de exposição (DENG et al., 2010) e as formas que as micotoxinas podem ser encontradas nos alimentos, livres ou conjugadas (RYCHLIK et al., 2014).

Portanto, evidenciando a relação entre os aspectos zootécnicos e econômicos relacionados à presença de micotoxinas no setor piscícola, o objetivo deste estudo foi avaliar a ocorrência de AFB₁, OTA e ZEN em rações destinadas a alimentação de peixes, comercializadas em diferentes regiões do Brasil, e relacionar a composição química da ração e bioacessibilidade de AFB₁ para peixes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

2.1.1 Amostras

A coleta das amostras foi realizada conforme o regulamento nº 401/2006 da Comissão Européia (CE) de 23 de fevereiro de 2006, que estabelece os métodos de amostragem e de análise para o controle oficial dos teores de micotoxinas nos gêneros alimentícios (CE, 2006). As amostras de rações destinadas para espécimes onívoras foram adquiridas no comércio local das cidades de Pimenta Bueno e Rolim de Moura, região onde a prática de aquicultura é estabelecida e desenvolvida no estado de Rondônia, e nas cidades de Rio Grande e Pelotas, localizadas no estado do Rio Grande do Sul, região onde a aquicultura é fomentada pela elaboração e implantação de projetos para a piscicultura.

Um total de 15 amostras foi obtido entre dezembro de 2017 e maio de 2018, sendo 7 amostras no estado de Rondônia e 8 no Rio Grande do Sul. Para amostragem, foi estabelecida uma divisão no comprimento das embalagens em três partes iguais a partir das quais foram coletadas amostras primárias (1 kg) da camada superior, central e inferior. Após homogeneização, as amostras foram embaladas, identificadas, vedadas em sacos plásticos estéreis, e mantidas a - 4 °C até a análise.

2.1.2 Padrões analíticos e reagentes

Os padrões analíticos das micotoxinas (AFB₁, OTA e ZEN), enzimas (amilase, pancreatina, pepsina) e sais biliares foram adquiridos da Sigma-Aldrich com pureza >98%. As soluções-trabalho das micotoxinas foram preparadas solubilizando os padrões em tolueno:acetonitrila (98:2, v/v) (AOAC, 2000). A acetonitrila e metanol (grau HPLC) foram obtidos da J.T Baker, já ácido acético da Vetec Química Fina. Todos os solventes foram filtrados em filtro Millipore, com poros de 0,45 µm de diâmetro antes de sua utilização. A água ultrapura foi obtida através da purificação em um sistema Direct-Q UV3® Milipore (resistividade 18,2 MΩ.cm) (Millipore, Bedford, USA. Todos os componentes da fase móvel foram previamente degaseificados em banho ultrassônico.

2.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS

A caracterização química das rações foi realizado conforme AOAC (2000), empregando os métodos nº 935.29, nº 920.87, nº 920.85, nº 991.43 e nº 923.03 para umidade, proteína (6,25), lipídeos, fibras e cinzas, respectivamente. Os carboidratos foram estimados por diferença. Todas as determinações foram realizadas em triplicata e apresentadas por suas respectivas médias.

2.3 DETERMINAÇÃO DAS MICOTOXINAS

2.3.1 Extração

Para a extração das micotoxinas (AFB₁, OTA e ZEN) foi aplicado o método de QuEChERS descrito por Anastassiades et al., (2003) modificado por Seus-Arraché et al. (2018). Para execução do método, primeiramente, as amostras de rações foram trituradas em moinho de facas e peneiradas até obtenção de tamanho de partícula de aproximadamente 0,5 mm. Após, 10 g de amostra foram acondicionados em Erlenmeyer de 250 mL, seguido da adição de 20 mL de água destilada acidificada (1% ácido acético, v/v). Para a limpeza do extrato, adicionou-se à mistura 10 mL de hexano, seguido de homogeneização em agitador orbital por 10 minutos a 150 rpm. A fase contendo hexano foi removida com auxílio de uma pipeta de *Pasteur*. Este procedimento foi repetido duas vezes. Adicionou-se 20 mL de acetonitrila (MeCN), a mistura foi homogeneizada em agitador orbital por 20 min a 250 rpm.

Após, o material foi transferido para tubos falcon de 50 mL, seguido da adição de 6 g de sulfato de magnésio e 1,5 g de cloreto de sódio, e agitado em vórtex por 2 min. Em seguida, a mistura foi centrifugada por 10 min a 3220 xg. Para isso, foram recolhidos 10 mL do sobrenadante, transferidos para tubos falcon de 15 mL, adicionados 0,3 g de sulfato de magnésio e 0,1 g de C18, seguido de homogeneização em vórtex por 30 s, e centrifugada por 10 min a 3220 xg. Foram recolhidos 3 mL do sobrenadante, o qual foi seco sob corrente de nitrogênio a 45 °C. Após completa evaporação do solvente, o resíduo foi dissolvido em 1 mL da fase móvel, composta pela mistura de água ultrapura e acetonitrila (90:10, v/v) para AFB₁, e acetonitrila e água acidificada (60:40, v/v) para OTA e ZEN, centrifugado a 10000 rpm e armazenado para quantificação em cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).

2.3.2 Quantificação e condições cromatográficas

Para a quantificação de AFB₁ utilizou-se as condições estabelecidas por Massarolo et al. (2018), utilizando cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) com detector fluorescência (FL) e derivatizador pós-coluna fotoquímico (Romer Derivatization Unit RDUTM) que excita previamente os analitos com luz UV 254 nm. A eluição cromatográfica foi realizado em coluna Phenomenex Column Chrom-Clone C18 (5µm 150x4,6 mm), à 40 °C, com vazão de 1,0 mL/min com detector de fluorescência padronizado com comprimentos de onda de excitação e emissão de 365 e 440 nm, respectivamente.

Para a quantificação de OTA e ZEN utilizou-se as condições estabelecidas por Garcia (2019), utilizando cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) com detector fluorescência (FL). A eluição cromatográfica foi realizada em coluna Kromasil C18 (5µm 150x4,6 mm), à 40 °C, com vazão de 0,8 mL/min com detector de fluorescência padronizado com comprimentos de onda de excitação e emissão de 333 e 460 nm, respectivamente.

Ambos os métodos foram validados quanto à linearidade, curva analítica no solvente, limite de detecção (LOD), limite de quantificação (LOQ), precisão e exatidão (INMETRO, 2003; BRASIL, 2003). Antes de injetar as amostras, um padrão com concentração conhecida para cada micotoxina era injetado tendo como intuito verificar e confirma o tempo de retenção das micotoxinas analisadas.

2.4 DETERMINAÇÃO DA INGESTÃO DIÁRIA (ID)

Para o presente estudo, a ID foi calculada assumindo os maiores níveis de contaminação por micotoxinas determinados, ingestão média de ração pelos peixes por dia (kg) e massa corporal (kg). Para o cálculo da ID, o peso e a ingestão média de ração estabelecido para alevinos (0,01 kg e 0,0008 kg/dia), (0,07 kg e 0,003 kg/dia) e adultos (0,3 kg e 0,004 kg/dia) com base nos valores disponibilizados na NRC (1993) para tilápia, e estabelecida conforme a Equação 4.

$$IDT \text{ } \mu\text{g/kg/dia} = \frac{\text{ingestão diária de ração } \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}}\right) \times \text{micotoxina na ração } \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{kg}}\right)}{\text{massa corporal (kg)}} \quad (4)$$

2.5 BIOACESSIBILIDADE

2.5.1 Atividade enzimática

A atividade proteolítica foi determinada empregando albumina 0,5% (p/v) como substrato e medindo aminoácido livre, tendo tirosina como indicativo de hidrólise (BARAJ; GARDA-BUFFON; BADIALE FURLONG, 2010). O teor de aminoácido livre foi determinado no extrato enzimático pelo método colorimétrico de Lowry et al. (1951) utilizando uma curva padrão de tirosina (25 – 125 µg/mL). Uma unidade (U) de protease foi definida como a quantidade (µg) de tirosina liberada por minuto.

A atividade da amilase foi determinada pelo método iodométrico (BARAJ; GARDA-BUFFON; BADIALE FURLONG, 2010). O amido residual foi medido por iodometria através da adição de 0,1 mL de iodo 0,3% (em solução de KI 3%). O complexo formado foi quantificado em espectrofotômetro (Biospectro – espectrofotômetro SP-220) a 620 nm usando uma curva padrão de amido (2 – 15 µg/mL). Uma unidade (U) de atividade de amilase foi definida como a quantidade de amido hidrolisado (mg) por min, nas condições do ensaio. A atividade específica da enzima (UA) foi determinada conforme a Equação 1. Onde CIA é a concentração inicial de amido e CFA a concentração final de amido.

$$UA = \frac{CIA - CFA}{\text{proteína solúvel} \cdot \text{min}} \quad (1)$$

O teor de proteína solúvel foi determinado no extrato enzimático pelo método colorimétrico de Lowry et al. (1951) utilizando uma curva padrão de albumina (0,05 – 0,4 mg/mL) para a determinação da atividade específica (UA) conforme a Equação 2.

$$UA = \frac{\text{atividade enzimática}}{\text{proteína solúvel}} \left(\frac{U}{\text{mg}_{\text{proteína}}} \right) \quad (2)$$

2.5.2 Método de digestão gastrointestinal *in vitro*

O ensaio para determinar a bioacessibilidade da ração contaminada naturalmente com AFB₁ (16,5 µg/kg) foi realizado utilizando amilase (0,65 U/mg), pepsina (3,7 U/mg) e pancreatina (0,16 U/mg), que atuam durante o processo de digestão, simulando as condições

prevalentes no trato gastrintestinal dos peixes. O modelo de digestão *in vitro* utilizado neste estudo segue o proposto por Cabañero; Madrid e Cámara (2004).

No primeiro estágio, para simular as condições gástricas, 12 g de amostra foram acondicionadas em frasco de polietileno de 100 mL, ao qual foram adicionados 37,5 mL de suco gástrico (6% m/v pepsina em 0,15 M NaCl acidificado a um pH de 1,8 com HCl), agitado durante 1 minuto para que fosse iniciada a digestão. O frasco com a mistura foi colocado em banho-maria com agitação por 4 horas a 37 °C, após 1 hora o pH foi verificado e ajustado para 3 com ácido clorídrico (HCl-6M).

Após a digestão gástrica, foi adicionado bicarbonato de sódio saturado para ajuste do pH para 6,8, e 20 mL de suco intestinal (1,5 % m/v pancreatina, 0,5 % m/v amilase e 0,15 % sais biliares com 0,15 M de NaCl) agitado por 1 minuto. A mistura foi colocada novamente em banho-maria por 4 horas a 37 °C. Após completada a digestão gastrointestinal, a solução gástrica e gastrointestinal foram acondicionadas em tubos falcon de 50 mL e centrifugadas a 3220 xg por 30 min. O sobrenadante (digerido) foi separado do precipitado (fração não digerida), e armazenados a - 4 °C para posterior extração de micotoxinas.

2.5.3 Determinação de AFB₁ após processo de digestão

A extração e quantificação de AFB₁ foram realizadas na fração digerida (sobrenadante) e não digerida. Para a fração não digerida foi utilizada a extração estabelecida no item 2.3.1 e de quantificação de acordo com o item 2.3.2.

Para a fração digerida foi utilizado o procedimento estabelecido por Sobral et al. (2019). Para isso, duzentos microlitros (200 µL) de amostra digerida obtida conforme descrito na Seção 2.5.2 foram transferidos para tubos eppendorfs. Após foi adicionado 200 µL de acetonitrila acidificado com 1% de ácido fórmico (v/v), 70 mg de MgSO₄ anidro e 10 mg de NaCl e imediatamente os tubos foram agitados durante 10 s para evitar a aglomeração dos sais. Os tubos foram então centrifugados a 3220 xg por 5 minutos para induzir a separação de fases e a partição de micotoxinas. A fase orgânica foi transferida para um frasco de 2 mL e evaporada sob corrente de nitrogênio a 45 °C. Após completa evaporação do solvente, o resíduo foi reconstituído em 200 µL de fase móvel nas mesmas proporções estabelecidas no item 2.3.1, centrifugado a 3220 xg e quantificado conforme item 2.3.2.

A bioacessibilidade de AFB₁ em ambas as frações foi calculada de acordo com a Equação 3, proposta por Jadan-Piedra et al. (2017). Onde *A* é a concentração de micotoxina nas frações digeridas e *B* é a concentração de micotoxina na ração antes do processo de digestão.

$$\text{Bioacessibilidade (\%)} = (A/B) * 100 \quad (3)$$

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para os resultados obtidos dos experimentos foram testados pressupostos para a aplicação da análise de variância (ANOVA). Quando necessário os dados foram transformados para ajuste aos pressupostos da análise. As análises estatísticas foram realizadas no software R, com um nível de significância de 5%. A análise de componentes principais (PCA) foi realizada no software Past, e aplicada ao conjunto de dados referente a ocorrência de micotoxinas e caracterização química das rações, a fim de se verificar possíveis relações entre as variáveis.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 COMPOSIÇÃO DAS RAÇÕES

A exigência nutricional de um animal varia em função de fatores como: peso vivo, categoria, estado fisiológico, uso de promotores de crescimento e fatores ambientais. Assim como outros animais, os peixes da piscicultura exigem uma nutrição adequada (ASADUZZAMAN et al., 2017), estando suas exigências nutricionais relacionadas diretamente ao seu hábito alimentar, além de outros fatores como fase de desenvolvimento e sistema de produção adotado (NUNES et al., 2014).

Para isso são utilizados diversos ingrediente na composição das rações, como consequência, o valor ou o potencial de utilização de um ingrediente em uma ração está relacionado às respostas que sua presença reflete no crescimento dos peixes, na qualidade da ração (KOCH et al., 2016), e também no seu valor comercial (UZCÁTEGUI-VARELA et al., 2014).

Em relação à composição, não foram encontradas diferenças estatísticas significativas para os teores de fibra, lipídeo e umidade entre as rações ($p > 0,05$), entretanto, observa-se diferença entre carboidratos, cinzas e proteína quando comparadas rações amostradas entre os estados ($p < 0,05$). As amostras coletadas no Rio Grande do Sul apresentaram teores de cinzas e proteínas mais elevados, já os teores de carboidratos foram mais elevados em Rondônia (Tabela 1).

Os teores de cinzas podem estar relacionados as diferentes matérias-primas vegetais utilizadas na fabricação das rações, pois estas possuem alto teor de lisina, bons níveis de vitaminas do complexo B e minerais (Ca e P) (SONLTAN et al., 2008). Já a variação nos teores de carboidratos e proteínas estão relacionados a disponibilidade de matérias-primas disponíveis nas regiões e também as exigências nutricionais das espécies cultivadas.

Tabela 1 - Composição química das rações analisadas.

UF	R	Carboidratos	Cinzas	Fibras	Lipídeos	Proteínas	Umidade
RS	1	45,2 (0,4)	9,4 (1,2)	2,4 (3,6)	5,3 (9,8)	28,8 (3,2)	8,9 (1,4)
	2	29,1 (6,2)	13,1 (0,8)	0,8 (7,9)	4,6 (2,0)	43,2 (4,1)	9,2 (0,3)
	3	38,2 (1,3)	9,2 (1,0)	1,9 (4,9)	3,5 (4,2)	36,8 (2,0)	10,5 (0,5)
	4	36,2 (2,3)	16,1 (1,8)	2,6 (3,1)	3,5 (5,5)	32,6 (2,1)	9,1 (1,4)
	5	32,1 (7,3)	10,4 (4,2)	0,8 (3,9)	5,4 (5,1)	41,4 (7,0)	9,9 (0,2)
	6	26,2 (4,7)	9,1 (6,9)	0,3 (1,5)	2,4 (7,9)	53,4 (4,6)	8,7 (1,3)
	7	38,2 (1,3)	9,2 (1,0)	1,9 (4,9)	3,51 (4,2)	36,7 (2,0)	10,5 (0,5)
	8	26,3 (7,8)	14,8 (2,7)	0,13 (8,4)	4,0 (7,1)	45,1 (5,5)	9,7 (0,9)
RO	1	41,7 (1,7)	12,7 (0,9)	1,5 (2,6)	2,8 (0,5)	31,4 (2,7)	10,0 (0,7)
	2	44,0 (4,7)	7,8 (0,4)	3,2 (0,9)	1,6 (6,8)	33,9 (6,2)	9,5 (0,4)
	3	30,4 (11,1)	16,1 (1,2)	0,9 (4,2)	4,4 (5,4)	39,7 (7,9)	8,6 (0,5)
	4	44,3 (3,2)	11,2 (0,8)	0,9 (11,0)	3,4 (7,3)	30,5 (6,1)	9,7 (1,6)
	5	36,3 (7,7)	7,3 (0,9)	2,2 (3,7)	8,0 (6,6)	36,2 (6,3)	10,0 (1,6)
	6	49,9 (5,6)	6,1 (0,7)	1,9 (4,1)	4,4 (2,7)	27,2 (9,9)	10,0 (0,9)
	7	27,6 (4,2)	8,8 (0,7)	0,5 (4,4)	1,0 (3,9)	53,4 (2,4)	8,7 (0,1)
ANOVA	F	7,71	5,36	2,12	3,84	5,08	0,003
	p	<0,05	<0,05	0,15	0,06	<0,05	0,96

UF = unidade federativa; RS = Rio Grande do Sul; RO = Rondônia; AL = alevino; J = juvenil; A = adulto;
 Dados apresentados como percentual da média (coeficiente de variação) em base úmida.

3.2 VALIDAÇÃO DE MÉTODO

Para a detecção de AFB₁ foi utilizado o método de separação proposto por Massarolo et al. (2018) e para OTA e ZEN por Garcia (2019), as condições de temperatura e vazão de cada método 2.2.3 propiciaram a separação dos analitos. Os cromatogramas de eluição obtidos para ambos os métodos estão ilustrados na Figura 1. Para a eluição de AFB₁ o tempo de retenção foi de 13,6 minutos, já para OTA e ZEN foram necessários 4,8 e 5,4 minutos, respectivamente.

Os resultados mostraram que o procedimento cromatográfico foi adequado para quantificação das micotoxinas, uma vez que seus indicadores cumprem as recomendações de análise de confiabilidade, conforme a ANVISA (2003) e o INMETRO (2003). Desta forma, o método pode ser empregado para determinação de ocorrência das micotoxinas analisadas, pois apresentou valores de recuperação dentro dos limites recomendados pelas diretrizes da Comissão Européia que faz recomendações específicas para desempenho de ensaios de recuperação (2006/401/EC) para concentrações inferiores a 1 µg/kg (EC, 2006) (Tabela 2).

Figura 1 – Cromatograma da eluição dos padrões de AFB₁ (A) e OTA e ZEN (C), e das amostras de ração naturalmente contaminadas com AFB₁ (B) e OTA e ZEN (D).

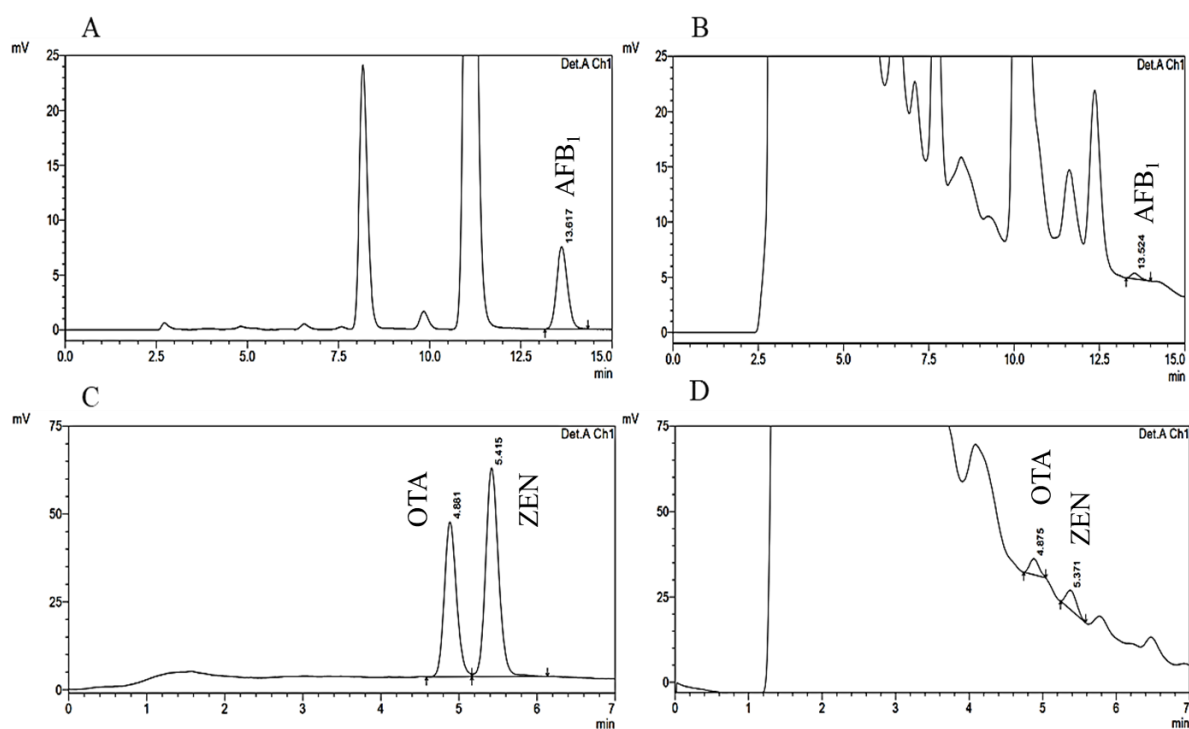


Tabela 2 - Recuperações obtidas para AFB₁, OTA e ZEA nas rações.

Níveis	Recuperação (%)		
	AFB ₁	OTA	ZEN
1º - 3LOQ	87,5 (4,7)	85,5 (1,6)	86,2 (2,2)
2º - 6LOQ	108,3 (7,7)	75,5 (3,5)	95,8 (4,3)

3.2 OCORRÊNCIA DE MICOTOXINAS NAS RAÇÕES

Os resultados de ocorrência para as micotoxinas analisadas em rações estão apresentados na Tabela 3. A faixa de contaminação nas amostras variou de 0,1 a 16,5 µg/kg para AFB₁, de 2,2 a 31,6 µg/kg para OTA, e de 75,9 a 322,2 µg/kg para ZEN. Através das análises, constatou-se que 93,3% das amostras analisadas estavam contaminadas. A co-ocorrência foi verificada em 60% das rações, de modo que todas as micotoxinas foram detectadas, e 13,3% apresentam co-ocorrência de duas das três micotoxinas em estudo. Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas para a ocorrência de AFB₁ entre os estados ($p > 0,05$), já para OTA e ZEN, as rações comercializadas no estado do Rio Grande do Sul apresentaram maiores níveis de contaminação ($p < 0,05$) quando comparados às rações provenientes do estado de Rondônia (Tabela 3).

Tabela 3 - Ocorrência de micotoxinas em rações comercializadas nos estados do RS e RO.

UF	R	AFB ₁ (µg/kg)	OTA (µg/kg)	ZEN (µg/kg)
RS	1	16,5 (2,5)	5,8 (0,1)	171,6 (2,8)
	2	<LD	<LD	136,1 (6,8)
	3	0,3(1,8)	30,3 (9,3)	185,9 (7,4)
	4	1,0 (0,3)	<LD	<LD
	5	0,9 (0,9)	31,6 (6,3)	285,5 (1,2)
	6	<LD	27,5 (3,4)	322,2 (0,7)
	7	0,4 (0,8)	4,2 (1,3)	123,0 (0,8)
	8	6,3 (1,1)	10,6 (2,2)	75,9 (3,9)
RO	1	0,1 (5,8)	<LD	22,9 (2,3)
	2	10,2 (8,6)	24,4 (10,8)	108,2 (6,2)
	3	1,9 (1,9)	2,4 (3,3)	27,2 (10,3)
	4	<LD	<LD	<LD
	5	1,2 (5,1)	7,1 (4,2)	141,7 (5,5)
	6	6,5 (7,0)	2,2 (8,9)	305,8 (2,0)
	7	7,5 (5,6)	4,0 (6,2)	<LD
ANOVA	F	2,10	5,27	11,72
	p	0,15	<0,05	<0,05

R = ração; RO = Rondônia; RS = Rio Grande do Sul; UF = unidade federativa.

Dados apresentados como percentual da média (coeficiente de variação) referente a determinação de ocorrência realizadas em triplicatas.

Os níveis de contaminação nas rações analisadas (Tabela 3) não ultrapassaram os limites máximos tolerados, conforme estabelecido pela Portaria MA/SNAD/SFA No. 07, de 09

de novembro de 1988 do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2003). Entretanto, quando comparado aos limites máximos estabelecidos pela legislação da União Européia, os níveis de contaminação para AFB₁, OTA e ZEN encontram-se acima dos permitidos para rações e matérias-primas a serem utilizadas diretamente ou como ingrediente para rações destinadas ao consumo animal. Vale ressaltar que a Portaria MA/SNAD/SFA nº 07 estabelece apenas os níveis máximos para AFB₁ (50 µg/kg) em alimentos e rações destinadas ao consumo animal, não possuindo valores de orientação para as demais micotoxinas.

Porém, o estabelecimento dos limites máximos tolerados para OTA e ZEN é primordial para o setor piscícola, pois Pietsch et al. (2015), conduzindo ensaios alimentares para avaliar os efeitos de ZEN em carpa (*Cyprinus carpio L.*), constataram que concentrações similares às encontradas nas rações em estudo (332 µg/kg) podem provocar efeitos negativos às células imunitárias dos animais em um curto período de exposição.

Mansour et al. (2015) avaliando o efeito de OTA em diferentes concentrações (80 e 160 µg/kg) para alevinos de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*), relataram que esta micotoxina pode afetar os parâmetros zootécnicos e índice gonadossomático, além de ocasionar baixo consumo de ração pelos animais. Já Deng et al. (2010), avaliando diferentes concentrações para esta mesma espécie (19, 85, 245, 638, 793 e 1641 µg/kg), constataram que após a 20ª semana de suplementação os animais apresentaram redução do crescimento, desordens hepáticas induzidas, resultando em diminuição do conteúdo lipídico e índice hepatossomático, além de apresentarem diminuição da atividade do citocromo P450.

Vários estudos reportaram a incidência de micotoxinas similares aos determinados neste estudo para rações destinadas a piscicultura. No Brasil, Massocco (2016) reportou níveis máximos de contaminação variando entre 1,4 e 1,2 µg/kg para AFB₁ e AFG₁, respectivamente, na região sudeste. Gonçalves-Nunes et al. (2015) avaliaram a presença de AFB₁ em rações para peixe no nordeste do Brasil, e detectaram níveis médios de 3,8 µg/kg. Buck (2005) detectou níveis de aflatoxinas totais (AFLAs) entre 7,84 e 26,49 µg/kg na região sul. Barbosa et al. (2013) na região centro oeste constatou que 55 e 3,3% das amostras de rações analisadas estavam contaminadas individualmente com AFB₁ e OTA, respectivamente, em níveis detectáveis, mas não quantificáveis para a técnica utilizada.

Mwihia et al. (2018) determinaram a ocorrência de AFLAs em alimentos para peixes em Nyeri, no Quênia. Os autores encontraram níveis de contaminação variando de 1,8 a 39,7 µg/kg. Woźny et al. (2013) indicam que a ração animal pode ser uma possível fonte de contaminação para os peixes, pois avaliando a ocorrência de ZEN em rações destinadas a truta arco-íris no nordeste da Polônia encontraram concentração de até 81,8 µg/kg. Olorunfemi et al.

(2013) avaliaram o nível de contaminação por micotoxinas nas indústrias de rações para peixes em diferentes zonas agroecológicas na Nigéria, e encontraram alta incidência de fumonisina B1 (FB₁) (900,9 µg/kg), seguido de fumonisina B2 (FB₂) (220,6 µg/kg), AFB₁ (103,0 µg/kg), e ZEN (4,5 µg/kg). Abdelaziz; Anwer; Abdelrazek (2010) ao avaliar a presença de micotoxina em rações para peixes no Cairo, reportaram níveis máximos para AFLAs e OTA de 15,22 µg/kg e 5,6 µg/kg, respectivamente.

Alguns fatores são considerados propícios e vitais para proliferação fúngica e possível síntese de micotoxinas em uma determinada matriz alimentar durante o armazenamento, sendo elas: temperaturas ambientais acima de 27 °C, níveis de umidade superiores a 62% e níveis de umidade no alimento acima de 14% (MAHFOUZ; SHERIF, 2015). Desta forma, fica evidenciado que a presença de micotoxinas nas rações avaliadas não estão relacionadas às condições de armazenamento, pois os valores de umidade apresentados na Tabela 1 não contribuem para proliferação fúngica, evidenciando assim as Boas Práticas de Fabricação (BPF) nas indústrias de rações, bem como no armazenamento destes produtos nos estabelecimentos comerciais em ambos os estados.

Desta forma, sugere-se que os níveis de contaminação estão diretamente relacionados à qualidade das matérias primas utilizadas no processo produtivo das rações. Gonçalves et al. (2017) relatam que a incidência de micotoxinas nas rações está relacionada à tendência em substituir as fontes proteicas de origem animal por fontes proteicas de origem vegetal. Na verdade, não existe formulação de ração sem a utilização de alimentos vegetais, logo sua presença na formulação de rações é indispensável (CAVALHEIRO et al., 2014).

Dentre os componentes das fontes vegetais utilizadas, o amido apresenta-se como a principal fonte de carboidratos em rações para peixes (GOMINHO-ROSA et al., 2015). Sua presença no processo produtivo de ração é indispensável, estabelecendo-se como componente essencial para o processo de expansão e aglutinação do produto final, além de alta estabilidade para rações flutuantes (CYRINO; FRACALOSSO, 2012). A quantidade mínima de amido necessária para garantir boa flutuabilidade é de 20% (MORO; RODRIGUES, 2015). Além disso, seus níveis de inclusão podem variar de acordo com as necessidades nutricionais, fase de desenvolvimento e hábito alimentar das espécies cultivadas (COUTINHO et al., 2018).

Normalmente, o milho é utilizado como a principal fonte de amido na formulação de rações para organismos aquáticos. Entretanto, outras fontes de amido podem ser empregadas como arroz, soja, sorgo, e trigo (RACHMAWATI; SAMIDJAN, 2018). Contudo, estudos desenvolvidos em diversas regiões do Brasil e no mundo, apontam que esses substratos podem estar contaminados por micotoxinas (ARENHARDT, 2015; QUEIROZ et al., 2012;

VALMORBIDA et al., 2017; SAVI et al., 2018). Comprovando este fato, Gonçalves-Nunes et al. (2015) avaliaram a ocorrência de AFB₁ em matérias-primas utilizadas na fabricação de rações para piscicultura na região nordeste do Brasil, constatando que todas as matérias-primas estavam contaminadas, apresentando maiores níveis de contaminação em farelos de soja e milho.

Jakić-Dimić et al. (2005), estudando a ocorrência de metabólitos fúngicos nas principais fontes de carboidratos em rações para peixes na Sérvia, constataram que AFB₁, OTA e ZEN são as mais frequentes, e o maior grau de contaminação ocorre em amostras de milho. Gonçalves et al. (2017) avaliaram a ocorrência de micotoxinas em farelo de soja, trigo, farelo de trigo, milho, farelo de glúten de milho, farelo de colza, farelo de algodão e farelo de arroz em amostras oriundas da Europa (Dinamarca, Áustria, Holanda e Alemanha) e Ásia (Vietnã, Indonésia e Mianmar), verificaram a presença de micotoxinas na maioria das amostras. Para as amostras asiáticas era frequente a ocorrência de ZEN, DON e fumonisina, enquanto amostras europeias apresentaram maior ocorrência de ZEN e DON.

A presença destes metabólitos em rações para aquicultura pode ser atribuído às características de estabilidade térmica das micotoxinas, que podem persistir no alimento mesmo após os processos usuais de industrialização como a extrusão, onde são empregadas altas pressões e temperaturas (PANKAJ; SHI; KEENER, 2018). Desta forma, pode ser evidenciado um acúmulo desses compostos ao longo da cadeia produtiva em alimentos processados (EMBABY et al., 2015), principalmente quando existe co-ocorrência de micotoxinas na matriz utilizada, aumentando a probabilidade de o produto final (e.g rações para peixes) estar contaminado (GONÇALVES et al., 2017).

A ocorrência desses metabólitos também pode estar condicionada ao tempo de armazenamento, interações entre micro-organismos (ONO et al., 2002; TANAKA et al., 2017) e principalmente a relação entre temperatura e umidade (CHOI et al., 2015). A contaminação dos grãos no campo é influenciada primariamente pelas condições climáticas regionais e pelas características da planta hospedeira (KRNJAJA et al., 2019). Desta forma, a região onde os grãos são cultivados e armazenados contribuem para a contaminação das rações ou aumento dos níveis de micotoxinas.

No presente estudo, as amostras foram coletadas em diferentes regiões do Brasil. Em virtude de sua vasta extensão territorial, o clima no Brasil difere de acordo com as regiões do território nacional. Na região sul, onde parte das amostras foram coletadas, as condições climáticas se caracterizam por apresentar umidade relativa alta, baixas temperatura e alta precipitação pluviométrica. Já a região norte, se caracteriza por apresentar condições climáticas

tropicais, apresentando regime pluviométrico caracterizado por uma estação seca e outra chuvosa (CAVALCANTI, et al., 2016).

Desta forma, informações sobre a distribuição de micotoxinas nos produtos agrícolas e *commodities* em todo o território nacional é de grande importância. Na região sul, dados de ocorrência de micotoxinas em *commodities* agrícolas são abundantes, principalmente em arroz e trigo, pois a região apresenta condições climáticas propícias para o desenvolvimento e cultivo destes cereais (ALMEIDA et al., 2012; HARCKBART et al., 2012; MENDES et al., 2015; DOMENICO et al., 2016; SAVI et al., 2018; SEUS-ARRACHÉ et al., 2018). Porém pra a região norte, em especial Rondônia, estado considerado o terceiro maior produtor de grãos da região, com destaque a nível nacional para a produção de soja e milho, dados sobre a ocorrência de micotoxinas são incipientes e escassos, sendo o trabalho de Valmorbida et al. (2017) pioneiro para este setor.

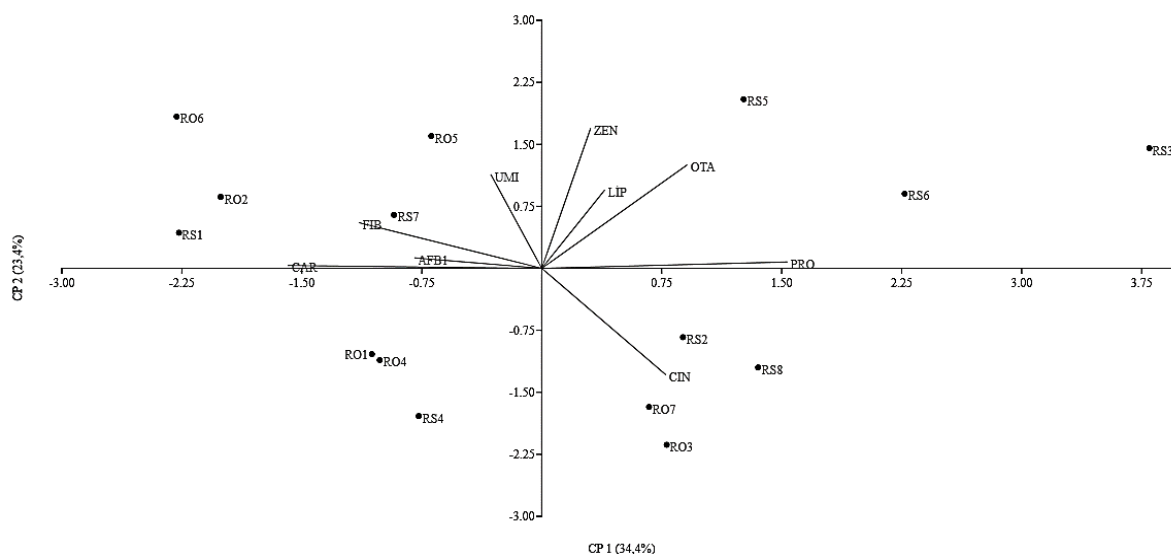
Desta forma, fica evidente a necessidade de estudos para estabelecer os limites máximos de micotoxinas para o setor piscícola, contribuindo com segurança alimentar e nutricional das espécies cultivadas.

3.3 CORRELAÇÃO ENTRE COMPOSIÇÃO QUÍMICA E OCORRÊNCIA DE MICOTOXINAS

Para entender a relação entre a composição química das rações e a ocorrência de micotoxinas, foi realizado a Análise de Componentes Principais (ACP). ACP tem como fundamento a geração de novas variáveis, denominadas componentes principais, para explicar a variabilidade dos resultados, além de evidenciar a correlação entre as diferentes variáveis estudadas.

Neste trabalho, a variabilidade dos resultados foi simplificada por duas componentes, a componente 1 que explica 34,4% e a componente 2 que explica 23,4% (Figura 2). Através da ACP podemos observar uma interação entre OTA e ZEN. A correlação de Pearson mostra uma relação positiva e significativa entre a essas micotoxinas ($R: 0,59$, $p = 0,019$), indicando que ambas podem ocorrer de forma simultânea nas rações. Observa-se relação positiva entre OTA, ZEN e lipídeos, entretanto não significativa ($p > 0,05$). O mesmo ocorre para AFB₁, carboidratos, fibras e umidade. Outro ponto a ser analisado é a relação inversa e negativa indicada pelo ângulo aproximado de 180 °C entre AFB₁ e proteínas. E também entre o ângulo aproximado de 90 °C carboidratos e a contaminação por OTA e ZEN.

Figura 2 - Análise de componentes principais.



CAR = carboidratos; CIN = cinzas; FIB = fibras; LIP = lipídeos; UMI = umidade.

As demais componentes se referem às rações analisadas, as duas primeiras letras se referem ao estado, o número que segue se refere ao código de cada ração.

O teor de água nos alimentos é responsável por estabelecer um nível de atividade de água para o qual prevalece uma determinada espécie de fungo e posterior síntese de micotoxina. Os gêneros fúngicos *Aspergillus* e *Penicillium*, responsáveis pela síntese de várias micotoxinas, entre elas AFB₁ e OTA apresentam maior incidência durante o armazenamento dos grãos (RICHARD, 2007). Já o gênero *Fusarium*, principal produtor de ZEN, ocorre nos campos de cultivo (SANTIN, 2005). *Aspergillus*, no entanto, apesar de ser um gênero fúngico de armazenamento, apresenta alta capacidade de adaptação a uma variedade de ambientes e tipos de substratos que pode colonizar, podendo persistir no alimento mesmo quando estes possuem baixa atividade de água, como grãos e rações (GRECO et al., 2015).

Makun et al. (2011) avaliando a presença de micotoxinas em amostras de arroz de áreas distintas na Nigéria, constataram que a OTA e ZEN apresentaram ocorrência significativa (66,7 e 53,4%) e em altas concentrações (341 e 41,9 µg/kg). Os autores justificam a alta contaminação em função das condições prolongadas de tempo frio e úmido, utilização de variedades de trigo pouco resistentes e a não utilização de rotação de culturas. Domijan et al. (2005) e Pleadin et al. (2012) afirmam que os níveis de ZEN em amostras de milho coletadas na Croácia estão diretamente relacionados às chuvas constantes durante o ciclo do cultivo e baixas temperaturas.

Olajuyigbe et al. (2014), avaliando a ocorrência de AFB₁ em rações para peixe em Lagos na Nigéria, encontraram concentrações médias de 13,69 µg/kg, similares às analisadas

neste estudo. Os autores atribuíram a ocorrência desta micotoxina à contaminação da matéria-prima, condições de processamento, manuseio e armazenamento inadequadas. Desta forma, supõe-se que os níveis de contaminação mais elevados de OTA e ZEN em rações coletadas no estado do Rio Grande do Sul estejam relacionados às variações climáticas sofridas pelos grãos durante o cultivo.

A interação positiva entre lipídeos, OTA e ZEA pode estar relacionada as vias de síntese desses compostos com base na concentração de acetil-CoA intramitocondrial. No caso da ocratoxina A, o grupo isocumarina é formado de acetato e malonato via poliquetídio. A porção heterocíclica é estruturalmente derivada do espalhamento do metabólico fúngico meleína. Um átomo de cloro (clorina) é incorporado ao pentaquetídio pela ação de uma cloroperoxidase. A unidade C₁ é adicionada e oxidada por um grupo carboxil do C₈. A L-fenilalanina derivada da via do ácido chiquímico é ligada ao grupo carboxil adicional (YOSHIZAWA, 2001). Já, a Zearalenona é sintetizada pela via do acetato-polimalonato, resultando na condensação de unidades de acetato dentro de um poliquetídeo, sendo as demais vias idênticas as da Ocratoxina A (SHIER, 1998).

A relação negativa entre os níveis de contaminação por AFB₁ e teor de proteína presente nas rações, e também entre os teores de carboidratos e a contaminação por OTA e ZEN, demonstram que quanto maior o conteúdo de carboidrato e proteína, menor será a concentração de micotoxina detectada. Isso pode ser evidenciado pelos valores relativos à composição química e ocorrência de micotoxina apresentados nas Tabela 1 e 3, respectivamente.

Esse fato pode ser elucidado quando levamos em consideração a possível disponibilidade de carboidratos não havendo estresse para crescimento fúngico das espécies produtoras de OTA e ZEA, e também a forma com que as micotoxinas podem ser encontradas nos alimentos, livres ou ligadas. As micotoxinas ligadas podem apresentar-se conjugadas a biopolímeros (e.g proteínas e carboidratos), e serem liberadas diretamente no trato gastrointestinal após o processo de digestão na sua forma livre (BROEKAERT et al., 2015). O processo de conjugação de micotoxinas pode ocorrer de forma natural pelo metabolismo das plantas, ou de forma involuntária, quando alimentos contaminados são submetidos a processos industriais, como aquecimento e fermentação (BERTHILLER et al., 2009), resultando na redução dos seus níveis iniciais (SILVA et al., 2019) ou alterações químicas, resultando em compostos menos tóxicos que seus precursores (STOEV, 2015).

Desta forma, no contexto de avaliação de risco, a ocorrência de micotoxinas em rações é de grande importância uma vez que ao serem liberadas diretamente no trato

gastrointestinal podem ocasionar danos graves aos animais (ADESSO et al., 2017). Estimar esses valores é primordial para garantir a segurança alimentar, procurando determinar limites de exposição às micotoxinas presentes nas rações, abaixo dos quais não são esperados efeitos adversos à saúde dos peixes. Tais valores podem ser regulamentadas com base em sua ingestão diária. A Tabela 4 resume a ingestão diária (ID) estimada em termos de concentração máxima das micotoxinas em estudo para tilápias expostas à ração contaminada com as maiores concentrações encontradas em estudo.

Tabela 4 – Determinação da ingestão diária de micotoxinas para tilápia.

Estágio de vida	Ingestão média (µg/kg/dia)		
	AFB ₁	OTA	ZEN
Alevino	1,3	2,5	25,7
Juvenil	0,7	1,3	13,8
Adulto	0,2	0,4	4,2

Analisando os dados, podemos verificar que peixes jovens estão expostos a concentrações mais elevadas de micotoxinas em sua alimentação. Desta forma, apesar de não existirem regulamentações relativas aos valores de ingestão de micotoxinas para espécies ícticas, e o efeito de esses compostos variarem entre as espécies e estágio de vida. Os valores de ID reportados para tilápia podem ser considerados de grande risco para a espécie, pois quando avaliado a bioacessibilidade de AFB₁, 85% do seu conteúdo está passível para ser absorvido pelos peixes.

Assim, o conhecimento sobre os níveis de ingestão de micotoxinas, bioacessibilidade e interação destas com biopolímeros constituem fatores fundamentais para avaliar o seu significativo risco à saúde dos peixes. Thomas et al. (2018) observaram que a suplementação dietética para juvenis de catfish (*Clarias gariepinus*) com AFB₁ em concentrações similares às reportadas em estudo (2 µg/kg), acarretaram em reduções significativas ($p < 0,05$) na média de comprimento, ganho de peso e taxa de crescimento específico.

Estes valores podem apresentar riscos não apenas para os peixes, mas também para a saúde humana. Fato esse comprovado por Michelin et al. (2016) que avaliaram a transferência de AFB₁ (10 µg/kg) da ração para *Astyanax altiparanae*, constatando que após 90 dias de suplementação alimentar a concentração da micotoxina nas amostras de músculo animal foram superiores às doses administradas. Os efeitos ocasionados por essa micotoxina são baseados em

sua 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; WU; KUCA, 2014).

Já a OTA é rapidamente absorvida no estômago, devido às suas características químicas, em seguida apresenta uma absorção lenta a nível intestinal, passando posteriormente para o sangue ligando-se à albumina e distribuída aos órgãos. A OTA é um tóxico cumulativo com uma rápida absorção mas, com uma eliminação lenta (SOUZA et al., 2010). A ZEN apresenta baixa toxicidade aguda para animais, entretanto apresenta risco à saúde devido a sua forte atividade estrogênica, podendo se ligar tanto aos receptores de estrogênio alfa como beta, agindo como um disruptor endócrino (KOWALSKA et al., 2018).

4 CONCLUSÃO

Através das análises constatou-se que 93,3% das amostras estavam contaminadas, com níveis máximos nas amostras variando de 16,5 para AFB₁, 31,6 e 322,2 µg/kg⁻¹ para OTA e ZEN, respectivamente. OTA e ZEN apresentaram níveis de contaminação mais elevados ($p < 0,05$) no sul.

Através da Análise de Componentes Principais, verificou-se que altos teores de carboidrato e proteína permitem uma menor extração das micotoxinas da matriz analisada.

Peixes alimentados com ração contendo níveis de 16,5 µg/kg de AFB₁, 31,6 µg/kg de OTA e 322,2 µg/kg de ZEA estão expostos a riscos significativos, seguindo uma ordem decrescente na concentração (µg/kg/dia) para alevino, juvenil e adulto de diária.

Pelo teste de bioacessibilidade *in vitro* para AFB₁ constatou-se que 85% desse metabólito estão passíveis de serem absorvidos pelos peixes.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAS, T. S.; TERJESSEN, B. F.; SIGHOLT, T.; HILLESTAD, M.; HOLM, J.; REFSTIE, S.; BAEVERFJORD, G.; RØRVIK, K. A.; SØRENSEN, M.; OEHME, M.; ÅSGÅRD, T. Nutritional responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets with different physical qualities at stable or variable environmental conditions. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, p. 657-670, 2011.

ABDELAZIZ, M.; ANWER, W.; ABDELRAZEK, A. H. Field study on the mycotoxin binding effects of clay in *Oreochromis niloticus* feeds and their impacts on the performance as well as the health status throughout the culture season. **Interdisciplinary Bio Central**, 2, p. 1-6, 2010.

ADESSO, D.; AUTORE, G.; QUARONI, A.; POPOLO, A.; SEVERINO, L.; MARZOCCO, S. The food contaminants nivalenol and deoxynivalenol induce inflammation in intestinal epithelial cells by regulating reactive oxygen species release. **Nutrients**, v. 9, p. 1-17, 2017.

ALMEIDA, L. C.; AVILEZ, I. M.; HONORATO, C. A.; HORI, T. S. F.; MORAES, G. Growth and metabolic responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed different levels of protein and lipid. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, p. 254-262, 2011.

ALMEIDA, M. I.; ALMEIDA, N. G.; CARVALHO, K. L.; GONÇALVES, G. A. A.; SILVA, C. N.; SANTOS, E. A.; GARCIA, J. C.; VARGAS, E. A. Co-occurrence of aflatoxins B₁, B₂, G₁ and G₂, ochratoxin A, zearalenone, deoxynivalenol, and citreoviridin in rice in Brazil. **Food Additives and Contaminants**, v. 29, p. 694–703, 2012.

ANASTASSIADES, M.; LEHOTAY, S.; STAJNBAHER, D.; SCHENCK, F. J. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and dispersive solid-phase extraction for the determination of pesticide residues in produce. **Journal of AOAC International**, v. 86, p. 412-431, 2003.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of International**. 17th, 2000. CD-ROM.

ARENHARDT, A. L. **Deteção e caracterização de fungos e micotoxinas associadas aos grãos de milho armazenados na região de sorriso e Sinop - MT**. Mestrado (Dissertação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato, Cuiabá, MT.

ASADUZZAMAN, M.; IKEDA, D.; ABOL-MUNAFI, A. B.; BULBUL, M.; ALI, M. E.; KINOSHITA, S.; WATABE, S.; KADER, M. A. Dietary supplementation of inosine monophosphate promotes cellular growth of muscle and upregulates growth-related gene expression in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 468, p. 297–306, 2017.

BAPTISTA, C.; DELLOVA, D.; DONATI, G.; CEZÁRIO, G.; REAL, J. V.; LINO, J.; ALBUQUERQUE, L.; SANTOS, M.; OLIVEIRA, M.; VIEIRA, R. **Anuário Brasileiro da Piscicultura**. Pinheiros - SP: PEIXE BR, 2018.

BARAJ, E.; GARDA-BUFFON, J.; BADIALE-FURLONG, E. Effect of Deoxynivalenol and T-e Toxin in Malt Amylase Activity. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, p. 505-511, 2010.

BARBOSA, T. S.; PEREYRA, C. M.; SOLEIRO, C. A.; DIAS, E. O.; OLIVEIRA, A. A.; KELLER, K. M.; SILVA, P. P. O.; CAVAGLIERI, L. R.; ROSA, C. A. R. Mycobiota and mycotoxins present in finished fish feeds from farms in the Rio de Janeiro State, Brazil. **International Aquatic Research**, v. 5, p. 2-9, 2013.

BARONE, R. S. C. Ração é o principal insumo da produção aquícola. **Boletim Ativos da Aquicultura**, v. 13, p. 1-8, 2017.

BENTO, L. F.; CANEPPELE, M. A. B.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; KOBAYASTI, L.; CANEPPELE, C.; ANDRADE, P. J. Occurrence of fungi and aflatoxins in corn kernels. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, p. 44-9, 2012.

BERTHILLER, F.; SCHUHMACHER, R.; ADAM, G.; KRSKA, R. Formation, determination and significance of masked and other conjugated mycotoxins. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 395, p. 1243-1252, 2009.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução RE nº 899, de 29 de maio de 2003. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Portaria MA/SNAD/SFA No. 07, de 09 de novembro de 1988. **Diário Oficial da União**, Seção I, página 21.968, 1988.

BROEKAERT, N.; DEVREESE, N.; DE BAERE, S.; DE BACKER, P.; CROUBELS, S. Modified Fusarium mycotoxins unmasked: From occurrence in cereals to animal and human excretion. **Food and Chemical Toxicology**, n. 80, p. 17–31, 2015.

BUCK, F. F. **Micooxinas em ração comercial para peixe**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade estadual de Londrina, Londrina, 2005.

CABAÑERO, A. I.; MADRID, Y.; CÁMARA, C. Selenium and mercury bioaccessibility in fish samples: an in vitro digestion method. **Analytica Chimica Acta**, v. 526, p. 51-61, 2004.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A.J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

CAVALHEIRO, A. C. M.; CASTRO, M. L. S.; EINHARDT, M. D. S.; POUHEY J. L. O. F.; PIEDRAS S. N.; XAVIER E. G. Use of microingredients in farmed fish feeding – a Review. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v. 109, p. 11-20, 2014.

CHITARRINI, G.; NOBILI, C.; PINZARI, F.; ANTONINI, A.; DE ROSSI, P.; DEL FIORE, A.; PROCACCI, S.; TOLAINI, V.; SCALA, V.; SCARPARI, M.; REVERBERI, M. Buckwheat achenes antioxidant profile modulates *Aspergillus flavus* growth and aflatoxin production. **International Journal of Food Microbiology**, v. 189, p. 1-10, 2014.

CHOI, S.; JUN, H.; BANG, J.; CHUNG, S.; KIM, Y.; KIM, B.; KIM, H.; BEUCHAT, L. R.; RYU, J. Behaviour of *Aspergillus flavus* and *Fusarium graminearum* on rice as affected by degree of milling, temperature, and relative humidity during storage. **Food Microbiology**, v. 46, p. 307-313, 2015.

CIPRIANO, F. S.; LIMA, K. S.; SOUZA, R. H. B.; TONINI, W. C. T.; PASSINATO, E. B.; BRAGA, L. G. T. Digestibility of animal and vegetable protein ingredients by pirarucu juveniles, *Arapaima gigas*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, p. 581-586, 2016

COUTINHO, J. J. O.; NEIRA, L. M.; SANDRE, L. C. G.; COSTA, J. I.; MARTINS, M. I. E. G.; PORTELLA, M. C.; CARNEIROA, D. J. Carbohydrate-to-lipid ratio in extruded diets for Nile tilapia farmed in net cages. **Aquaculture**, v. 497, p. 520-525, 2018.

CYRINO, J. E. P.; FRACALOSSO, D. M. **Nutriaqua**: Nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, 2012.

DENG, S. X.; TIAN, L. X.; LIU, F. J.; JIN, S. J.; LIANG, G. Y.; YANG, H. J.; DU, Z. Y.; LIU, Y. J. Toxic effects and residue of aflatoxin B₁ in tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) during long-term dietary exposure. **Aquaculture**, v. 307, 233-240, 2010.

DOMENICO, A. S. D.; BUSO, C.; HASHIMOTO, E. H.; FRATA, M. T.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Occurrence of *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., and aflatoxins in corn hybrids with different systems of storage. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, p. 111-121, 2016.

DOMIJAN, A. M.; PERAICA, M.; JURJEVIĆ, Z.; IVIĆ, D.; CVJETKOVIĆ, B. Fumonisin B₁, fumonisin B₂, zearalenone and ochratoxin A contamination of maize in Croatia. **Food Additives & Contaminants**, v. 22, p. 677-680, 2005.

DORS, G. C.; BIERHALS, V. S.; BADIALE-FURLONG, E. Parboiled rice: chemical composition and the occurrence of mycotoxins. **Food Science and Technology**, v. 31, p. 172-177, 2011.

DZUMAN, Z.; STRANSKA-ZACHARIASOVA, M.; VACLAVIKOVA, M.; TOMANIOVA, M.; VEPRIKOVA, Z.; SLAVIKOVA, P.; HAJŠLOVA, J. Fate of Free and Conjugated Mycotoxins within the Production of Distiller's Dried Grains with Solubles (DDGS). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, p. 5085-5092, 2016.

EMBABY, E. M.; AYAAT, N. M.; EL-GALIL, M. M. A.; ABDEL-HAMEID, N. A.; GOUDA, M. M. Mycoflora and mycotoxin contaminated chicken and fish feeds. **Middle East Journal of Applied Sciences**, v. 5, p. 1044-105, 2015.

EUROPEAN COMMISSION – EC. 2006. **Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs**. Official Journal of the European Union, L364 (2006), 5–24 (Commission Regulation (EC) N°. 1881/2006 of 19 December 2006).

FERNANDES, A.C.; CARVALHO, P. L. P. F.; PEZZATO, L. E.; KOCH, J. F. A.; TEIXEIRA, C. P.; CINTRA, F. T.; DAMASCENO, F. M.; AMORIN, R. L.; PADOVANI, C. R.; BARROS, M. M. The effect of digestible protein to digestible energy ratio and choline supplementation on growth, hematological parameters, liver steatosis and size-sorting stress response in Nile tilapia under field condition. **Aquaculture**, v. 456, p. 83-93, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Worldwide regulations for mycotoxins 1995** — a compendium. Food and Nutrition Paper, N°. 64, Roma, 1997.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Economic Analysis of Supply and Demand for Food up to 2030** — Special Focus on Fish and Fishery Products, Rome, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **The state of world fisheries and aquaculture: meeting the sustainable development goals**. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, Rome, 2018.

GARCIA, L. P.; SAVI, G. D.; SANTOS, K.; SCUSSEL, V. M. Fumonisin and fungi in dry soybeans (*Glycine Max* L.) for human consumption. **Food Additives & Contaminants: Part B**, v. 9, p. 79-84, 2016.

GARCIA, S. O. **Degradação de ocratoxina A e zearalenona por ação enzimática (título provisório)**. 2019. Tese (Doutorado em andamento em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul.

GOMINHO-ROSA, M. G.; RODRIGUES, A. P. O.; MATTIONI, B.; FRANCISCO, A.; MORAES, G.; FRACALLOSSI, D. M. Comparison between the omnivorous jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the utilization of dietary starch sources: digestibility, enzyme activity and starch microstructure. **Aquaculture**, v. 435, p. 92-99, 2015.

GONÇALVES-NUNES E. M. C.; GOMES-PEREIRA, M. M.; RAPOSO-COSTA, A. P.; ROCHA-ROSA, C. A.; PEREYRA, C. M.; CALVET, R. M.; ALVES-MARQUES, A. L.; CARDOSO-FILHO, F.; SANCHES-MURATORI, M. C. Screening of aflatoxin B1 and mycobiota related to raw materials and finished feed destined for fish. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 43, p. 595-600, 2015.

GONÇALVES, R. A.; SCHATZMAYR, D.; HOFSTETTER, U.; SANTOS, G. A. Occurrence of mycotoxins in aquaculture: preliminary overview of Asian and European plant ingredients and finished feeds. **World Mycotoxin Journal**, v. 10, p. 183-194, 2017.

GONÇALVES, R. A.; HOFSTETTER, U.; SCHATZMAYR, D.; JENKINS, T. Mycotoxins in Southeast Asian aquaculture: plant-based meals and finished feeds. **World Mycotoxin Journal**, v. 1, p. 34-39, 2018.

GRECO, M.; KEMPPAINEN, M.; POSE, G.; PARDO, A. Taxonomic Characterization and Secondary Metabolite Profiling of Aspergillus Section Aspergillus Contaminating Feeds and Feedstuffs. **Toxins**, v. 7, p. 3512-3537, 2015

HARLIOĞLU, M. M.; FARHADI, A. Importance of Gammarus in aquaculture. **Aquaculture International**, v. 26, p. 1327-1338, 2018.

HACKBART, H. C. S.; SOUZA, M. M.; SCAGLIONI, P. T.; PRIMEL, E. G.; GARDA-BUFFON, J.; BADIALE-FURLONG, E. Método quechers para determinação de ocratoxina A e citrinina em arroz e farelo de arroz. **Química Nova**, v. 35, p. 1733-1737, 2012

HUYBEN, D.; VIDAKOVIĆ, A.; HALLGREN, S. W.; LANGELAND, M. High-throughput sequencing of gut microbiota in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed larval and pre-pupae stages of black soldier fly (*Hermetia illucens*). **Aquaculture**, v. 500, p. 485-491, 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. DOQ – CGCRE – 008: **Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos**. Brasília, p. 1-19, 2003.

JADAN-PIEDRA, C.; BAQUEDANO, M.; PUIG, S.; VÉLEZ, D.; DEVESA, V. Use of *Saccharomyces cerevisiae* To Reduce the Bioaccessibility of Mercury from Food. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 1, p. 2876-2882, 2017.

JAKIĆ-DIMIĆ, D.; JEREMIĆ, S.; NEŠIĆ, K.; RADOSAVLJEVIĆ, V. The influence of mycotoxins in food on fish health status. **Zbornik Matice Srpske za Prirodne Nauke**, v. 109, p. 73-79, 2005.

KABIR, K. A.; SCHRAMA, J. W.; VERRETH, J. A. J.; PHILLIPS, M. J.; VERDEGEM, M. C. J. Effect of dietary protein to energy ratio on performance of Nile tilapia and food web enhancement in semi-intensive pond aquaculture. **Aquaculture**, v. 499, p. 235-242, 2019.

KHALIFA, N. S. A.; BELA, I. E. H.; EL-TARABILY, K. A.; TARIQ, S.; KASSAB, A. A. Evaluation of replacing fish meal with corn protein concentrate in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings commercial diet. **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 143-152, 2018.

KIRON, V. Fish immune system and its nutritional modulation for preventive health care. **Animal Feed Science and Technology**, v. 173, n. 1, p. 111-133, 2012.

KOCHA, J. F.; RAWLES, S. D.; WEBSTER, C. D.; CUMMINSC, V.; KOBAYASHI, Y.; THOMPSON, K. R.; GANNAM, A. L.; TWIBELL, R. G.; HYDE, N. M. Optimizing fish meal-free commercial diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 452, p. 357–366, 2016.

KOWALSKA, K.; HABROWSKA-GÓRCZYNSKA, D. E.; URBANEK, K. A.; DOMICKA, K.; PIASTOWSKA-CIESIELSKA, A. W. Estrogen receptor α is crucial in zearalenone-induced invasion and migration of prostate cancer cells. **Toxins**, v. 28, p. 1-15, 2018.

KRNJAJA, V.; MANDIĆ, V.; STANKOVIĆ, S.; OBRADOVIĆ, A.; VASIĆ, T.; LUKIĆ, M.; BIJELIĆ, Z. Influence of plant density on toxigenic fungal and mycotoxin contamination of maize grains. **Crop Protection**, v. 116, p. 126–131, 2019.

LOGATO, P. V. R. **Nutrição e alimentação de peixes de água doce**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2012.

LOWRY, O. H.; ROSENBROUGH, M. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the Folin Phenol Reagent. **Journal of Biological Chemistry**, v. 193, p. 265-275, 1951.

LU, D. L.; MA, Q.; WANG, J.; LI, L. Y.; HAN, S. L.; LIMBU, S. M.; LI, D. L.; CHEN, L. Q.; ZHANG, M. L.; DU, Z. Y.. Fasting enhances cold resistance in fish through stimulating lipid catabolism and autophagy. **The Journal of physiology**, v. 1, p. 1-32, 2019.

- MACHADO, L. V.; MALLMANN, C. A.; MALLMANN, A. O.; COELHO, R. D.; COPETTI, M.V. Deoxynivalenol in wheat and wheat products from a harvest affected by fusarium head blight. **Food Science and Technology**, n. 37, p. 8-12, 2017.
- MACHINSKI JR, M.; SOARES, L. M. V.; SAWAZAKI, E.; BOLONHEZI, D.; CASTRO, J. L.; BORTOLLETO, N. Aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in brazilian corn cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, p. 1001-1007, 2001.
- MAHFOUZ, M. E.; SHERIF, A. H. A multiparameter investigation into adverse effects of aflatoxin on *Oreochromis niloticus* health status. **The Journal of Basic & Applied Zoology**, v. 71, p. 48–59, 2015.
- MAKUN, HH. A.; DUTTON, M. F.; NJOBEH, P. B.; MWANZA, M.; KABIRU, A. Y. Natural multi-occurrence of mycotoxins in rice from Niger State, Nigeria. **Mycotoxin Research**, v. 27, p. 97-104, 2011.
- MANSOUR, A. T.; OMAR, E. A.; SOLIMAN, M. K.; SROUR, T. M.; NOUR, A. M. The antagonistic effect of whey on Ochratoxin A toxicity on the growth performance, feed utilization, liver and kidney functions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Middle East Journal Applied Sciences**, v. 1, p. 176-183, 2015.
- MARIJANI, E.; WAINAINA, J. M.; CHARO-KARISA, H.; NZAYISENGA, L.; MUNGUTI, J.; GNONLONFIN, G. J. B.; KIGADYE, E.; OKOTH, S. Mycoflora and mycotoxins in finished fish feed and feed ingredients from smallholder farms in East Africa. **Egyptian Journal of Aquatic Research**, v. 43, p. 169-176, 2017.
- MARIN, S.; RAMOS, A.J.; CANO-SANCHO, G.; SANCHIS, V. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. **Food and Chemical Toxicology**, v. 60, p. 218-237, 2013.
- MARTIN, C.; SCHÖNEBERG, T.; VOGELGSANG, S.; FERREIRA, C. F. M.; MORISOLI, R.; BERTOSSA, M.; BUCHELI, T. D.; MAUCH-MANI, B.; MASCHER, F. Responses of oat grains to *Fusarium poae* and *F. langsethiae* infections and mycotoxin contaminations. **Toxins**, v. 10, p. 1-18, 2018.
- MASSAROLO, K.C., FERREIRA, C.F.J., KUPSKI, L., BADIALE-FURLONG, E. Optimization of Matrix Solid-Phase Dispersion Method for Extraction of Aflatoxins from Cornmeal. **Food Analytical Methods**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2018.
- MASSOCCO, M. M. **Ocorrência de fungos toxigênicos e aflatoxinas em pisciculturas do estado de São Paulo: rações e espécies comerciais de pescado de cultivo**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga.
- MELLO, F., OLIVEIRA, C.A.L., STREIT JR, D., RESENDE, E.K., OLIVEIRA, S.N., FORNARI, D.C., BARRETO, R.V., POVH, J.A.; RIBEIRO, R.P. Estimation of Genetic Parameters for Body Weight and Morphometric Traits to Tambaqui *Colossoma macropomum*. **Journal of Fisheries Sciences**, v. 10, p. 96-100, 2016.

- MELO, J. F. B.; SOUZA, A. M.; ALVES, A. P. P.; CAMARGO, A. C. S.; LUNDSTEDT, L. M.; MORAES, G. **Alguns Aspectos da Digestão e do Metabolismo de Nutrientes em Peixes**. In: CAMARGO, A.C. S.; NOGUEIRA, W. C. L.; TORRES, A. F. B.; ALMEIDA, A. C.; STEFANELLO, C. M. (Org.). *Piscicultura: Aspectos Relevantes*. Uruguaiana: UNIPAMPA, 2016.
- MENDES, G. R. L.; REIS, T. A.; CORRÊA, B.; BADIALE-FURLONG, A. Mycobiota and occurrence of Fumonisin B1 in wheat harvested in Southern Brazil Micobiota e ocorrência de Fumonisin B₁ em trigo colhido no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 45, p.1050-1057, 2015.
- MICHELIN, E. C.; MASSOCCO, M. M.; GODOY, S. H. S.; BALDIN, J. C.; YASUI, G. S.; LIMA, G. G.; ROTTINGHAUS, G. E.; SOUSA, R. L. M.; FERNANDES, A. M. Carryover of aflatoxins from feed to lambari fish (*Astyanax altiparanae*) tissues. **Food Additives & Contaminants Part A**, v. 34, p. 265-272, 2016.
- MORO, G. V.; RODRIGUES, A. P. O. **Rações para organismos aquáticos: tipos e formas de processamento**, Brasília, Brasil, 2015.
- MWIIHIA, E. W.; MBUTHIA, P. G.; ERIKSEN, G. S.; GATHUMBI, J. K.; MAINA, J. G.; MUTOLOKI, S.; WARUIRU, R. M.; MULEI, I. R.; LYCHE, J. L. Occurrence and Levels of Aflatoxins in Fish Feeds and Their Potential Effects on Fish in Nyeri, Kenya. **Toxins**, v. 10, p. 1-16, 2018.
- NÁCHER-MESTRE, J.; IBÁÑEZ, M.; SERRANO, R.; PEREZ-SÁNCHEZ, J.; HERNÁNDEZ, F. Qualitative Screening of Undesirable Compounds from Feeds to Fish by Liquid Chromatography Coupled to Mass Spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 2077-2087, 2013.
- NÁCHER-MESTRE, J.; SERRANO, R.; BELTRÁN, E.; PÉREZ-SÁNCHEZ, J.; SILVA, J.; KARALAZOS, V.; HERNÁNDEZ, F.; BERNTSEN, M. H. G. Occurrence and potential transfer of mycotoxins in gilthead sea bream and Atlantic salmon by use of novel alternative feed ingredients. **Chemosphere**, v. 128, p. 314-320, 2015.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 2011. **Nutrient Requirements of Fish and Shrimp**. National Academic Press, 2011. 360p.
- NUNES, A. J. P.; SÁ, M. V. C.; BROWDY, C. L.; VAZQUEZ-ANON, M. Practical supplementation of shrimp and fish feeds with crystalline amino acids. **Aquaculture**, v. 431, p. 20-27, 2014.
- OLAJUYIGBE, O. O.; AKANDE, G. R.; EZEKIEL, C. N. EZEKIEL M. O. Aflatoxigenic moulds and aflatoxin contamination of retailed fishery products in Lagos markets. **Micotoxigenology**, n.1, p. 57-63, 2014.
- OLORUNFEMI, M. F.; ODEBODE, A. C.; JOSEPH, O. O.; EZEKIEL, C.; SULYOK, M.; KRSKA, R.; OYEDELE, A. **Multi-Mycotoxin Contaminations in Fish Feeds from Different Agro-Ecological Zones in Nigeria**. In: Tielkes, E. (Eds), *Agricultural development within the rural-urban continuum*. Cuvillier Verlag, Göttingen, pp. 557-562, 2013.

ONO, E. Y. S.; SASAKI, E. Y.; HASHIMOTO, E. H.; HARA, L. N.; CORRÊAS, B.; ITANO, E. N.; SUGIURA, T.; UENO, Y.; HIROOKA, E. Y. Post-harvest storage of corn: effect of beginning moisture content on mycoflora and fumonisin contamination. **Food Additives and Contaminants**, v.19, p. 1081-1090, 2002.

PANKAJ, S. K.; SHI, H.; KEENER, K. M. A review of novel physical and chemical decontamination technologies for aflatoxin in food. **Trends in Food Science & Technology**, v. 71, p. 73-83, 2018.

PATRAS, A.; BRUNTON, N. P.; DOWNEY, G.; RAWSON, A.; WARRINER, K.; GERNIGON, G. Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify fruits and vegetables commonly consumed in Ireland based on in vitro antioxidant activity. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, p. 250-256, 2011.

PAULINO, R. R.; PEREIRA, R. T.; FONTES, T. V.; OLIVA-TELES, A.; PERES, H.; CARNEIRO, D. J.; ROSA, P. V. Optimal dietary linoleic acid to linolenic acid ratio improved fatty acid profile of the juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Aquaculture**, v. 488, p. 9-16, 2018.

PLEADIN, J.; SOKOLOVIC, M.; PERŠI, N.; ZADRAVEC, M. Contamination of maize with deoxynivalenol and zearalenone in Croatia. **Food Control**, v. 28, p. 94-98, 2012

PRATOOMYOT, J.; BENDIKSEN, E.Å.; BELL, J. G.; TOCHER, D. R. Effects of increasing replacement of dietary fishmeal with plant protein sources on growth performance and body lipid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar L.*). **Aquaculture**, v 305, p. 124-132, 2010.

QUEIROZ, V. A. V.; ALVES, G. L. O.; CONCEIÇÃO, R. R. P.; GUIMARÃES, L. J. M.; MENDES, S. M.; RIBEIRO, P. E. A.; COSTA, R. V. Occurrence of fumonisins and zearalenone in maize stored in family farm in Minas Gerais, Brazil. **Food Control**, v. 28, p. 83-86, 2012.

RACHMAWATI, D; SAMIDJAN, I. Performance efficiency of feed utilization, relative growth rate, and survival rate of common carp (*Cyprinus carpio*) through the addition of phytase in the feed. **Earth and Environmental Science**, v. 137, p. 12- 27, 2018.

RIBEIRO, P. A. P.; GOMIERO, J. S. G.; LOGATO, P. V. R. **Manejo alimentar de peixes**. Lavras: Núcleo de Estudos em Aquacultura, 2005.

RICHARD, J. L. Some major mycotoxins and their mycotoxicoses. **International Journal of Food Microbiology**, v. 119, n. 1-2, p. 3-10, 2007.

RYCHLIK, M. et al. Proposal of a comprehensive definition of modified and other forms of mycotoxins including "masked" mycotoxins. **Mycotoxin Research**, v. 30, p. 197–205, 2014.

SANTACROCE, M. P.; CONVERSANO, M. C.; CASALINO, E.; LAI, O.; ZIZZADORO, C.; CENTODUCATI, G.; CRESCENZO, G. Aflatoxins in aquatic species: metabolism, toxicity and perspectives. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 18, p. 99-130, 2008.

SANTIN, E. **Mould growth and mycotoxin production**. The Mycotoxin Blue Book. Nottingham, UK: Nottingham University Press, p. 225-234, 2005.

- SAVI, D. G.; PIACENTINI, K. C.; ROCHA, L. O.; CARNIELLI-QUEIROZ, L.; FURTADO, B. G.; SCUSSEL, R.; ZANONI, E. T.; MACHADO-DE-ÁVILA, R. A.; CORRÊA, B.; ANGIOLETTI, E. Incidence of toxigenic fungi and zearalenone in rice grains from Brazil. **International Journal of Food Microbiology**, v. 270, p. 5-13, 2018.
- SELIM, K. M.; EL-HOFY, H.; KHALIL, R. H. The efficacy of three mycotoxin adsorbents to alleviate aflatoxin B₁-induced toxicity in *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture International**, v. 22, p. 523–540, 2014.
- SEUS-ARRACHÉ, E. R.; FONTES, M. R. V.; GARDA-BUFFON, J.; BADIALE-FURLONG, E. Trichothecenes in wheat: Methodology, occurrence and human exposure risk. **Journal of Cereal Science**, v. 82, p. 129–137, 2018.
- SILVA, E. C. S.; PEREIRA FILHO, M.; ROUBACH, R.; ITUASSÚ, D. SILVA, R. C. S. Substituição de proteínas de origem animal por proteínas de origem vegetal na dieta para o tucunaré paca (*Cichla* sp.). **Boletim Técnico-Científico Do Cepnor**, v. 6, p. 121-131, 2006.
- SILVA, E. M.; MONSERRAT, J. M.; SAMPAIO, L. A.; TESSER, M. B. Growth and nitrogenous metabolism of juveniles *Trachinotus marginatus* feeding with differently protein levels. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.67, p.131-139, 2015.
- SILVA, M. N.; MASSAROLO, K. C.; KUPSKI, L.; BADIALE-FUULONG, E. Hydrothermal treatment of rice: reduction of aflatoxins and bioaccessibility. **Journal of Cereal Science**, v. 85, p. 199-205, 2019.
- SCORVO-FILHO, J. D.; FRASCA-SCORVO, C. M. D.; ALVES, J. M. C.; SOUZA, F. R. A. A. Tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p.112-118, 2010.
- SIMON C. J.; BLYTH D.; AHMAD FATAN N.; SURI S. Microbial biomass (Novacq™) stimulates feeding and improves the growth performance on extruded low to zero-fishmeal diets in tilapia (GIFT strain). **Aquaculture**, v. 501, p. 319–324, 2019.
- SOBRAL, M. M. C.; CUNHA, S. C.; FARIA, M. A.; MARTINS, Z. E.; FERREIRA, I. M. P. L. V. O. Influence of oven and microwave cooking with the addition of herbs on the exposure to multi-mycotoxins from chicken breast muscle. **Food Chemistry**, v. 276, p. 274-284, 2019.
- SOLTAN, M.A.; HANAFY, M. A.; WAFI, M. I. A. Effect of replacing fish meal by a mixture of different plant protein sources in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diets. **Global Veterinaria**, v. 37, p.157-164, 2008.
- SOUZA, M. L. M.; GONÇALVES, E. B.; SILVA, O. F.; FARIAS, A. X.; CAVALCANTI, A. L. S. Verificação intralaboratorial da performance obtida em método de determinação de ocratoxina A por purificação em coluna de imunoafinidade e cromatografia líquida de alta eficiência usando café. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p. 197-204, 2010.

STOEV, S. D. Foodborne mycotoxicoses, risk assessment and underestimated hazard of masked mycotoxins and joint mycotoxin effects or interaction. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 39, p. 794-809, 2015.

STONEHAM, T. R.; KUHN, D. D.; TAYLOR, D. P.; NEILSON, A. P.; SMITH, S. A.; GATLIN, D. M.; CHU, H. S. S.; O'KEEFE, S. F. Production of omega-3 enriched tilapia through the dietary use of algae meal or fish oil: Improved nutrient value of fillet and offal. **Plos One**, v. 13, p. 1-14, 2018.

TANAKA, K.; SAGO, Y.; ZHENG, Y.; NAKAGAWA, H.; TANAKA, M. K. K.; SAGO, Y.; ZHENG, Y.; NAKAGAWA, H.; KUSHIRO, M. Mycotoxins in rice. **International Journal of Food Microbiology**, n. 119, p. 59–66, 2007.

THOMAS, A. B.; OLOYEDE, T. L.; OGEH, A. V.; SARAH, M.; JOEL, O. Effects of dietary mixed aflatoxin B₁ and fumonisin B₁ on growth performance and haematology of juvenile *Clarias gariepinus* catfish. **Aquaculture**, v. 491, p. 190-196, 2018.

TOLA, S.; BUREAU, D. P.; HOOFT, J. M.; BEAMISH, F. W. H.; SULYOK, M.; KRŠKA, R.; ENCARNAÇÃO, P.; PETKAM, R. Effects of wheat naturally contaminated with fusarium mycotoxins on growth performance and selected health indices of red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*). **Toxins**, n. 7, p. 1929-1944, 2015.

UNIÃO EUROPÉIA – EU. Regulamento N° 401/2006 da Comissão de 23 de Fevereiro de 2006 que estabelece os métodos de amostragem e de análise para o controlo oficial dos teores de micotoxinas nos géneros alimentícios. **Jornal Oficial da União Europeia**, v.1, p. 12-34, 2006.

UZCÁTEGUI-VARELA, J. P.; MÉNDEZ, X.; ISEA, F.; PARRA, R. Evaluación de dietas con diferente contenido proteico sobre el desempeño productivo de alevines del híbrido cachamay (*Colossoma macropomum* [masculinidad] x *piaractus brachypomus* [feminidad]) en condiciones de cautiverio. **Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias**, v. 24, p. 458-465, 2014.

VALMORBIDA, R.; SAVI, G. D.; SILVA, J. R.; YANEZ, M. M. O.; SOARES, C. E. S.; RUNTZEL, C.; NASCIMENTO, P. N.; SCUSSEL, V. M. Quality and safety of maize (*Zea mays* L.) from Rondonia state storage units, Northern Brazil. **Food Additives & Contaminants: Part B**, v. 11, p. 54-63, 2017.

VLASTIMIL, D.; WU, Q.; KUČA, K. Metabolism of aflatoxin: key enzymes and interindividual as well as interspecies differences. **Archives of Toxicology**, v. 88, p. 1635-1644, 2014.

WARTH, B.; FRUHMANN, P.; WIESENBERGER, G.; KLUGER, B.; SARKANJ, B.; LEMMENS, C.; HAMETNER, C.; FRÖHLICH, J.; ADAM, A.; KRŠKA, R.; SCHUHMACHER, R. Deoxynivalenol-sulfates: identification and quantification of novel conjugated (masked) mycotoxins in wheat. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, 407, p. 1033–1039, 2015.

WALCZAK, M., JEDZINIAK, P., REICHERT, M. Influence of mycotoxins on fish health. **Medycyna Weterynaryjna**, v. 74, p. 161-166, 2018.

WOŹNY, M.; OBREMSKI, K.; JAKIMIUK, E.; GUSIATIN, M.; BRZUZAN, P. Zearalenone contamination in rainbow trout farms in north-eastern Poland. **Aquaculture**, v. 416, p. 209–211, 2013.

YOSHIZAWA, T. Control of Mycotoxins. In: **TEXTBOOK for Country Focused Training Course: mycotoxin analysis for Federative Republic of Brazil**. Hyogo: International Centre Japan International Cooperation Agency, 2001, 70 p.

CAPÍTULO IV

CONCLUSÃO GERAL

Como a piscicultura é uma realidade no Brasil, fica evidente a necessidade de estudos para verificação qualitativa e quantitativa de micotoxinas no alimento fornecido, visando à obtenção de produtos e subprodutos de qualidade, de forma a garantir a saúde dos peixes e do consumidor.

A adequada prevenção nos efeitos deletérios das micotoxinas deve ser uma prática regular visando manter a produtividade e rentabilidade na piscicultura. Levando em consideração que nos últimos anos a tendência em substituir os níveis de proteína animal por níveis mais elevados de proteína vegetal aumentou, tendo como intuito reduzir os custos, todavia, aumenta-se a probabilidade de exposição dos peixes a dietas contaminadas com micotoxinas.

Através das análises constatou-se que 93,3% das amostras estavam contaminadas, com níveis máximos nas amostras variando de 16,5 para AFB₁, 31,6 e 322,2 µg/kg⁻¹ para OTA e ZEN, respectivamente. OTA e ZEN apresentaram níveis de contaminação mais elevados ($p < 0,05$) no sul.

Através da Análise de Componentes Principais, verificou-se que altos teores de carboidrato e proteína permitem uma menor extração das micotoxinas da matriz analisada.

Pelo teste de bioacessibilidade *in vitro* para AFB₁ constatou-se que 85% desse metabólito estão passíveis de serem absorvidos pelos peixes.

Peixes alimentados com ração contendo níveis de 16,5 µg/kg de AFB₁, 31,6 µg/kg de OTA e 322,2 µg/kg de ZEA estão expostos a riscos significativos, seguindo uma ordem decrescente na concentração (µg/kg/dia) para alevino, juvenil e adulto de diária.

Os resultados apresentados neste estudo acrescentam informações importantes para o desenvolvimento da piscicultura no Brasil, contribuindo com dados concretos para o aprimoramento da legislação nacional para o setor piscícola. Além de sugerir que seja realizado um acompanhamento para todas as etapas do processo produtivo de grãos, bem como o acanhamento de todo o processo produtivo de rações para verificar a real procedência das micotoxinas analisadas.

CAPÍTULO V

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAS, T. S.; TERJESEN, B. F.; SIGHOLT, T.; HILLESTAD, M.; HOLM, J.; REFSTIE, S.; BAEVERFJORD, G.; RØRVIK, K. A.; SØRENSEN, M.; OEHME, M.; ÅSGÅRD, T. Nutritional responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets with different physical qualities at stable or variable environmental conditions. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, p. 657-670, 2011.

ABDEL-WAHHABA, M. A.; HASANB, A. M.; ALYA, S. E.; MAHROUSB, K. F. Adsorption of sterigmatocystin by montmorillonite and inhibition of its genotoxicity in the Nile tilapia fish (*Oreochromis niloticus*). **Mutation Research**, v. 582, p. 20-27, 2005.

ABDELAZIZ, M.; ANWER, W.; ABDELRAZEK, A. H. Field study on the mycotoxin binding effects of clay in *Oreochromis niloticus* feeds and their impacts on the performance as well as the health status throughout the culture season. **Interdisciplinary Bio Central**, 2, p. 1-6, 2010.

ABU-HASSAN, F. A. M.; KHALIL, R. H.; SAAD, T. T.; AMER, M. T.; ABDEL-LATIF, H. M. R. Histopathological outcomes designating the toxicological aspects of Fumonisin B₁ on Cultured Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies**, v. 4, p. 52-60, 2016.

ADESSO, D.; AUTORE, G.; QUARONI, A.; POPOLO, A.; SEVERINO, L.; MARZOCCO, S. The food contaminants nivalenol and deoxynivalenol induce inflammation in intestinal epithelial cells by regulating reactive oxygen species release. **Nutrients**, v. 9, p. 1-17, 2017.

ALCÁNTAR-BARRIOS, C. A.; MÉNDEZ-ALBORES, A. Potential of tartaric acid in combination with infrared-microwave heating as a method for aflatoxin reduction in maize. **Animal Nutrition and Feed Technology**, v. 17, p. 469-478, 2018.

ALGÜL, I.; KARA, D. Determination and chemometric evaluation of total aflatoxin, aflatoxin B₁, ochratoxin A and heavy metals content in corn flours from Turkey. **Food Chemistry**, v. 157, p. 70-76, 2014.

ALMEIDA, L. C.; AVILEZ, I. M.; HONORATO, C. A.; HORI, T. S. F.; MORAES, G. Growth and metabolic responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed different levels of protein and lipid. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, p. 254-262, 2011.

ALMEIDA, M. I.; ALMEIDA, N. G.; CARVALHO, K. L.; GONÇALVES, G. A. A.; SILVA, C. N.; SANTOS, E. A.; GARCIA, J. C.; VARGAS, E. A. Co-occurrence of aflatoxins B₁, B₂, G₁ and G₂, ochratoxin A, zearalenone, deoxynivalenol, and citreoviridin in rice in Brazil. **Food Additives and Contaminants**, v. 29, p. 694-703, 2012.

ALMEIDA, F. M.; ALVES, W. C.; BELO, M. A. A.; ALMEIDA, G. M. **Potencial da atividade piscícola no estado de Rondônia**. Descalvado: UNICASTELO, 2017. 15 p.

AL-SOHAIBANI, S.; MURUGAN, K.; LAKSHIMI, G.; ANANDRAJ, K. Xerophilic aflatoxigenic black tea fungi and their inhibition by *Elettaria cardamomum* and *Syzygium aromaticum*. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 8, p. 387-394, 2011.

ANASTASSIADES, M.; LEHOTAY, S.; STAJNBAHER, D.; SCHENCK, F. J. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and dispersive solid-phase extraction for the determination of pesticide residues in produce. **Journal of AOAC International**, v. 86, p. 412-431, 2003.

ANATER, A.; MANYES, L.; MECA, G.; FERRER, E.; LUCIANO, F. B.; PIMPÃO, C. T.; FONT, G. Mycotoxins and their consequences in aquaculture: A review. **Aquaculture**, v. 451, p. 1-10, 2016.

ANDRADE, M. A. **Determinação de ocratoxina A em vinho utilizando microextração em fase sólida no tubo e cromatografia líquida de alta eficiência com detecção de espectrometria de massas sequencial**. 2016. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ANGELIS, E.; MONACI, L.; MACKIE, L.; SALT, L. VISCONTI, A. Bioaccessibility of T-2 and HT-2 toxins in mycotoxin contaminated bread models submitted to in vitro human digestion. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 22, p. 248-256, 2014.

ANTONOPOULOU¹, E.; CHOURI, E.; FEIDANTSIS, K.; LAZOU, A.; CHATZIFOTIS, S. Effects of partial dietary supplementation of fish meal with soymeal on the stress and apoptosis response in the digestive system of common dentex (*Dentex dentex*). **Journal of Biological Research-Thessaloniki**, v. 24, p. 2-10, 2017.

ARAÚJO, J. R.; SANTOS, L. D. SILVA, L. C. R.; SANTOS, O. O.; MEURER, F. Apparent digestibility of ingredients of the Northeast Semi-Arid for Nile tilapia. **Ciência Rural**, v. 42, p. 900-903, 2012.

ARENHARDT, A. L. **Detecção e caracterização de fungos e micotoxinas associadas aos grãos de milho armazenados na região de sorriso e Sinop - MT**. Mestrado (Dissertação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato, Cuiabá, MT.

ARROYO-MANZANARES, N.; HUERTAS-PÉREZ, J. R.; GARCÍA-CAMPAÑA, A. M.; GÁMIZ-GRACIA, L. Aflatoxins in animal feeds: A straightforward and cost-effective analytical method. **Food Control**, v. 54, p. 74-78, 2015

ASADUZZAMAN, M.; IKEDA, D.; ABOL-MUNAFI, A. B.; BULBUL, M.; ALI, M. E.; KINOSHITA, S.; WATABE, S.; KADER, M. A. Dietary supplementation of inosine monophosphate promotes cellular growth of muscle and upregulates growth-related gene expression in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 468, p. 297–306, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA - PEIXE BR. **Anuário da Piscicultura 2018**. Pinheiro: PEIXE BR, 2018.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official Methods of Analysis of International**. 16 th, 1995. CD-ROM.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official Methods of Analysis of International**. 17th, 2000. CD-ROM.

AYYATA, M. S.; AYYAT, A. M. N.; AL-SAGHEERA, A. A.; EL-HAISC, A. E. M. Effect of some safe feed additives on growth performance, blood biochemistry, and bioaccumulation of aflatoxin residues of Nile tilapia fed aflatoxin-B₁ contaminated diet. **Aquaculture**, v. 495, p. 27-34, 2018.

AZARM, H. M.; LEE, S. Effects of partial substitution of dietary fish meal by fermented soybean meal on growth performance, amino acid and biochemical parameters of juvenile black sea bream *Acanthopagrus schlegeli*. **Aquaculture Research**, v. 45, p. 994-1003, 2014.

BALDISSERA, M. D.; SOUZA, C. F.; ZEPPENFELD, C. C.; DESCOVI, S.; SILVA, A. S.; BALDISSEROTTO, B. Changes in the cerebral phosphotransfer network impair energetic homeostasis in an aflatoxin B₁-contaminated diet. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 44, p. 1051-1059, 2018.

BALOGH, K.; HEINCINGER, M.; FODOR, J.; MEZES, M. Effect of long term feeding of T-2 and HT-2 toxin contaminated diet on the glutathione redox status and lipid peroxidation processes in common carp (*Cyprinus carpio* L.). **Acta Biologica Szegediensis**, v. 53, p. 23-27, 2009.

BAKOS, K.; KOVÁCS, R.; STASZNY, Á.; SIPOS, D. K.; URBÁNYI, B.; MÜLLER, F.; CSENKI, Z.; KOVÁCS, B. Developmental toxicity and estrogenic potency of zearalenone in zebrafish (*Danio rerio*). **Aquatic Toxicology**, v. 136, p. 13-21, 2013.

BANDARA, T. Alternative feed ingredients in aquaculture: Opportunities and challenges. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 6, p. 3087-3094, 2018.

BAPTISTA, A. S.; HORII, J.; BAPTISTA, A. S. Fatores físico-químicos e biológicos ligados à produção de micotoxinas. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 22, p. 1-14, 2004.

BAPTISTA, C.; DELLOVA, D.; DONATI, G.; CEZÁRIO, G.; REAL, J. V.; LINO, J.; ALBUQUERQUE, L.; SANTOS, M.; OLIVEIRA, M.; VIEIRA, R. **Anuário Brasileiro da Piscicultura**. Pinheiros - SP: PEIXE BR, 2018.

BARAJ, E.; GARDA-BUFFON, J.; BADIALE-FURLONG, E. Effect of Deoxynivalenol and T-e Toxin in Malt Amylase Activity. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, p. 505-511, 2010.

BARBOSA, T. S.; PEREYRA, C. M.; SOLEIRO, C. A.; DIAS, E. O.; OLIVEIRA, A. A.; KELLER, K. M.; SILVA, P. P. O.; CAVAGLIERI, L.R.; ROSA, C. A. R. Mycobiota and mycotoxins present in finished fish feeds from farms in the Rio de Janeiro State, Brazil. **International Aquatic Research**, v. 5, p. 2-9, 2013.

BARONE, R. S. C. **Ração é o principal insumo da produção aquícola**. Brasília: CNA/PECEGE/ESALQ-USP, 2017. 8 p

BARROS, G.; ZUANON, J.; DEUS, C. Effects of species co-occurrence on the trophic-niche breadth of characids in Amazon forest streams. **Journal of Fish Biology**, v. 90, p. 326-340, 2017.

BELTRÁN, E.; IBÁÑEZ, M.; PORTOLÉS, T.; RIPOLLÉS, C.; SANCHÓ, J. V.; YUSÀ, V.; MARÍN, S.; HERNÁNDEZ, F. Development of sensitive and rapid analytical methodology for food analysis of 18 mycotoxins included in a total diet study. **Analytica Chimica Acta**, v. 783, p. 39-48, 2013.

BENNETT, J. W.; KLICH, M. Mycotoxins. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 16, p. 497-516, 2003.

BENTO, L. F.; CANEPPELE, M. A. B.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; KOBAYASTI, L.; CANEPPELE, C.; ANDRADE, P. J. Occurrence of fungi and aflatoxins in corn kernels. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, p. 44-9, 2012.

BERNTSEN, M. H. G.; JULSHAMN, K.; LUNDEBYE, A. K. Chemical contaminants in aquafeeds and Atlantic salmon (*Salmo salar*) following the use of traditional versus alternative feed ingredients. **Chemosphere**, v. 78, p. 637-646, 2010.

BERTHILLER, F.; SCHUHMACHER, R.; ADAM, G.; KRŠKA, R. Formation, determination and significance of masked and other conjugated mycotoxins. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 395, p. 1243-1252, 2009.

BERTIN, R. L.; MALTEZ, H. F.; GOIS, J. S.; BORGES, D. L.G.; BORGES, G. S. C.; GONZAGA, L. V.; FETTA, R. Mineral composition and bioaccessibility in *Sarcocornia ambigua* using ICP-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 47, p. 45-51, 2016.

BHATNAGAR-MATHUR, P.; SUNKARA, S.; BHATNAGAR-PANWAR, M.; WALIYAR, F.; SHARMA, K. K. Biotechnological advances for combating *Aspergillus flavus* and aflatoxin contamination in crops. **Plant Science**, v. 234, p. 119-132, 2015.

BITSAYAH, A.; BANAEI, M.; HAGHI, B. N. Effects of Aflatoxin-Contaminated Feed on Immunological Parameters of Common Carp (*Cyprinus carpio*). **Iranian Journal of Toxicology**, v. 1, p. 7-12, 2018.

BOOTH, M. A.; ALLAN, G. L.; SMULLEN, R. P. Digestibility of common feed ingredients by juvenile mullet *Argyrosomus japonicus*. **Aquaculture**, v. 414, p. 140-148, 2013.

BOSCOLO, W. R.; SIGNOR, A.; FREITAS, J. M. A.; BITTENCOURT, F.; FEIDEN, A. Nutrição de peixes nativos. *Revista Brasileira de Zootecnia*. Viçosa, v.40, p. 145-154, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Portaria MA/SNAD/SFA No. 07, de 09 de novembro de 1988. **Diário Oficial da União**, Seção I, página 21.968, 1988.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução RE nº 899, de 29 de maio de 2003. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2003.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 413, de 26 de julho de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 de jun. 2009. Seção 122, p. 126-129.

BRIYONES-REYES D, GOMÉZ-MARTINEZ L, CUERVA-ROLÓN R. Zearalenone contamination in corn for human consumption in the state of Tlaxcala, México. **Food Chemistry**, v.100, p. 693-698, 2007.

BROEKAERT, N.; DEVREESE, N.; DE BAERE, S.; DE BACKER, P.; CROUBELS, S. Modified Fusarium mycotoxins unmasked: From occurrence in cereals to animal and human excretion. **Food and Chemical Toxicology**, n. 80, p. 17–31, 2015.

BROWN, A. L.; ODELL, E. W.; MANTLE, P. G. DNA ploidy distribution in renal tumors induced in male rats by dietary ochratoxin. **Experimental and Toxicologic Pathology**, v. 59, p. 85-95, 2007.

BUCK, F, F. **Micooxinas em ração comercial para peixe**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade estadual de Londrina, Londrina, 2005.

CABAÑERO, A. I.; MADRID, Y.; CÁMARA, C. Selenium and mercury bioaccessibility in fish samples: an in vitro digestion method. **Analytica Chimica Acta**, v. 526, p. 51-61, 2004.

CAI, W. C.; JIANG, G. Z.; LI, X. F.; SUN, C. X.; MI, H. F.; LIU, S. Q.; LIU, W. P.; Effects of complete fish meal replacement by rice protein concentrate with or without lysine supplement on growth performance, muscle development and flesh quality of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 481-491, 2018.

CALORI-DOMINGUES, M.A.; ALMEIDA, R.R.; TOMIWAKA, M.M.; GALLO, C.R.; GLORIA, E.M.; DIAS, C.T.S. Ocorrência de desoxinivalenol em trigo nacional e importado utilizado no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p.181-185, 2007.

CARDOSO, C.; AFONSO, C.; LOURENÇO, L.; COSTA, S.; NUNES, M. L. Bioaccessibility assessment methodologies and their consequences for the risk/benefit evaluation of food. **Trends in Food Science & Technology**, v. 41, p. 5-23, 2015.

CARBONELL-CAPELLA, J. M.; BUNIOWSKA, M.; BARBA, F. J.; ESTEVE, M. J.; FRÍGOLA, A. Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 13, p. 155-171, 2014.

CARVALHO, E. A. **Digestibilidade *in vivo* e *in vitro* da torta de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) para juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. 2011. 95 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2011.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A.J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

CAVALHEIRO, A. C. M.; CASTRO, M. L. S.; EINHARDT, M. D. S.; POUHEY J. L. O. F.; PIEDRAS S. N.; XAVIER E. G. Use of microingredients in farmed fish feeding – a Review. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v. 109, p. 11-20, 2014.

CHEN, Y.; MENG, X.; ZHU, Y.; SHEN, M.; LU, Y.; CHENG, J.; XU, Y. Rapid detection of four mycotoxins in corn using a microfluidics and microarray-based immunoassay system. **Talanta**, v. 186, p. 299-305, 2018.

CHITARRINI, G.; NOBILI, C.; PINZARI, F.; ANTONINI, A.; DE ROSSI, P.; DEL FIORE, A.; PROCACCI, S.; TOLAINI, V.; SCALA, V.; SCARPARI, M.; REVERBERI, M. Buckwheat achenes antioxidant profile modulates *Aspergillus flavus* growth and aflatoxin production. **International Journal of Food Microbiology**, v. 189, p. 1-10, 2014.

CHOI, S.; JUN, H.; BANG, J.; CHUNG, S.; KIM, Y.; KIM, B.; KIM, H.; BEUCHAT, L. R.; RYU, J. Behaviour of *Aspergillus flavus* and *Fusarium graminearum* on rice as affected by degree of milling, temperature, and relative humidity during storage. **Food Microbiology**, v. 46, p. 307-313, 2015.

CIPRIANO, F. S.; LIMA, K. S.; SOUZA, R. H. B.; TONINI, W. C. T.; PASSINATO, E. B.; BRAGA, L. G. T. Digestibility of animal and vegetable protein ingredients by pirarucu juveniles, *Arapaima gigas*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, p. 581-586, 2016

CLAUDINO-SILVA, S. C.; LALA, B.; MORA, N. H. A. P.; SCHAMBER, C. R.; NASCIMENTO, C. S.; PEREIRA, V. V.; HEDLER, D. L.; GASPARINO, E. Fumonisin B₁ + B₂ change the expression of genes in apoptosis balance in Nile tilapia fingerlings. **Aquaculture**, v. 488, p. 155-160, 2018.

COSTA, R. F.; FIGUEIREDO, F. M.; BAY, M.; QUEIROZ, C.B.; BAY-HURTADO, F. Qualitative analysis of phytoplankton in a fish farming of Alvorada d'Oeste, Rondônia, Brazil. **Acta Agronômica**, v. 64, p. 260-267, 2015.

CORONEL, M. B.; MARIN, S.; CANO, G.; RAMOS, A. J.; SANCHIS, V. Ochratoxin A in Spanish retail ground roasted coffee: Occurrence and assessment of the exposure in Catalonia. **Food Control**, v. 22, p. 414-419, 2011.

COUTINHO, J. J. O.; NEIRA, L. M.; SANDRE, L. C. G.; COSTA, J. I.; MARTINS, M. I. E. G.; PORTELLA, M. C.; CARNEIROA, D. J. Carbohydrate-to-lipid ratio in extruded diets for Nile tilapia farmed in net cages. **Aquaculture**, v. 497, p. 520-525, 2018.

CUNHA, S. C.; ALVES, R. N.; FERNANDES, J. O.; CASAL, S.; MARQUES, A. First approach to assess the bioaccessibility of bisphenol A in canned seafood. **Food Chemistry**, v. 232, p. 501-507, 2017.

CYRINO, J. E. P.; FRACALLOSSI, D. M. **Nutriaqua: Nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, 2012.

DAIRIKI, J. K.; SILVA, T. B.A. **Exigências nutricionais do Tambaqui**. Manaus: EMBRAPA, 2011. 48 p.

DENG, S. X.; TIAN, L. X.; LIU, F. J.; JIN, S. J.; LIANG, G. Y.; YANG, H. J.; DU, Z. Y.; LIU, Y. J. Toxic effects and residue of aflatoxin B₁ in tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) during long-term dietary exposure. **Aquaculture**, v. 307, 233-240, 2010.

- DIAS, J.; YÚFERA, M.; VALENTE, L. M. P.; REMA, P. Feed transit and apparent protein, phosphorus and energy digestibility of practical feed ingredients by Senegalese sole (*Solea senegalensis*). **Aquaculture**, v. 302, p. 94-99, 2010.
- DIAZ, D. E.; HAGLER JUNIOR, W. M.; BLACKWELDER, J. T.; EVE, J. A.; HOPKINS, B. A.; ANDERSON, K. L.; JONES, F. T.; WHITLOW, L. W. Aflatoxin Binders II: Reduction of aflatoxin M1 in milk by sequestering agents of cows consuming aflatoxin in feed. **Mycopathologia**, v. 157, p. 233-241, 2004
- DOMENICO, A. S. D.; BUSO, C.; HASHIMOTO, E. H.; FRATA, M. T.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Occurrence of *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., and aflatoxins in corn hybrids with different systems of storage. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, p. 111-121, 2016.
- DOMIJAN, A. M.; PERAICA, M.; JURJEVIĆ, Z.; IVIĆ, D.; CVJETKOVIĆ, B. Fumonisin B₁, fumonisin B₂, zearalenone and ochratoxin A contamination of maize in Croatia. **Food Additives & Contaminants**, v. 22, p. 677-680, 2005.
- DORS, G. C.; BIERHALS, V. S.; BADIALE-FURLONG, E. Parboiled rice: chemical composition and the occurrence of mycotoxins. **Food Science and Technology**, v. 31, p. 172-177, 2011.
- DUARTE, S. C.; PENA, A.; LINO, C. M. A review on ochratoxin A occurrence and effects of processing of cereal and cereal derived food products. **Food Microbiology**, v. 27, p. 187-198, 2010.
- DZUMAN, Z.; STRANSKA-ZACHARIASOVA, M.; VACLAVIKOVA, M.; TOMANIOVA, M.; VEPRIKOVA, Z.; SLAVIKOVA, P.; HAJSLOVA, J. Fate of Free and Conjugated Mycotoxins within the Production of Distiller's Dried Grains with Solubles (DDGS). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, p. 5085-5092, 2016.
- EGBUTA, M. A.; MWANZA, M.; PHOKU, J. Z.; CHILAKA, C. A.; DUTTON, M. F. Comparative analysis of mycotoxigenic fungi and mycotoxins contaminating soya bean seeds and processed soya bean from Nigerian markets. **Advances in Microbiology**, v. 6, p. 1130-1139, 2016.
- ELSANHOTY, R. M.; SALAM, S. A.; RAMADAN, M. F.; BADR, F. H. Detoxification of aflatoxin M1 in yoghurt using probiotics and lactic acid bacteria. **Food Control**, v. 43, p. 129-134, 2014.
- EL-SAYED, Y. S.; KHALIL, R. H.; SAAD, T. T. Acute toxicity of ochratoxin-A in marine water-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). **Chemosphere**, v. 75, p. 878-882, 2009.
- EMBABY, E. M.; AYAAT, N. M.; EL-GALIL, M. M. A.; ABDEL-HAMEID, N. A.; GOUDA, M. M. Mycoflora and mycotoxin contaminated chicken and fish feeds. **Middle East Journal of Applied Sciences**, v. 5, p. 1044-105, 2015.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY – EFSA. Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the commission related to ochratoxin A in food. **The EFSA Journal**, v. 365, 2006.

EUROPEAN COMMISSION - EC, 2006. **Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs**. Official Journal of the European Union, L364 (2006), 5–24 (Commission Regulation (EC) N°. 1881/2006 of 19 December 2006).

FAILLA, M. L.; THAKKAR, S. K.; KIM, J. Y. In Vitro Bioaccessibility of β -Carotene in Orange Fleshed Sweet Potato (*Ipomoea batatas*, Lam.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, p.10922–10927, 2009.

FAN, Y.; LIU, L.; ZHAO, L.; WANG, X.; WANG, D.; HUANG, C.; ZHANG, J.; JI, C.; MA, Q. Influence of *Bacillus subtilis* ANSB060 on growth, digestive enzyme and aflatoxin residue in Yellow River carp fed diets contaminated with aflatoxin B₁. **Food and Chemical Toxicology**, v. 113, p. 108-114, 2018.

FERRARI FILHO, E. **Métodos e temperaturas de secagem sobre a qualidade físico-química e microbiológica de grãos de milho no armazenamento**. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em ciência da planta) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.

FELTRIN, A. C. p.; MILENA, R. V. F.; HENRIQUE, D. k. G; BADIALE-FURLONG, E.; GARDA-BUFFON, J. Peroxidase from soybean meal: obtention, purification and application in reduction of deoxynivalenol levels. **Química Nova**, v. 40, p. 908-915, 2017.

FERNANDES, A.C.; CARVALHO, P. L. P. F.; PEZZATO, L. E.; KOCH, J. F. A.; TEIXEIRA, C. P.; CINTRA, F. T.; DAMASCENO, F. M.; AMORIN, R. L.; PADOVANI, C. R.; BARROS, M. M. The effect of digestible protein to digestible energy ratio and choline supplementation on growth, hematological parameters, liver steatosis and size-sorting stress response in Nile tilapia under field condition. **Aquaculture**, v. 456, p. 83-93, 2016.

FINN, R. N.; FYHN, H. J. Requieriemnt for amino acids in ontogeny of fish. **Aquaculture**, v. 41, p. 684-716, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Worldwide regulations for mycotoxins 1995** — a compendium. Food and Nutrition Paper, N°. 64, Roma, 1997.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Reglamentos a nivel mundial para las micotoxinas en los alimentos y en las raciones en el año 2003**: Alimentación y nutrición. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Economic Analysis of Supply and Demand for Food up to 2030** — Special Focus on Fish and Fishery Products, Rome, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2016. 200 pp.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **The state of world fisheries and aquaculture: meeting the sustainable development goals** Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2018. 227 pp.

FORSYTHE, S. J. **Microbiologia da segurança dos alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 602 p.

FRAGA, M.; CURVELLO, F.; GATTI, M.; CAVAGLIERI, L.; DALCERO, A.; DA ROCHA ROSA, C. Potential aflatoxin and ochratoxin A production by *Aspergillus* species in poultry feed processing. **Veterinary Research Communications**, v. 31, p. 343–353, 2007.

FRANCESCO, M.; PARISI, G.; PÉREZ-SÁNCHEZ, J.; GÓMEZ-RÉQUENI, P.; MÉDALE, F.; KAUSHIK, S. J.; MECATTI, M.; POLI, B. M. Effect of high-level fish meal replacement by plant proteins in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) on growth and body/fillet quality traits. **Aquaculture Nutrition**, v. 13, p. 361-372, 2007.

FREITAS, L. E. L.; RODRIGUES, A. P. O.; MORO, G. V.; LUNDSTEDT, L. M. Práticas para avaliação da qualidade física em rações para peixes. **Circular Técnica**, v. 3, p. 1-7, 2016.

FROEHLICH, H. E.; GENTRY, R. R.; RUST, M. B.; GRIMM, D.; HALPERN, B.S. Public perceptions of aquaculture: evaluating spatiotemporal patterns of sentiment around the world. **Plos One**, v. 12, p. 1-1, 2017.

GANZON-NARET, E. S. The use of green pea (*Pisum sativum*) as alternative protein source for fish meal in diets for Asian sea bass, *Lates calcarifer*. **Journal - Bioflux - Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation**, v. 6, p. 399-406, 2013.

GARCIA, L. P.; SAVI, G. D.; SANTOS, K.; SCUSSEL, V. M. Fumonisin and fungi in dry soybeans (*Glycine Max* L.) for human consumption. **Food Additives & Contaminants: Part B**, v. 9, p. 79-84, 2016.

GARCIA, S. O. **Sistema modelo para redução dos níveis de zearalenona por ação enzimática**. 2016. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande. 2016.

GARCIA, S. O. **Degradação de ocratoxina A e zearalenona por ação enzimática (título provisório)**. 2019. Tese (Doutorado em andamento em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul.

GAYLORD, T. G.; BARROWS, F. T.; RAWLES, S. D. Apparent digestibility of gross nutrients from feedstuffs in extruded feeds for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 39, p. 827-834, 2008

GILANNEJAD, N.; MARTÍNEZ-RODRÍGUEZA, G.; YÚFERAA, M.; MOYANO, F. J. Estimating the effect of different factors on the digestive bioaccessibility of protein by the Senegalese sole (*Solea senegalensis*); combination of response surface methodology and in vitro assays. **Aquaculture**, v. 477, p. 28-34, 2017.

GOMINHO-ROSA, M. G.; RODRIGUES, A. P. O.; MATTIONI, B.; FRANCISCO, A.; MORAES, G.; FRACALLOSSI, D. M. Comparison between the omnivorous jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the utilization of dietary starch sources: digestibility, enzyme activity and starch microstructure. **Aquaculture**, v. 435, p. 92-99, 2015.

GONÇALVES-NUNES E. M. C.; GOMES-PEREIRA, M. M.; RAPOSO-COSTA, A. P.; ROCHA-ROSA, C. A.; PEREYRA, C. M.; CALVET, R. M.; ALVES-MARQUES, A. L.; CARDOSO-FILHO, F.; SANCHES-MURATORI, M. C. Screening of aflatoxin B1 and mycobiota related to raw materials and finished feed destined for fish. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 43, p. 595-600, 2015.

GONÇALVES, R. A.; NAEHRER, K.; SANTOS, G. A. Occurrence of mycotoxins in commercial aquafeeds in Asia and Europe: a real risk to aquaculture? **Reviews in Aquaculture**, v. 1, p. 1-18, 2016.

GONÇALVES, R. A.; SCHATZMAYR, D.; HOFSTETTER, U.; SANTOS, G. A. Occurrence of mycotoxins in aquaculture: preliminary overview of Asian and European plant ingredients and finished feeds. **World Mycotoxin Journal**, v. 10, p. 183-194, 2017.

GONÇALVES, R. A.; HOFSTETTER, U.; SCHATZMAYR, D.; JENKINS, T. Mycotoxins in Southeast Asian aquaculture: plant-based meals and finished feeds. **World Mycotoxin Journal**, v. 1, p. 34-39, 2018.

GONÇALVES, R. A.; NAVARRO-GUILLÉN, C.; GILANNEJAD, N.; DIAS, J.; SCHATZMAYR, D.; BICHL, G.; CZABANY, T.; MOYANO, F. J.; REMA, P.; YÚFERA, M.; MACKENZIE, S.; MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, G. Impact of deoxynivalenol on rainbow trout: Growth performance, digestibility, key gene expression regulation and metabolism. **Aquaculture**, v. 490, p. 362-372, 2018.

GONÇALVES, R. A.; HOFSTETTER, U.; SCHATZMAYR, D.; JENKINS, T. Mycotoxins in Southeast Asian aquaculture: plant-based meals and finished feeds. **World Mycotoxin Journal**, v. 1, p. 34-39, 2018.

GRECO, M.; KEMPPAINEN, M.; POSE, G.; PARDO, A. Taxonomic Characterization and Secondary Metabolite Profiling of Aspergillus Section Aspergillus Contaminating Feeds and Feedstuffs. **Toxins**, v. 7, p. 3512-3537, 2015

GRUBER-DORNINGER, C.; JENKINS, T.; SCHATZMAYR, G. Multi-mycotoxin screening of feed and feed raw materials from Africa. **World Mycotoxin Journal**, v. 4, p. 14-53, 2018.

GULLINO, M. L.; STACK, J. P.; FLETCHER, J.; MUMFORD, J. D. **Practical Tools for plant and food Biosecurity**: Results from a european Network of excellence. Cham Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, 2017

HACKBART, H. C. S.; SOUZA, M. M.; SCAGLIONI, P. T.; PRIMEL, E. G.; GARDABUFFON, J.; BADIALE-FURLONG, E. Método quechers para determinação de ocratoxina a e citrinina em arroz e farelo de arroz. **Química Nova**, v. 35, p. 1733-1737, 2012

HALVER, J. E.; HARDY, R. W. **Fish nutrition**. 3th revised ed. Academic press, Cambridge, Massachusetts, EUA, 2002.

HAN-HAN, L.; LIU-JUN, C.; LIN, Y.; ZHONG-BAO, G.; CHUN-QIAO, S.; JIAN-QING, L.; YANG-GUANG, G.; ZHAN-BIAO, Y.; YUAN-XIANG, Y.; JI-RONG, S.; XUE-MEI, Z.; ZHANG, C. Pollution characteristics and risk assessment of human exposure to oral bioaccessibility of heavy metals via urban street dusts from diferente functional areas in Chengdu, China. **Science of the Total Environment**, v. 586, p. 1076-1084, 2017.

HAMDAN, M.; MOYANO, F. J.; SCHUHARDTB, D. Optimization of a gastrointestinal model applicable to the evaluation of bioaccessibility in fish feeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, p. 1195-1201, 2009.

HAMDAN, M.; TOMÁS-VIDAL, A.; MARTINEZ, S.; CEREZO-VALVERDE, J.; MOYANO, F. J. Development of an in vitro model to assess protein bioavailability in diets for common octopus (*Octopus vulgaris*). **Aquaculture Research**, v. 45, p. 2048-2056, 2014.

HARLIOĞLU, M. M.; FARHADI, A. Importance of Gammarus in aquaculture. **Aquaculture International**, v. 26, p. 1327-1338, 2018.

HARRIS, D.C. **Explorando a Química analítica**. São Paulo: LTC, 2011. 568 p.

HEIDTMANN-BEMVENUTI, R.; MENDES, G. L.; SCAGLIONI, P. T.; BADIALE-FURLONG, E.; SOUZA-SOARES, L. A. Biochemistry and metabolism of mycotoxins: A review. **African Journal of Food Science**, v. 5, p. 861-869, 2011.

HIRAKURI, M. M.; DEBIASI, H.; PROCÓPIO, S. O.; FRANCHINI, J.C.; CASTRO C. **Sistemas de produção: conceitos e definições no contexto agrícola**. Londrina: EMBRAPA, 2012.

HIXSON, S. M.; PARRISH, C. C.; ANDERSON, D. M. Full substitution of fish oil with camelina (*Camelina sativa*) oil, with partial substitution of fish meal with camelina meal, in diets for farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effect on tissue lipids and sensory quality. **Food Chemistry**, v. 157, p. 51-61, 2014.

HOSSAIN, M. Z.; MARAGOS, C. M. Gold nanoparticle-enhanced multiplexed imaging surface plasmon resonance (iSPR) detection of *Fusarium* mycotoxins in wheat. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 101, p. 245-252, 2018.

HUYBEN, D.; VIDA KOVIĆ, A.; HALLGREN, S. W.; LANGELAND, M. High-throughput sequencing of gut microbiota in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed larval and pre-pupae stages of black soldier fly (*Hermetia illucens*). **Aquaculture**, v. 500, p. 485-491, 2019.

HUWIG, A.; FREIMUND, S.; KÄPPELI, O.; DUTLER, H. Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents. **Toxicology Letters**, v. 122, p. 179-188, 2001.

IHESHIULOR, O. O. M.; ESONU, B. O.; CHUWUKA, O. K.; OMEDE, A. A.; OKOLI, I. C.; OGBUEWU, I. P. Effects of mycotoxins in animal nutrition: A review. **Asian Journal of Animal Science**, v. 5, p. 19-33, 2011.

IQBAL, S. Z.; NISAR, S.; ASI, M. R.; JINAP, S. Natural incidence of aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in chicken meat and eggs. **Food Control**, v. 43, p. 98-103, 2014.

IMANI, A.; BANI, M. S.; NOORI, F.; FARZANEH, M.; MOGHANLOU, K. S. The effect of bentonite and yeast cell wall along with cinnamon oil on aflatoxicosis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Digestive enzymes, growth indices, nutritional performance and proximate body composition. **Aquaculture**, v. 476, p. 160-167, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. DOQ – CGCRE – 008: **Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos**. Brasília, p. 1-19, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da pecuária municipal**. Rio de Janeiro, 2016.

INTAWONGSE, M.; SRIRAKSA, S.; DEAN, J. R.; KONGCHANA, P. Estimation of bioaccessibility of heavy metals In oysters using the physiologically based Extraction test. **Instrumentation Science and Technology**, v. 40, p. 372-383, 2012.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER - IARC. **Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans**. Lyon: IARCpress, 2002. 601 p.

JADAN-PIEDRA, C.; BAQUEDANO, M.; PUIG, S.; VÉLEZ, D.; DEVESA, V. Use of *Saccharomyces cerevisiae* To Reduce the Bioaccessibility of Mercury from Food. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, p. 2876-2882, 2017.

JAIMEZ, J.; GENTE, C. A.; VAZQUEZ, B. I.; FRANCO, C. M.; CEPEDA, A.; MAHUZIER, G.; PROGNON, P. Application of the assay of aflatoxins by liquid chromatography with fluorescence detection in food analysis. **Journal of chromatography**, v. 882, p. 1-10, 2000.

JAKIĆ-DIMIĆ, D.; JEREMIĆ, S.; NEŠIĆ, K.; RADOSAVLJEVIĆ, V. The influence of mycotoxins in food on fish health status. **Zbornik Matice Srpske za Prirodne Nauke**, v. 109, p. 73-79, 2005.

JARD, G.; LIBOZ, T.; MATHIEU, F.; GUYONVARC'H, A.; LEBRIHI, A. Review of mycotoxin reduction in food and feed: from prevention in the field to detoxification by adsorption or transformation. **Food Additives & Contaminants**, v. 28, p. 1590-1609, 2011.

JOBLING, M.; GOMES, E.; DIAS, J. Feed types, manufacture and ingredients. In: HOULIHAN, D.; BOUJARD, T.; JOBLING, M. (Ed.). **Food intake in fish**. Oxford: Blackwell Science, 2001. p. 25-48.

JONES, F. T.; GENTER, M. B.; HAGLER, W. M.; HANSEN, J. A.; MOWREY, B. A.; POORE, M. H.; WHITLOW, L. W. 2007. **Understanding and coping with effects of mycotoxins in livestock feed and forage**. North Carolina Cooperative Extension Service, Raleigh, North Caroline, EUA.

JUHASZ, A. L.; SMITH, E.; NELSON, C.; THOMAS, D. J.; BRADHAM, K. Variability Associated with As in Vivo–in Vitro Correlations When Using Different Bioaccessibility Methodologies. **Environmental Science & Technology**, v. 48, p. 11646-11653, 2014.

KABAK, B.; DOBSON, A. D. W.; VAR, I. Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 46, p. 593-619, 2006.

KABAK, B.; BRANDON, E. F. A.; VAR, I.; BLOKLAND, M.; SIPS, A. J. A. M. Effects of probiotic bacteria on the bioaccessibility of aflatoxin B1 and ochratoxin A using an in vitro digestion model under fed conditions. **Journal of Environmental Science and Health Part B**, v. 44, p. 472-480, 2009.

KABIR, K. A.; SCHRAMA, J. W.; VERRETH, J. A. J.; PHILLIPS, M. J.; VERDEGEM, M. C. J. Effect of dietary protein to energy ratio on performance of Nile tilapia and food web enhancement in semi-intensive pond aquaculture. **Aquaculture**, v. 499, p. 235-242, 2019.

KANDEL, R. **Potential for using aluminosilicates for removal of heavy metals and mycotoxins from feed and water**. Oslo, Norway, 2018.

KARLOVSKY, P.; SUMAN, M.; BERTHILLER, F.; MEESTER, J.; EISENBRAND, G.; PERRIN, I.; OSWALD, I. P.; SPEIJERS, G.; CHIODINI, A.; RECKER, T.; DUSSOR, P. Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination. **Mycotoxin Research**, v. 32, p. 179-205, 2016.

KHALIFA, N. S. A.; BELA, I. E. H.; EL-TARABILY, K. A.; TARIQ, S.; KASSAB, A. A. Evaluation of replacing fish meal with corn protein concentrate in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings commercial diet. **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 143-152, 2018.

KHANAFARI, A.; SOUDI, H.; MIRABOULFATHI, M. Biocontrol of *Aspergillus flavus* and aflatoxin B1 production in corn. **Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering**, v. 4, p. 163-168, 2007.

KHEZRI, A.; HERRNAZ-JUSDADO, J. G.; ROPSTAD, E.; FRASER, T. W. K. Mycotoxins induce developmental toxicity and behavioural aberrations in zebrafish larvae. **Environmental Pollution**, v. 242, p. 500-506, 2018.

KHOURY, A.; ATOUI, A. Ochratoxin A: General overview and actual molecular status. **Toxins**, v. 2, p. 461-493, 2010.

KIM, H. J.; LEE, M. J.; KIM, H. J.; CHO, S. K.; PARK, H. J.; JEONG, M. H. Analytical method development and monitoring of Aflatoxin B1, B2, G1, G2 and Ochratoxin A in animal feed using HPLC with Fluorescence detector and photochemical reaction device. **Food Science and Technology**, v. 3, p. 1-8, 2017.

KIRON, V. Fish immune system and its nutritional modulation for preventive health care. **Animal Feed Science and Technology**, v. 173, p. 111-133, 2012.

KOCHA, J. F.; RAWLES, S. D.; WEBSTER, C. D.; CUMMINSC, V.; KOBAYASHI, Y.; THOMPSON, K. R.; GANNAM, A. L.; TWIBELL, R. G.; HYDE, N. M. Optimizing fish meal-free commercial diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 452, p. 357-366, 2016.

KÖPPEN, R.; KOCH, M.; SIEGEL, D.; MERKEL, S.; MAUL, R.; NEHLS, I. Determination of mycotoxins in foods: current state of analytical methods and limitations. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 86, p. 1595-1612, 2010.

KOSICKI, R.; BŁAJET-KOSICKA, A.; GRAJEWSKI, J.; TWARUŻEK, M. Multiannual mycotoxin survey in feed materials and feedingstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 215, p. 165-180, 2016.

KOTINAGU, K.; MOHANAMBA, T.; KUMARI, L. R. Assessment of aflatoxin B1 in livestock feed and feed ingredients by high-performance thin layer chromatography. **Veterinary World**, v. 8, p. 1396-1399, 2015.

KÖVESI, B.; PELYHE, C.; ZANDOKI, E.; MEZES, M.; BALOGH, K. Changes of lipid peroxidation and glutathione redox system, and expression of glutathione peroxidase regulatory genes as effect of short-term aflatoxin B1 exposure in common carp. **Toxicon**, v. 144, p. 103-108, 2018.

KOWALSKA, K.; HABROWSKA-GÓRCZYNSKA, D. E.; URBANEK, K. A.; DOMICKA, K.; PIASTOWSKA-CIESIELSKA, A. W. Estrogen receptor α is crucial in zearalenone-induced invasion and migration of prostate cancer cells. **Toxins**, v. 28, p. 1-15, 2018.

KRNJAJA, V.; MANDIĆ, V.; STANKOVIĆ, S.; OBRADOVIĆ, A.; VASIĆ, T.; LUKIĆ, M.; BIJELIĆ, Z. Influence of plant density on toxigenic fungal and mycotoxin contamination of maize grains. **Crop Protection**, v. 116, p. 126-131, 2019.

KUBITZA, F. Micotoxinas e seus efeitos sobre os peixes. **Panorama da Aquicultura**, v. 20, p. 14-23, 2010.

KULKARNI, S. D.; ACHARYA, R.; RAJURKAR, N. S.; REDDY, A. V. R. Evaluation of bioaccessibility of some essential elements from wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) by in vitro digestion method. **Food Chemistry**, v. 103, p. 681-688, 2007.

KUPSKI, L.; FREITAS, M.; RIBEIRO, D.; BADIALE-FURLONG, E.; FERNANDES, E. Ochratoxin A activates neutrophils and kills these cells through necrosis, an effect eliminated through its conversion into ochratoxin α . **Toxicology**, v. 368, p. 91-102, 2016.

KUPSKI, L.; QUEIROZ, M. I.; BADIALE-FURLONG, E. Application of carboxypeptidase A to a baking process to mitigate contamination of wheat flour by ochratoxin A. **Process Biochemistry**, v. 64, p. 248-254, 2018.

LAIRD, B. D.; CHAN, H. M. Bioaccessibility of metals in fish, shellfish, wild game, and seaweed harvested in British Columbia, Canada. **Food and Chemical Toxicology**, v. 58, p. 381-387, 2013.

LAITILA, A.; VAHALA, P.; SARLIN, T. **Integrated preventive actions to avoid mycotoxins in malting and brewing**. Finlandia Hall, Helsinki, Finland, 2018.

LANÇAS, F. M. **Cromatografia líquida moderna**. Campinas: Átomo, 2009. 384 p.

- LANNA, E. A. T.; PEZZATO, L. E.; FURUYA, W. M.; VICENTINI, C. A.; CECON, P. R.; BARROS, M. M. Fibra Bruta e Óleo em Dietas Práticas para Alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p. 2177-2185, 2004.
- LASNER, T.; BRINKER, A.; NIELSEN, R.; RAD, F. Establishing a benchmarking for fish farming-Profitability, productivity and energy efficiency of German, Danish and Turkish rainbow trout grow-out systems. **Aquaculture**, v. 48, p. 3134-3148, 2017.
- LIU, X.; XU, H.; CHENG, G.; LIU, C.; LIU, S.; LU, S.; TIAN, C.; TANG, R.; GU1, Z. Effects of portable solar water quality control machines on aquaculture ponds. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 4040-4047, 2016.
- LOGATO, P. V. R. **Nutrição e alimentação de peixes de água doce**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2012.
- LOWRY, O. H.; ROSENBROUGH, M. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the Folin Phenol Reagent. **Journal of Biological Chemistry**, v.193, p. 265-275, 1951.
- LU, D. L.; MA, Q.; WANG, J.; LI, L. Y.; HAN, S. L.; LIMBU, S. M.; LI, D. L.; CHEN, L. Q.; ZHANG, M. L.; DU, Z. Y.. Fasting enhances cold resistance in fish through stimulating lipid catabolism and autophagy. **The Journal of physiology**, v. 1, p. 1-32, 2019.
- LUMLERTDACHA, S.; LOVELL, R. T.; SHELBY, R. A.; LENZ, S. D.; KEMPPAINEN, B. W. Growth, hematology, and histopathology of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, fed toxins from *Fusarium moniliforme*. **Aquaculture**, v. 130, p. 201-218, 1995.
- MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília: ICMBIO, 2008. 908 p.
- MACHADO, A. T. **Sustentabilidade ambiental de um sistema de produção de peixes no município de Rolim de Moura - Rondônia**. Cacoal: UNIR, 2015. 79 p.
- MACHADO, L. V.; MALLMANN, C. A.; MALLMANN, A. O.; COELHO, R. D.; COPETTI, M.V. Deoxynivalenol in wheat and wheat products from a harvest affected by fusarium head blight. **Food Science and Technology**, n. 37, p. 8-12, 2017.
- MACHINSKI JR, M.; SOARES, L. M. V.; SAWAZAKI, E.; BOLONHEZI, D.; CASTRO, J. L.; BORTOLLETO, N. Aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in brazilian corn cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, p. 1001-1007, 2001.
- MAGAN, N.; MEDINA, A.; RODRIGUEZ, A. Effect of climate change on *Aspergillus flavus* and aflatoxin B₁ production. **Frontiers in Microbiology**, v. 5, p. 1-11, 2014.
- MAHFOUZ, M. E.; SHERIF, A. H. A multiparameter investigation into adverse effects of aflatoxin on *Oreochromis niloticus* health status. **The Journal of Basic & Applied Zoology**, v. 71, p. 48-59, 2015.

- MAJEED, S.; BOEVRE, M.; SAEGER, S.; RAUF, W.; TAWAB, A.; HABIB, F.; RAHMAN, M.; IQBAL, M. Multiple mycotoxins in rice: occurrence and health risk assessment in children and adults of Punjab, Pakistan. **Toxins**, v. 10, p. 1-30, 2018
- MAKUN, HH. A.; DUTTON, M. F.; NJOBEH, P. B.; MWANZA, M.; KABIRU, A. Y. Natural multi-occurrence of mycotoxins in rice from Niger State, Nigeria. **Mycotoxin Research**, v. 27, p. 97-104, 2011.
- MANNING, B. B.; ULLOA, R. M.; LI, M. H.; ROBINSON, E. H.; ROTTINGHAUS, G. E. Ochratoxin A fed to channel catfish (*Ictalurus punctatus*) causes reduced growth and lesions of hepatopancreatic tissue. **Aquaculture**, v. 219, p. 739-750, 2003.
- MANSOUR, A. T.; OMAR, E. A.; SOLIMAN, M. K.; SROUR, T. M.; NOUR, A. M. The antagonistic effect of whey on Ochratoxin A toxicity on the growth performance, feed utilization, liver and kidney functions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Middle East Journal Applied Sciences**, v. 1, p. 176-183, 2015.
- MARAGOS, C. M. Zearalenone occurrence and human exposure. **World Mycotoxin Journal**, v. 3, p. 369-383, 2010.
- MARIJANI, E.; WAINAINA, J. M.; CHARO-KARISA, H.; NZAYISENGA, L.; MUNGUTI, J.; GNONLONFIN, G. J. B.; KIGADYE, E.; OKOTH, S. Mycoflora and mycotoxins in finished fish feed and feed ingredients from smallholder farms in East Africa. **Egyptian Journal of Aquatic Research**, v. 43, p. 169-176, 2017.
- MARIN, S.; RAMOS, A.J.; CANO-SANCHO, G.; SANCHIS, V. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. **Food and Chemical Toxicology**, v. 60, p. 218-237, 2013.
- MARTIN, C.; SCHÖNEBERG, T.; VOGELGSANG, S.; FERREIRA, C. F. M.; MORISOLI, R.; BERTOSSA, M.; BUCHELI, T. D.; MAUCH-MANI, B.; MASCHER, F. Responses of oat grains to *Fusarium poae* and *F. langsethiae* infections and mycotoxin contaminations. **Toxins**, v. 10, p. 1-18, 2018.
- MARTÍNEZ-LLORENS, S.; VIDAL, A. T.; GARCIA, I. J.; TORRES, M. P.; CERDÁ, M. J. Optimum dietary soybean meal level for maximizing growth and nutrient utilization of on-growing gilthead sea bream (*Sparus aurata*). **Aquaculture Nutrition**, v. 15, p. 320-328, 2009.
- MASSAROLO, K.C., FERREIRA, C.F.J., KUPSKI, L., BADIALE-FURLONG, E. Optimization of Matrix Solid-Phase Dispersion Method for Extraction of Aflatoxins from Cornmeal. **Food Analytical Methods**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2018.
- MASSOCCO, M. M. **Ocorrência de fungos toxigênicos e aflatoxinas em pisciculturas do estado de São Paulo: rações e espécies comerciais de pescado de cultivo**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga.
- MATEJOVA, I.; FALDYNA, M.; MODRA, H.; BLAHOVA, J.; PALIKOVA, M.; MARKOVA, Z.; FRANC, A.; VICENOVA, M.; VOJTEK, L.; BARTONKOVA, J.;

SEHONOVA, P.; HOSTOVSKY, M.; SVOBODOVA, Z. Effect of T-2 toxin-contaminated diet on common carp (*Cyprinus carpio* L.). **Fish and Shellfish Immunology**, v. 60, 458-465, 2017.

MAZIERO, M. T.; BERSOT, L. S. Micotoxinas em alimentos produzidos no Brasil. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.12, p. 89-99, 2010.

MEDINA, A.; RODRÍGUEZ, A.; MAGAN, N. Climate change and mycotoxigenic fungi: impacts on mycotoxin production. Current. **Current Opinion In Food Science**, v. 5, p. 99-104, 2015.

MELLO, F., OLIVEIRA, C.A.L., STREIT JR, D., RESENDE, E.K., OLIVEIRA, S.N., FORNARI, D.C., BARRETO, R.V., POVH, J.A.; RIBEIRO, R.P. Estimation of Genetic Parameters for Body Weight and Morphometric Traits to Tambaqui *Colossoma macropomum*. **Journal of Fisheries Sciences**, v. 10, p. 96-100, 2016.

MELO, J. F. B.; SOUZA, A. M.; ALVES, A. P. P.; CAMARGO, A. C. S.; LUNDSTEDT, L. M.; MORAES, G. **Alguns Aspectos da Digestão e do Metabolismo de Nutrientes em Peixes**. In: CAMARGO, A.C. S.; NOGUEIRA, W. C. L.; TORRES, A. F. B.; ALMEIDA, A. C.; STEFANELLO, C. M. (Org.). *Piscicultura: Aspectos Relevantes*. Uruguaiana: UNIPAMPA, 2016.

MENDES, G. R. L.; REIS, T. A.; CORRÊA, B.; BADIALE-FURLONG, A. Mycobiota and occurrence of Fumonisin B1 in wheat harvested in Southern Brazil Micobiota e ocorrência de Fumonisina B₁ em trigo colhido no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 45, p.1050-1057, 2015.

MENDOZA, C. J.; GARRIDO, R. T.; QUILODRIAN, R. C.; SEGOVIA, C. M.; PARADA, A. J. Evaluation of the bioaccessible gastric and intestinal fractions of heavy metals in contaminated soils by means of a simple bioaccessibility extraction test. **Chemosphere**, v. 176, p. 81-88, 2017.

MICHELIN, E. C.; MASSOCCO, M. M.; GODOY, S. H. S.; BALDIN, J. C.; YASUI, G. S.; LIMA, G. G.; ROTTINGHAUS, G. E.; SOUSA, R. L. M.; FERNANDES, A. M. Carryover of aflatoxins from feed to lambari fish (*Astyanax altiparanae*) tissues. **Food Additives & Contaminants Part A**, v. 34, p. 265-272, 2016.

MODRA, H.; SISPEROVA, E.; BLAHOVA, J.; ENEVOVA, V.; FICTUM, P.; FRANC, A.; MARES, J.; SVOBODOVA, Z. Elevated concentrations of T-2 toxin cause oxidative stress in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 842-849, 2017.

MONACI, L.; GARBETTA, A.; ANGELIS, E.; VISCONTI, A.; MINERVINI, F. Assessment of toxic potential of mycotoxin contaminated bread during in vitro human digestion on human B lymphoid cell line. **Toxicology Letters**, v. 232, p. 106-112, 2015.

MONBALIU, S.; POUCKE, C. V.; DETAVERNIER, C.; DUMOULIN, F.; VELDE, M. V.; SCHOETERS, E.; DYCK, S. V.; AVERKIEVA, O.; PETEGHEM, C. V.; SAEGER, S. Occurrence of Mycotoxins in Feed as Analyzed by a Multi-Mycotoxin LC-MS/MS Method. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 66-71, 2010.

MONSON, M. S.; CARDONA, C. J.; COULOMBE, R. A.; REED, K. M. Hepatic transcriptome responses of domesticated and wild turkey embryos to aflatoxin B₁. **Toxins**, v. 8, p. 1-22, 2016.

MORADI, Y.; BAKAR, A.; MOTALEBI, A.; SEYD MUHAMAD, S. H.; CHE MAN, Y. A Review on fish lipid: Composition and changes during cooking methods. **Journal of aquatic food product technology**, v. 20, p. 379-390, 2011.

MORALES, G.; MOYANO, F. Application of an in vitro gastrointestinal model to evaluate nitrogen and phosphorus bioaccessibility and bioavailability in fish feed ingredients. **Aquaculture**, v. 306, p. 244-251, 2010.

MORO, G. V.; RODRIGUES, A. P. O. **Rações para organismos aquáticos: tipos e formas de processamento**, Brasília, Brasil, 2015.

MUSSADDEQ, Y.; BEGUM, I.; AKHTER, S. Activity of aflatoxins adsorbents in poultry feed Pakistan. **Journal of Biological Sciences**, v. 3, p. 1697-1699, 2000.

MWIIHIA, E. W.; MBUTHIA, P. G.; ERIKSEN, G. S.; GATHUMBI, J. K.; MAINA, J. G.; MUTOLOKI, S.; WARUIRU, R. M.; MULEI, I. R.; LYCHE, J. L. Occurrence and Levels of Aflatoxins in Fish Feeds and Their Potential Effects on Fish in Nyeri, Kenya. **Toxins**, v. 10, p. 1-16, 2018.

NÁCHER-MESTRE, J.; IBÁÑEZ, M.; SERRANO, R.; PEREZ-SÁNCHEZ, J.; HERNÁNDEZ, F. Qualitative Screening of Undesirable Compounds from Feeds to Fish by Liquid Chromatography Coupled to Mass Spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 2077-2087, 2013.

NÁCHER-MESTRE, J.; SERRANO, R.; BELTRÁN, E.; PÉREZ-SÁNCHEZ, J.; SILVA, J.; KARALAZOS, V.; HERNÁNDEZ, F.; BERNTSEN, M. H. G. Occurrence and potential transfer of mycotoxins in gilthead sea bream and Atlantic salmon by use of novel alternative feed ingredients. **Chemosphere**, v. 128, p. 314-320, 2015.

NAKATSUBO, M. A. S. **Bioaccessibilidade de Hg em peixes de diferentes níveis tróficos, originário da Amazônia**. 2017. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo. 2017.

NANDAKUMAR, S.; AMBASANKAR, K.; ALI, S. S. R.; SYAMADAYA, J.; VASAGAM, K. Replacement of fish meal with corn gluten meal in feeds for Asian seabass (*Lates calcarifer*). **Aquaculture International**, v. 25, p. 1495-1505, 2017.

NATHANAIL, A.V.; VARGA, E.; MENG-REITERER, J.; BUESCHL, C.; MICHLMAYR, H.; MALACHOVA, A.; FRUHMANN, P.; JESTOI, M.; PELTONEN, K.; ADAM, G.; LEMMENS, M.; SCHUHMACHER, R.; BERTHILLER, F. Metabolism of the Fusarium Mycotoxins T-2 Toxin and HT-2 Toxin in Wheat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, p. 7862-7872, 2015.

NATIONAL RESEARCH COUNCI - NRC. **Nutrient Requirements of Fish and Shrimp**. Washington: The National Academies Press, 2011. 392 p.

NAVARRO-GUILLÉN, G.; ENGROLA, S.; YÚFERA, M. Daily dynamic of digestive processes in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) larvae and post-larvae. **Aquaculture**, v. 493, p. 100-106, 2018.

NÓBREGA, R. H.; JESUS, L. W. O.; HONJI, R. M.; BORELLA, M. I. Characterization of gonadotropic cells during continuous and seasonal spermatogenesis of two freshwater fish species: a histochemical and immunohistochemical study. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 43, p. 51-63, 2017.

NOGUEIRA, S.; OLIVEIRA, M. B. P. P. Ochratoxin A prevalence in food and consequent food safety problems (in Portuguese), **Revista da Sociedade Portuguesa de Ciências da Nutrição e Alimentação**, v. 12, p. 69–75, 2006.

NOMURA, M.; AOYAMA, K.; ISHIBASHI, T. Sterigmatocystin and aflatoxin B₁ contamination of corn, soybean meal, and formula feed in Japan. **Mycotoxin Research**, v. 34, p. 21-27, 2018.

NUNES, A. J. P.; SÁ, M. V. C.; BROWDY, C. L.; VAZQUEZ-ANON, M. Practical supplementation of shrimp and fish feeds with crystalline amino acids. **Aquaculture**, v. 431, p. 20–27, 2014.

NUNES, J. R.S.; LIU, S.; PÉRTILLE, F.; PERAZZA, C. A.; VILLELA, P. M. S.; ALMEIDA-VAL, V. M. F.; HILSDORF, A. W. S.; LIU, Z.; COUTINHO, L.L. Large-scale SNP discovery and construction of a high-density genetic map of *Colossoma macropomum* through genotyping-by-sequencing. **Scientific Reports**, v. 7, p. 1-11, 2017.

OGA, S.; CAMARGO, M. M. A.; BATISTUZZO, J. A. O. **Fundamentos de Toxicologia**. São Paulo: Atheneu, 2008.

OKEKE, O. F. I.; FAPOHUNDA, S.; SOARES, C.; LIMA, N.; AYANBIMPE, G. M. Mycotoxin Contamination of Maize and Guinea corn from Markets in Plateau State, Nigeria. **Mycotoxicology**, v. 2, p. 28-34, 2015.

OLAJUYIGBE, O. O.; AKANDE, G. R.; EZEKIEL, C. N. EZEKIEL M. O. Aflatoxigenic moulds and aflatoxin contamination of retailed fishery products in Lagos markets. **Micotoxicology**, n.1, p. 57-63, 2014.

OLORUNFEMI, M. F.; ODEBODE, A. C.; JOSEPH, O. O.; EZEKIEL, C.; SULYOK, M.; KRSKA, R.; OYEDELE, A. **Multi-Mycotoxin Contaminations in Fish Feeds from Different Agro-Ecological Zones in Nigeria**. In: Tielkes, E. (Eds), *Agricultural development within the rural-urban continuum*. Cuvillier Verlag, Göttingen, pp. 557-562, 2013.

ONO, E. Y. S.; SASAKI, E. Y.; HASHIMOTO, E. H.; HARA, L. N.; CORRÊAS, B.; ITANO, E. N.; SUGIURA, T.; UENO, Y.; HIROOKA, E. Y. Post-harvest storage of corn: effect of beginning moisture content on mycoflora and fumonisin contamination. **Food Additives and Contaminants**, v.19, p. 1081-1090, 2002.

ONORIO, O. C.; RIOS, O. G.; GUYOT, B.; FONTANA, T. A.; GUIRAUD, J. P.; GALLINDO, S. S.; DURAND, N.; QUIROZ, M. S. Effect of two different roasting

techniques on the Ochratoxin A (OTA) reduction in coffee beans (*Coffea arabica*). **Food Control**, v. 22, p. 1184-1188, 2011.

ORTIZ, I. A. S. **Criação de tilápia com efluente de lagoa de alta taxa: avaliação de taxas de aplicação superficial de nitrogênio e sustentabilidade da produção pelo fornecimento de alimento natural (plâncton) viçosa Minas Gerais – Brasil**. 2018. Tese (Doutorado em Ciência) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

PALMA, N.; CINELLI, S.; SAPORA, O.; WILSON, S. H.; DOGLIOTTI, E. Ochratoxin A-induced mutagenesis in mammalian cells is consistent with the production of oxidative stress. **Chemical Research in Toxicology**, v. 20, p. 1031-1037, 2007.

PANKAJ, S. K.; SHI, H.; KEENER, K. M. A review of novel physical and chemical decontamination technologies for aflatoxin in food. **Trends in Food Science & Technology**, v. 71, p. 73-83, 2018.

PATRAS, A.; BRUNTON, N. P.; DOWNEY, G.; RAWSON, A.; WARRINER, K.; GERNIGON, G. Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify fruits and vegetables commonly consumed in Ireland based on in vitro antioxidant activity. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, p. 250-256, 2011.

PATTONO, D.; GALLO, P. F.; CIVERA, T. Detection and quantification of Ochratoxin A in milk produced in organic farms. **Food Chemistry**, v. 127, p. 374-377, 2011.

PAULINO, R. R.; PEREIRA, R. T.; FONTES, T. V.; OLIVA-TELES, A.; PERES, H.; CARNEIRO, D. J.; ROSA, P. V. Optimal dietary linoleic acid to linolenic acid ratio improved fatty acid profile of the juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Aquaculture**, v. 488, p. 9-16, 2018.

PEKEL, A. Y.; ALIK, A. C.; ALATAS, M. S.; KUTER, E.; CENGİZ, O.; OMURTAG, G. Z.; INAN, G. Evaluation of correlations between nutrients, fatty acids, heavy metals, and deoxynivalenol in corn (*Zea mays* L.). **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 1, p. 1-14, 2018.

PENG, W. X.; MARCHAL, J. L. M.; VAN DER POEL, A. F. B. Strategies to prevent and reduce mycotoxins for compound feed manufacturing. **Animal Feed Science and Technology**, v. 237, p. 129-153, 2018.

PESTKA, J. Deoxynivalenol: Toxicity, mechanisms and animal health risks. **Animal Feed Science and Technology**, v. 137, p. 283-298, 2007.

PETZINGER, E.; WEIDENBACH, A. Mycotoxins in the food chain: the role of ochratoxins. **Livestock Production Science**, v. 76, p. 245-250, 2002.

PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; FRACALOSSO, D. M.; CYRINO, J. E. P. Nutrição de peixes. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSO, D. M.; CASTAGNOLLI,

N. (Org.). **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical e intensiva**. São Paulo: TecArt, 2004. p. 175-169.

PIETSCH, C.; BUCHELI, T. D.; WETTSTEIN, F. E.; BURKHARDT-HOLM, P. Frequent biphasic cellular responses of permanent fish cell cultures to deoxynivalenol (DON). **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 256, p. 24-34, 2011.

PIETSCH, C.; KERSTEN, S.; BURKHARDT-HOLM, P.; VALENTA, H.; DÄNICKE, S. Occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in commercial fish feed: an initial study. **Toxins**, 5, 184-192, 2013.

PIETSCH, C.; SCHULZ, C.; ROVIRA, P.; KLOAS, W.; BURKHARDT-HOLM, P. Organ Damage and Hepatic Lipid Accumulation in Carp (*Cyprinus carpio* L.) after Feed-Borne Exposure to the Mycotoxin, Deoxynivalenol (DON). **Toxins**, v. 6, p. 756-778, 2014.

PIETSCH, C.; NOSER, J.; WETTSTEIN, F. E.; BURKHARDT-HOLM, P. Unraveling the mechanisms involved in zearalenonemediated toxicity in permanent fish cell cultures. **Toxicon**, v. 88, p. 44-61, 2014.

PIETSCH, C.; JUNGE, R.; BURKHARDT-HOLM, P. Immunomodulation by zearalenone in Carp (*Cyprinus carpio* L.). **BioMed Research International**, v. 1, p. 1-9, 2015.

PINHEIRO, R. E. E.; PEREYRA, C. M.; NEVES, J. A.; CALVET, R. M.; SANTOS, J. T. O.; LIMA, C. E.; ALVES, V. C.; PEREIRA, M. M. G.; MURATORI, M. C. S. In vitro evaluation of aflatoxin B1 adsorption by commercial products used in animal feed. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 84, p. 1-6, 2017.

PLEADIN, J.; SOKOLOVIC, M.; PERŠI, N.; ZADRAVEC, M. Contamination of maize with deoxynivalenol and zearalenone in Croatia. **Food Control**, v. 28, p. 94-98, 2012

PLEADIN, J.; FRECE, J.; LEŠIĆ, T.; ZADRAVEC, M.; VAHČIĆ, N.; STAVAR, M. M.; MARKOV, K. Deoxynivalenol and zearalenone in unprocessed cereals and soybean from different cultivation regions in Croatia. **Food Additives & Contaminants**, v. 10, p. 268-274, 2017.

POHLENZ, C.; GATLIN III, D. M. Interrelationships between fish nutrition and health. **Aquaculture**, v. 431, p. 111-117, 2014.

PRATOOMYOT, J.; BENDIKSEN, E.Å.; BELL, J. G.; TOCHER, D. R. Effects of increasing replacement of dietary fishmeal with plant protein sources on growth performance and body lipid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **Aquaculture**, v 305, p. 124-132, 2010.

QUEIROZ, V. A. V.; ALVES, G. L. O.; CONCEIÇÃO, R. R. P.; GUIMARÃES, L. J. M.; MENDES, S. M.; RIBEIRO, P. E. A.; COSTA, R. V. Occurrence of fumonisins and zearalenone in maize stored in family farm in Minas Gerais, Brazil. **Food Control**, v. 28, p. 83-86, 2012.

RACHMAWATI, D; SAMIDJAN, I. Performance efficiency of feed utilization, relative growth rate, and survival rate of common carp (*Cyprinus carpio*) through the addition of phytase in the feed. **Earth and Environmental Science**, v. 137, p. 12- 27, 2018.

RAHMANI, M.; GHASEMI, E.; SASANI, M. Application of response surface methodology for air assisted-dispersive liquid- liquid microextraction of deoxynivalenol in rice samples prior to HPLC-DAD analysis and comparison with solid phase extraction cleanup. **Talanta**, v. 165, p. 27-32, 2017.

RAIOLA, A.; MECA, G.; MAÑES, J.; RITIENI, A. Bioaccessibility of Deoxynivalenol and its natural co-occurrence with Ochratoxin A and Aflatoxin B1 in Italian commercial pasta. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, p. 280-287, 2012.

RAWAL, S.; KIM, J.E.; COULOMBE, R. Aflatoxin B1 in poultry: Toxicology, metabolism and prevention. **Research in Veterinary Science**, v. 89, p. 325–331, 2010.

RAZZAGHI-ABYANEH, M., SHAMS-GHAHFAROKHI, M., CHANG, P. K. Mechanisms of Inhibition by Antagonistic Plants and Microorganisms, Aflatoxins – Biochemistry and Molecular Biology. In. GUEVARA-GONZÁLEZ, R. G. (Org.) **Aflatoxins - Biochemistry and Molecular Biology**. Queretaro: InTech, 2011. p. 255-282.

RIBEIRO, P. A. P.; GOMIERO, J. S. G.; LOGATO, P. V. R. **Manejo alimentar de peixes**. Lavras: Núcleo de Estudos em Aquacultura, 2005.

RIBEIRO, E. A. R. **Contaminação toxicológica de resíduos vitivinícolas- Ocratoxina A**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

RICHARD, J. L. Some major mycotoxins and their mycotoxicoses. **International Journal of Food Microbiology**, v. 119, n. 1-2, p. 3-10, 2007.

RODRIGUES, S. M.; COELHO, C.; CRUZ, N.; MONTEIRO, R. J. R.; HENRIQUES, B.; DUARTE, A. C.; RÖMKENS, P. F. A. M.; PEREIRA, E. Oral bioaccessibility and human exposure to anthropogenic and geogenic mercury in urban, industrial and mining áreas. **Science of the Total Environment**, v. 496, p. 649-661, 2014.

ROSSIELLO, M R.; ROTUNNO, C.; COLUCCIA, A.; CARRATÙ, M. R.; DI SANTO, A.; EVANGELISTA, V.; SEMERARO, N.; COLUCCI, M. Ochratoxin A inhibits the production of tissue factor and plasminogen activator inhibitor-2 by human blood mononuclear cells: Another potential mechanism of immune-suppression. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 229, p. 227-231, 2008.

RYCHLIK, M. et al. Proposal of a comprehensive definition of modified and other forms of mycotoxins including "masked" mycotoxins. **Mycotoxin Research**, v. 30, p. 197–205, 2014.

SAHOO, P. K.; MUKHERJEE, S. C.; NAYAK, S. K.; DEY, S. K. Acute and subchronic toxicity of aflatoxin B1 to rohu, *Labeo rohita* (Hamilton). **Indian Journal of Experimental Biology**, v. 39, p. 453-458, 2001.

SAINT-PAUL, U. Native fish species boosting Brazilian's aquaculture development. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 5, p. 1-9, 2017.

SALAMA, N. K. G.; MURRAY, A. G. Farm size as a factor in hydrodynamic transmission of pathogens in aquaculture fish production. **Aquaculture Environment Interactions**, v. 2, p. 61–74, 2011.

SAMPAIO, L. A.; OKAMOTO, M. H.; RODRIGUES, R. V.; TESSER, M. B. **Piscicultura marinha**: criação de bijupirá em sistemas de recirculação de água. Rio Grande: FURG, 2016. 124 p.

SÁNCHEZ-LOZANO, N. B.; MARTÍNEZ-LLORENS, S.; TOMÁS-VIDAL, A.; CERDÁ, M. J. Effect of high-level fish meal replacement by pea and rice concentrate protein on growth, nutrient utilization and fillet quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*, L.). **Aquaculture**, v. 298, p. 83-89, 2009.

SANTACROCE, M. P.; CONVERSANO, M. C.; CASALINO, E.; LAI, O.; ZIZZADORO, C.; CENTODUCATI, G.; CRESCENZO, G. Aflatoxins in aquatic species: metabolism, toxicity and perspectives. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 18, p. 99-130, 2008.

SANTE. **Guidance document on analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed**. 2015. Disponível em: <https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides_mrl_guidelines_wrkdoc_11945.pdf>. Acesso em: 11 set. 2017.

SANTIN, E. **Mould growth and mycotoxin production**. The Mycotoxin Blue Book. Nottingham, UK: Nottingham University Press, p. 225-234, 2005.

SANTOS-CIPRIANO, F.; LIMA, K. S.; BEVITÓRIO-PASSINATO, E.; JESUS, R. M.; MAGALHÃES JUNIOR, F. O.; TELES-TONINI, W. C.; TAVARES-BRAGA, L. G. Apparent digestibility of energetic ingredients by pirarucu juveniles, *Arapaima gigas* (Schinz, 1822). **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 43, p. 786-791, 2015.

SAVA, V.; REUNOVA, O.; VELASQUEZ, A.; HARBISON, R.; SANCHEZ-RAMOS, J. Acute neurotoxic effects of the fungal metabolite ochratoxin-A. **Neurotoxicology**, v. 1, p. 82-92, 2006.

SAVI, D. G.; PIACENTINI, K. C.; ROCHA, L. O.; CARNIELLI-QUEIROZ, L.; FURTADO, B. G.; SCUSSEL, R.; ZANONI, E. T.; MACHADO-DE-ÁVILA, R. A.; CORRÊA, B.; ANGIOLETTI, E. Incidence of toxigenic fungi and Zearalenone in rice grains from Brazil. **International Journal of Food Microbiology**, v. 270, p. 5-13, 2018.

SCHMIDT-HEYDT, M.; GRAF, E.; STOLL, D.; GEISEN, R. The biosynthesis of ochratoxin A by *Penicillium* as one mechanism for adaptation to NaCl rich foods. **Food Microbiology**, v. 29, p. 233-241, 2012.

SCORVO-FILHO, J. D., FRASCA-SCORVO, C. M. D.; ALVES, J. M. C., SOUZA, F. R. A. A. Tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p.112-118, 2010.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. **Criando um modelo de negócio sustentável**: piscicultura. Brasília, 2016. Disponível em:

<<http://sustentabilidade.sebrae.com.br/Sustentabilidade/Para%20sua%20empresa/Publica%C3%A7%C3%B5es/Cartilha%20Piscicultura.pdf>>. Acesso em: 09 ago. 2017.

SELIM, K. M.; EL-HOFY, H.; KHALIL, R. H. The efficacy of three mycotoxin adsorbents to alleviate aflatoxin B₁-induced toxicity in *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture International**, v. 22, p. 523-540, 2014.

SCAGLIONI, P. T.; BADIALE-FURLONG, E. Rice husk as an adsorbent: A new analytical approach to determine aflatoxins in milk. **Talanta**, v. 152, p. 423-431, 2016.

SCHMIDT-HEYDT, M.; RÜFER, C. E.; ABDEL-HADI, A.; MAGAN, N.; GEISEN, R. The production of aflatoxin B₁ or G₁ by *A. parasiticus* at various combinations of temperature and water activity is related to the ratio of aflS to aflR expression. **Mycotoxin Research**, v. 26, p. 241-246, 2010.

SCHULTER, P.E.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Evolução da piscicultura no brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia**. Rio de Janeiro: IPEA, 2017. 42 p.

SCHWARTZ, P.; THORPE, K. L.; BUCHELI, T. D.; WETTSTEIN, F. E.; BURKHARDT-HOLM, P. Short-term exposure to the environmentally relevant estrogenic mycotoxin Zearalenone impairs reproduction in fish. **Science of the Total Environment**, v. 409, p. 326-333, 2010.

SCORVO-FILHO, J. D.; FRASCA-SCORVO, C. M. D.; ALVES, J. M. C.; SOUZA, F. R. A. A. Tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p.112-118, 2010.

SELIM, K. M.; EL-HOFY, H.; KHALIL, R. H. The efficacy of three mycotoxin adsorbents to alleviate aflatoxin B₁-induced toxicity in *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture International**, v. 22, p. 523–540, 2014.

SEUS-ARRACHÉ, E. R.; FONTES, M. R. V.; GARDA-BUFFON, J.; BADIALE-FURLONG, E. Trichothecenes in wheat: Methodology, occurrence and human exposure risk. **Journal of Cereal Science**, v. 82, p. 129–137, 2018.

SFORZA, S.; DALL'ASTA, C.; MARCHELLI, R. Recent advances in mycotoxin determination in food and feed by hyphenated chromatographic techniques/mass spectrometry. **Mass Spectrometry Reviews**, v. 25, p. 54-76, 2005.

SHI, L.; LIANG, Z.; LI, J.; HAO, J.; XU, Y.; HUANG, K.; TIAN, J.; ELE, X.; XU, W. Oryratoxin A biocontrole e biodegradação por *Bacillus subtilis* CW 14. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, p. 1879–1885, 2014.

SHI, H.; COOPER, B.; STROSHINE, R. L.; ILELEJI, K. E.; KEENER, K. M. Structures of Degradation Products and Degradation Pathways of Aflatoxin B₁ by High-Voltage Atmospheric Cold Plasma (HVACP) Treatment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, p. 6222–6230, 2017.

SILVA, E. C. S.; PEREIRA FILHO, M.; ROUBACH, R.; ITUASSÚ, D. SILVA, R. C. S. Substituição de proteínas de origem animal por proteínas de origem vegetal na dieta para o tucunaré paca (*Cichla* sp.). **Boletim Técnico-Científico Do Cepnor**, v. 6, p. 121-131, 2006.

SILVA, L. C. Micotoxinas em grãos e derivados. **Revista Grãos Brasil**, n. 39, p. 13-16, 2009.

SILVA, D. D.; COSTA, R. V.; COTA, L. V.; LANZA, F. E.; GUIMARÃES, E. A. **Micotoxinas em cadeias produtivas do milho: riscos à saúde animal e humana**. Sete Laos: EMBRAPA, 2015.

SILVA, E. M.; MONSERRAT, J. M.; SAMPAIO, L. A.; TESSER, M. B. Growth and nitrogenous metabolism of juveniles *Trachinotus marginatus* feeding with differently protein levels. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.67, p.131-139, 2015.

SILVA, B. **Soja: compostos funcionais e contaminantes fúngicos**. 2016. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 2016.

SILVA, F. N. L.; MEDEIROS, L. R.; LIMA, A. A. N.; XAVIER, D. T. O.; MACEDO, A. R. G.; REIS, A. A.; BRANDÃO, L. V.; SOUZA, R. A. L. Alimentos alternativos da agricultura familiar como proposta em rações para Tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1818). **Pubvet**, v. 11, p. 103-112, 2017.

SILVA, M. N.; MASSAROLO, K. C.; KUPSKI, L.; BADIALE-FUULONG, E. Hydrothermal treatment of rice: reduction of aflatoxins and bioaccessibility. **Journal of Cereal Science**, v. 85, p. 199-205, 2019.

SIMON C. J.; BLYTH D.; AHMAD FATAN N.; SURI S. Microbial biomass (Novacq™) stimulates feeding and improves the growth performance on extruded low to zero-fishmeal diets in tilapia (GIFT strain). **Aquaculture**, v. 501, p. 319–324, 2019.

SNYDER, L. R.; KIRKLAND, J. J.; DOLAN, J. W. **Introduction to Modern Liquid Chromatography**, 3th revised ed. John Wiley & Sons, Hoboken, Nova Jersey, EUA, 2010.

SOBRAL, M. M. C.; CUNHA, S. C.; FARIA, M. A.; MARTINS, Z. E.; FERREIRA, I. M. P. L. V. O. Influence of oven and microwave cooking with the addition of herbs on the exposure to multi-mycotoxins from chicken breast muscle. **Food Chemistry**, v. 276, p. 274-284, 2019.

SOBRANE FILHO, S. T.; JUNQUEIRA, O. M.; LAURENTIZ, A. C.; FILARDI, R. S.; RUBIO, M. S.; DUARTE, K. F.; LAURENTIZ, R. S. Effects of mycotoxin adsorbents in aflatoxin B₁ and fumonisin B₁ contaminated broiler diet on performance and blood metabolite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, p. 250-256, 2016.

SOUZA, M. L. M.; GONÇALVES, E. B.; SILVA, O. F.; FARIAS, A. X.; CAVALCANTI, A. L. S. Verificação intralaboratorial da performance obtida em método de determinação de ocratoxina A por purificação em coluna de imunoafinidade e cromatografia líquida de alta eficiência usando café. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p. 197-204, 2010

SOUZA, T. D.; CALDAS, S. S.; PRIMEL, E. G.; BADIALE-FURLONG, E. Exposure to deoxynivalenol, Ht-2 and T-2 toxins by consumption of wheat-based product in southern Brazil. **Food Control**, v. 50, p. 789-793, 2015.

SPEIJERS, G. J. A.; SPEIJERS, M. H. M. Combined toxic effects of mycotoxins. **Toxicology letters**, v. 153, p. 91-98, 2004.

SPANJERS, M.; RENSEN, P. M.; SCHOLTEN, J. M. LC–MS/MS multi-method for mycotoxins after single extraction, with validation data for peanut, pistachio, wheat, maize, cornflakes, raisins and figs. **Food Additives & Contaminants Part A**, v. 25, p. 472-489, 2008.

SPRING, P.; FEGAN D. F. Mycotoxins - a rising threat to aquaculture. In: ALLTECH'S ANNUAL SYMPOSIUM, 21., 2005, Lexington. **Conference paper...** Lexington: Alltech UK, 2005. P. 323-331.

STOEV, S. D. Foodborne mycotoxicoses, risk assessment and underestimated hazard of masked mycotoxins and joint mycotoxin effects or interaction. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 39, p. 794-809, 2015.

STONEHAM, T. R.; KUHN, D. D.; TAYLOR, D. P.; NEILSON, A. P.; SMITH, S. A.; GATLIN, D. M.; CHU, H. S. S.; O'KEEFE, S. F. Production of omega-3 enriched tilapia through the dietary use of algae meal or fish oil: Improved nutrient value of fillet and offal. **Plos One**, v. 13, p. 1-14, 2018.

TANAKA, K.; SAGO, Y.; ZHENG, Y.; NAKAGAWA, H.; TANAKA, M. K. K.; SAGO, Y.; ZHENG, Y.; NAKAGAWA, H.; KUSHIRO, M. Mycotoxins in rice. **International Journal of Food Microbiology**, n. 119, p. 59–66, 2007.

TANPONG, S.; WONGTANGTINTHARN, S.; PIMPUKDEE, K.; TENGJAROENKUL, B.; KHAJARERN, J. Efficacy of hydrate sodium calcium aluminosilicate and yeast cell wall to ameliorate the toxic effects of aflatoxin in ducks. **Animal Production Science**, v. 57, p. 1637-1644, 2017.

THOMAS, A. B.; OLOYEDE, T. L.; OGEH, A. V.; SARAH, M.; JOEL, O. Effects of dietary mixed aflatoxin B₁ and fumonisin B₁ on growth performance and haematology of juvenile *Clarias gariepinus* catfish. **Aquaculture**, v. 491, p. 190-196, 2018.

TIBBETTS, S. M.; MILLEY, J. E.; LALL, S. P. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758). **Aquaculture**, v. 261, p. 1314–1327, 2006.

TIEMANNA, U.; TOMEKA, W.; SCHNEIDER, F.; MÜLLER, M.; PÖHLANDA, R.; VANSELOW, J. The mycotoxins alternariol and alternariol methyl ether negatively affect progesterone synthesis in porcine granulosa cells in vitro. **Toxicology Letters**, v. 186, p. 139-145, 2009.

TOLA, S.; BUREAU, D. P.; HOOFT, J. M.; BEAMISH, F. W. H.; SULYOK, M.; KRSKA, R.; ENCARNÇÃO, P.; PETKAM, R. Effects of wheat naturally contaminated with fusarium

mycotoxins on growth performance and selected health indices of red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*). **Toxins**, n. 7, p. 1929-1944, 2015.

TOLOSA, J.; FONT, G.; MANES, J.; FERRER, E. Natural occurrence of emerging Fusarium mycotoxins in feed and fish from aquaculture. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 12462-12470, 2014.

TORRES-ESCRIBANO, S.; DENIS, S.; BLANQUET-DIOT, S.; CALATAYUD, M.; BARRIOS, L.; VÉLEZ, D.; ALRIC, M.; MONTORO, R. Comparison of a static and a dynamic in vitro model to estimate the bioaccessibility of As, Cd, Pb and Hg from food reference materials *Fucus sp.* (IAEA-140/TM) and Lobster hepatopancreas (TORT-2). **Science of the Total Environment**, v. 409, p. 604–611, 2011.

TOZLOVANU, M.; FAUCET-MARQUIS, V.; PFOHL-LESZKOWICZ, A.; MANDERVILLE, R. A. Genotoxicity of the hydroquinone metabolite of ochratoxin A: structure-activity relationships for covalent DNA ad- duction. **Chemical Research in Toxicology**, v. 19, p. 1241–1247, 2006.

TUAN, N. A.; GRIZZLE, J. M.; LOVELL, R. T.; MANNING, B. B.; ROTTINGHAUS, G. E. Growth and hepatic lesions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing aflatoxin B₁. **Aquaculture**, v. 212, p. 311-319, 2002.

UNIÃO EUROPÉIA – EU. Regulamento N° 401/2006 da Comissão de 23 de Fevereiro de 2006 que estabelece os métodos de amostragem e de análise para o controlo oficial dos teores de micotoxinas nos géneros alimentícios. **Jornal Oficial da União Europeia**, v.1, p. 12-34, 2006.

UZCÁTEGUI-VARELA, J. P.; MÉNDEZ, X.; ISEA, F.; PARRA, R. Evaluación de dietas con diferente contenido proteico sobre el desempeño productivo de alevines del híbrido cachamay (*Colossoma macropomum* [masculinidad] x *piaractus brachypomus* [feminidad]) en condiciones de cautiverio. **Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias**, v. 24, p. 458-465, 2014.

VALMORBIDA, R.; SAVI, G. D.; SILVA, J. R.; YANEZ, M. M. O.; SOARES, C. E. S.; RUNTZEL, C.; NASCIMENTO, P. N.; SCUSSEL, V. M. Quality and safety of maize (*Zea mays* L.) from Rondonia state storage units, Northern Brazil. **Food Additives & Contaminants: Part B**, v. 11, p. 54-63, 2017.

VEKIRU, E.; HAMETNER, C.; MITTERBAUER, R.; RECHTHALER, J.; ADAM, G.; SCHATZMAYR, G.; KRSKA, R.; SCHUHMACHER, R. Cleavage of Zearalenone by Trichosporon mycotoxinivorans to a Novel Nonestrogenic Metabolite. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 76, p. 2353–2359, 2010.

VÉLEZ, E. J.; LUTFI, E.; AZIZI, S. H.; PERELLÓ, M.; SALMERÓN, C.; RIERA-CODINA, M.; IBARZ, A.; FERNÁNDEZ-BORRÀS, J.; BLASCO, J.; CAPILLA, E.; NAVARRO, I.; GUTIÉRREZ, J. Understanding fish muscle growth regulation to optimize aquaculture production. **Aquaculture**, v. 467, p. 28–40, 2017.

VERSANTVOORT, C. H. M.; OOMEN, A. G.; VAN DE KAMP, E.; ROMPELBERG, C. J. M.; SIPS, A. J. A. M. Applicability of an in vitro digestion model in assessing the

bioaccessibility of mycotoxins from food. **Food and Chemical Toxicology**, v. 43, p. 31-40, 2005.

VILLA, P.; MARKAKI, P. Aflatoxin B1 and ochratoxin A in breakfast cereals from athens market: occurrence and risk assessment. **Food Control**, v. 20, n. 1, p. 455-461, 2009.

VLASTIMIL, D.; WU, Q.; KUCA, K. Metabolism of aflatoxin: key enzymes and interindividual as well as interspecies differences. **Archives of Toxicology**, v. 88, p. 1635-1644, 2014.

WALCZAK, M., JEDZINIAK, P., REICHERT, M. Influence of mycotoxins on fish health. **Medycyna Weterynaryjna**, v. 74, p. 161-166, 2018.

WANG, Y.; WANG, F.; JI, W.; HAN, H.; LI, P. Optimizing dietary protein sources for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) with an emphasis on using poultry by-product meal to substitute fish meal. **Aquaculture Research**, v. 46, p. 874-883, 2015.

WANGIKAR, P. B.; SINHA, N.; DWIVEDI, P.; SHARMA, A. K. Teratogenic effects of ochratoxin A and aflatoxin B1 alone and in combination on post- implantation rat embryos in culture. **Journal of the Turkish German Gynecology Association**, v. 8, p. 357-364, 2007.

WARTH, B.; FRUHMANN, P.; WIESENBERGER, G.; KLUGER, B.; SARKANJ, B.; LEMMENS, C.; HAMETNER, C.; FRÖHLICH, J.; ADAM, A.; KRSKA, R.; SCHUHMACHER, R. Deoxynivalenol-sulfates: identification and quantification of novel conjugated (masked) mycotoxins in wheat. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, 407, p. 1033–1039, 2015.

WOŹNY, M.; OBREMSKI, K.; JAKIMIUK, E.; GUSIATIN, M.; BRZUZAN, P. Zearalenone contamination in rainbow trout farms in north-eastern Poland. **Aquaculture**, v. 416, p. 209–211, 2013.

YILDIRIM, O.; ACAR, U. Defatted peanut meal (*Arachis hypogea*) as a complementary protein source in diets for mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) fry and effect on fatty acid composition. **Pakistan journal of zoology**, v. 48, p. 1-8, 2016.

YOSSA, R.; SARKER, P. K.; MOCK, D. M.; LALL, S. P.; VANDENBERG, G. W. Current knowledge on biotin nutrition in fish and research perspectives. **Reviews in Aquaculture**, v. 7, p. 59-73, 2015.

YUAN, G.; WANG, Y.; YUAN, X.; ZHANG, T.; ZHAO, J.; HUANG, L.; PENG, S. T-2 toxin induces developmental toxicity and apoptosis in zebrafish embryos. **Journal of Environmental Sciences**, v. 26, p. 917-925, 2014.

ZAHRAN, E.; MANNING, B.; SEO, J.; NOGA, E. J. The effect of Ochratoxin A on antimicrobial polypeptide expression and resistance to water mold infection in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Fish and Shellfish Immunology**, v. 57, p. 60-67, 2016.

ZAIN, M. E.; Impact of mycotoxins on humans and animals. **Journal of Saudi Chemical Society**, v. 15, p. 129-144, 2011.

ZEBIRI, S.; MOKRANE, S.; VERHEECKE-VAESSEN, C.; CHOQUE, E.; REGHIOUI, H.; SABAOU, N.; MATHIEU, F.; RIBA, A. Occurrence of ochratoxin A in Algerian wheat and its milling derivatives. **Toxin Reviews**, v. 1, p. 1-6, 2018.

ZHOU, F.; SONG, W.; SHAO, O.; PENG, X.; XIAO, J.; HUA, Y.; OWARI, B. N.; ZHANG, T.; NG, W. Partial replacement of fish meal by fermented soybean meal in diets for black sea bream, *Acanthopagrus schlegelii*, juveniles. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 42, p. 184-197, 2011.

ZHOU, H.; GEORGE, S.; LI, C.; GURUSAMY, S.; SUN, X.; GONG, Z.; QIAN H. Combined toxicity of prevalent mycotoxins studied in fish cell line and zebrafish larvae revealed that type of interactions is dose-dependent. **Aquatic Toxicology**, v. 193, p. 60-71, 2017.

ZINEDINE, A.; SORIANO, J. M.; MOLTÓ, J. C.; MANES, J. Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: An oestrogenic mycotoxin. **Food and Chemical Toxicology**, v. 45, p. 1-18, 2007.