



Fungos toxigênicos e micotoxinas na alimentação de peixes: uma revisão¹

Hérilon Mota Atayde², Ila Maria de Aguiar de Oliveira³; Antônio José Inhamuns⁴, Maria Francisca Simas Teixeira⁵

Submetido 27/04/2014 – Aceito 12/12/2014 – Publicado on-line 30/12/2014

Resumo

Certas espécies de fungos filamentosos produzem compostos tóxicos denominados micotoxinas que, ao serem ingeridas, podem causar micotoxicoses em animais, inclusive ao homem. Entre os fungos micotoxigênicos, os de maior ocorrência em produtos alimentícios são espécies de *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, que exigem condições específicas para o crescimento e produção de micotoxinas. Experimentos realizados com animais, incluindo peixes, comprovaram a ação nociva dessas toxinas, como redução do peso corporal, efeitos mutagênico, carcinogênico e/ou teratogênico. Esta revisão apresenta os principais aspectos da atividade biológica e toxicológica dos fungos filamentosos em ração para peixes e respectivos insumos e aborda o estado atual das pesquisas sobre o tema.

Palavras-Chave: *Fusarium*. *Aspergillus*. fumonisina. Aflatoxina, ração

Abstract

Some mold species can produce mycotoxins, toxic compounds that, after ingested, can lead animal mycotoxicosis, including to man. Among toxigenic fungi, the food commodities prevalent are *Aspergillus*, *Penicillium* and *Fusarium* species, which require specific conditions for growth and mycotoxin production. Experiences with animals, including fishes, proved this toxins harmful action, like body weight reduction, mutagenic, carcinogenic and teratogenic effect. This review presents the central aspects of biological and toxicological filamentous fungi activity in fish feeds and respective ingredients, and discusses the current researches state about this theme.

Key-words: *Fusarium*. *Aspergillus*. fumonisin. aflatoxin. feed.

¹ Esse artigo de revisão é uma atualização do conteúdo de dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos – Faculdade de Ciências Farmacêuticas (FCF), Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

² Autor para correspondência, professor da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), engenheiro de pesca, Doutor em Ciências Pesqueiras nos Trópicos, autor para correspondência. e-mail: herlonatayde@bol.com.br

³ Professora da FCF – UFAM, farmacêutica-bioquímica, Doutora em Ciência de Alimentos. e-mail: ila@ufam.edu.br

⁴ Professor da Faculdade de Ciências Agrárias – UFAM, engenheiro de pesca, Doutor em Ciência de Alimentos. e-mail: asilva@gmail.com

⁵ Professora do Instituto de Ciências Biológicas (ICB) – UFAM, bióloga, Doutora em Ciências Biológicas. e-mail: mteixeira@ufam.edu.br

1. Introdução

A contaminação de produtos agrícolas e alimentícios por fungos toxigênicos e toxinas tem sido tratada com maior atenção devido o potencial impacto negativo na economia regional, especialmente nos países em desenvolvimento. A prevenção do crescimento desses microrganismos nesses produtos está associada às técnicas adequadas de colheita e pós-colheita, raramente praticadas conjuntamente com instalações adequadas de armazenagem (ATANDA et al., 2006; TACON; METIAN, 2008; GRIESSLER; ENCARNAÇÃO, 2009).

Espécies de *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium* são fungos toxigênicos e frequentes contaminantes de insumos e ração animal; produzem micotoxinas causadoras de vários efeitos adversos (ACCENSI et al., 2004; SANTACROCE et al., 2008; PIETSCH et al., 2013).

Os peixes na piscicultura intensiva dependem totalmente da alimentação fornecida pelo homem para crescimento e sobrevivência, sendo uma melhor qualidade dessas rações dependente do controle sanitário dos insumos utilizados na fabricação, os quais são muito suscetíveis ao ataque de fungos, inclusive os micotoxigênicos (HASHIMOTO et al., 2003; PIETSCH et al., 2013).

O crescente interesse e aprimoramento de conhecimentos técnicos em relação à piscicultura intensiva demandam a utilização de rações comerciais preferencialmente extrusadas, produto ao qual se atribui um balanceamento energético adequado, minimizando problemas no desempenho zootécnico (SILVA et al., 2003).

Uma importante consideração deve ser feita quanto à contaminação humana indireta pelo consumo de peixes provenientes de piscicultura intensiva, alimentados com ração contaminada por micotoxinas (HASHIMOTO et al., 2003; TOLOSA et al., 2013) ou por contaminação direta ocasionada pelo parasitismo fúngico (HASHIMOTO, 2011). Dados sobre a ocorrência de fungos toxigênicos e micotoxinas em rações para peixe ainda são escassos, principalmente no Brasil.

Nesta revisão são apresentados os principais aspectos referentes à atividade biológica e toxicológica dos fungos em produtos agrícolas utilizados como insumos na fabricação de alimentação animal, com ênfase em ração para peixes.

2. Metodologia

Para esse artigo de revisão, optou-se por levantamento bibliográfico em bibliotecas físicas e virtuais de instituições públicas e particulares, nacionais ou internacionais. Entre as bibliotecas locais, devido acesso facilitado, foram consultadas a Biblioteca do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Biblioteca Setorial da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Biblioteca da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Amazônia Ocidental (EMBRAPA). Para as demais localidades brasileiras, optou-se pelo acesso remoto, através do Programa de Comutação Bibliográfica (COMUT) do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT).

Adicionalmente, as bases de dados científicos predominantemente utilizadas no âmbito institucional foram Scientific Electronic Library Online (SCIELO) (www.scielo.org), SCOPUS (www.scopus.com), SCIENCE DIRECT (www.sciencedirect.com), SPRINGER (link.springer.com) – importantes plataformas de intercâmbio científico inseridas no portal Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). Entre os sistemas de acesso livre, optou-se pelo Google acadêmico (scholar.google.com.br), além de outras.

Foram utilizados os seguintes descritores: “fungos”, “fungi”, “molds”, “fungos toxigênicos”, “toxigenic molds”, “toxigenic fungi”, “micotoxina”, “mycotoxin”, “aflatoxina”, “aflatoxin”, “fumonisina”, “fumonisin”, “ração animal”, “animal feed”, “ração para peixes”, “fish feed”, “piscicultura”, “pisciculture”, “aquicultura”, “aquaculture”, associados ou não.

O material bibliográfico coletado abrange os anos de 1964 até 2014. Para inclusão entre os documentos utilizados nessa revisão, o material deveria prioritariamente relacionar em seu conteúdo algum termo identificador de micotoxina com alimentação ou saúde humana e animal, principalmente peixes. Ao final, foram selecionados 74 documentos.

3. Aspectos gerais sobre fungos em alimentos

Fungos são microrganismos que realizam digestão extracelular e os nutrientes provenientes



dessa atividade são absorvidos pela célula e/ou acumulados na forma de glicogênio. No final da fase exponencial de crescimento, influenciados pelas condições do substrato, ocorre o metabolismo secundário, quando produzem algumas enzimas e substâncias não-essenciais (toxinas, antibióticos, pigmentos, entre outros) para crescimento e reprodução, as quais tem atraído a atenção de pesquisadores em todo o mundo devido o impacto na saúde humana, produtividade animal e comércio nacional e internacional (YANONG, 2003; MARTÍN et al., 2005; LEUNG et al., 2006; GBORE et al., 2010).

Alimentos *in natura* ou subprodutos são ricos em nutrientes que, associados às demais características intrínsecas e condições ambientais, são excelentes substratos para fungos, os quais degradam os nutrientes e promovem alterações organolépticas comprometedoras da qualidade nutricional e econômica desses produtos (HUSSEIN; BRASEL, 2001; YIANNIKOURIS; JOUANY, 2002; ATAYDE et al., 2005; MANNING; ABBAS, 2013).

De forma particular, os principais fatores que influenciam na colonização de fungos em alimentos são temperatura, umidade do substrato, atmosfera de armazenamento, processamento, produção e agentes competidores. Dentre esses, a umidade, a temperatura e a oxigenação são condições que propiciam a germinação e a multiplicação dos esporos de certos fungos toxigênicos (HUSSEIN; BRASEL, 2001; YIANNIKOURIS; JOUANY, 2002; BENNETT; KLICH, 2003; BAPTISTA et al., 2004; FERREIRA et al., 2006; LEUNG et al., 2006; OLAJUYIGBE et al., 2014).

Nesta contextualização, a literatura destaca que a condição ótima para o desenvolvimento de fungos não é necessariamente a ótima para produção de micotoxina. Como exemplo, *Aspergillus flavus* apresenta crescimento ótimo na temperatura de 33 °C, contudo produz micotoxina na faixa entre 13 a 42 °C; para umidade, tais valores são dependentes do substrato; para a atividade água, respectivamente 0,98 e faixa de 0,82 a 1,00 (SCUSSEL, 2000; HUSSEIN; BRASEL, 2001; PEREIRA et al., 2002; BAPTISTA et al., 2004; FERREIRA et al., 2006).

A percepção da problemática sobre fungos e micotoxinas em peixes iniciou-se no início dos anos 1960, quase concomitante à associação desses microrganismos e respectivos metabólitos à doença X dos perus. Naquela época, verificou-se a

presença de hepatocarcinomas em truta arco-íris (*Onchorhynchus mykiss*) causados pela inclusão de farinha de semente de algodão na elaboração da ração peletizada utilizada no cultivo (MANNING et al., 2005b).

As rações para peixes armazenadas em temperaturas acima de 27 °C, umidade ambiente superior a 62% e conteúdo intrínseco de umidade maior que 14% propiciam o desenvolvimento de fungos micotoxigênicos, ou seja, fungos produtores de micotoxinas (YANONG, 2003; FEDDERN et al., 2013).

Micotoxinas são metabólitos secundários com diferenciadas estrutura química e propriedade biológica; não tem significado bioquímico para o desenvolvimento desses fungos micotoxigênicos, contudo atuam como compostos competitivos favorecendo sua sobrevivência e são capazes de induzir reação tóxica (micotoxicose) em vários animais, algumas de natureza mutagênica, carcinogênica e/ou teratogênica (CAZZANIGA et al., 2001; BENNETT; KLICH, 2003; BOUDRA; MORGAVI, 2005; BINDER, 2007; FEDDERN et al., 2013).

A presença desses fungos em produtos alimentícios não significa a presença de micotoxinas, mas torna-se condição efetiva para produção desses metabólitos. Por outro lado, a ausência dos mesmos não implica na ausência das micotoxinas, pois esses compostos permanecem ativos no substrato após a eliminação do microrganismo (HUSSEIN; BRASEL, 2001; FERREIRA et al., 2006; FEDDERN et al., 2013).

Com relação às micotoxinas, já foram descritos mais de 300 tipos, mas somente 20 são frequentemente quantificadas em gêneros alimentícios. Entre essas, ocratoxinas, tricotecenos, zearalenona, fumonisinas e aflatoxinas são as de maior nocividade. Tal característica está relacionada ao tipo, quantidade, frequência de ingestão de micotoxinas e também a idade, saúde e sexo do indivíduo exposto, sendo a presença isolada ou múltipla desses metabólitos em alimentos correlacionada a vários surtos e patologias em peixes e outros vertebrados (SCUSSEL, 2000; HUSSEIN; BRASEL, 2001; BENNETT; KLICH, 2003; FERREIRA et al., 2006; NIZZA; PICCOLO, 2009; MANNING; ABBAS, 2013).

3.1. Características e importância de aflatoxinas e fumonisinas para a saúde animal

Aflatoxinas são micotoxinas produzidas por espécies de *Aspergillus* (*A. bombicis*, *A. flavus*, *A. flavus* var. *parvisclerotigenus*, *A. nomius*, *A. ochraceoroseus*, *A. ochraceus*, *A. parasiticus*, *A. pseudotamarii*, *A. tamarii*, *A. toxicarius* e *A. zhaopingensis*), *Emericella* (*E. astellata* e *E. venezuelensis*), *Penicillium* (*P. puberulum*, *P. citrinum*, *P. variable* e *P. frequentans*) e por *Petromyces* em produtos alimentícios conforme as condições ambientais, métodos de processamento, produção e armazenamento (HODGES et al., 1964; MISLIVEC et al., 1968; SCUSSEL, 1998; HUSSEIN; BRASSEL, 2001; FRISVAD et al., 2005; FERREIRA et al., 2006; KLICH, 2007).

Dentre os tipos de aflatoxinas, as formas B₁(AFB₁), B₂(AFB₂), G₁(AFG₁), G₂(AFG₂) são as mais importantes (HUSSEIN; BRASEL, 2001; FERREIRA et al., 2006; SANTACROCE et al., 2008). A denominação “B” e “G” é devido à fluorescência azul (*blue*) ou verde (*green*) observada após exposição da toxina à irradiação ultravioleta e relativa mobilidade durante análise cromatográfica (BENNETT; KLICH, 2003; MURPHY et al., 2006), enquanto os números subscritos “1” e “2” indicam, respectivamente, o menor e o maior peso molecular do composto (PITT, 2000).

Qualquer patologia relacionada ao consumo de aflatoxinas é denominada aflatoxicose, classificada como aguda e crônica conforme a capacidade de causar a morte e câncer, respectivamente. Tratando-se de aflatoxicose crônica, predispõe ainda a supressão imunológica e outras condições patológicas (BENNETT; KLICH, 2003; SELIM et al., 2014).

A AFB₁ é o principal tipo sintetizado e o mais tóxico devido aos efeitos agudo e crônico observados em animais, inclusive apontada pela *International Agency for Research on Cancer* (IARC) como um carcinógeno Grupo 1, no qual estão incluídos os compostos comprovadamente carcinógenos ao homem. Por sua vez, os tipos G₁, B₂ e G₂ apresentam respectivamente 50, 20 e 10% da magnitude de toxicidade observada para o tipo B₁ (PITT, 2000; HUSSEIN; BRASSEL, 2001; BENNETT; KLICH, 2003; FERREIRA et al., 2006; MURPHY et al., 2006; FEDDERN et al., 2013).

Efeitos tóxicos observados em numerosos estudos com animais experimentais submetidos à

aflatoxicoses parecem observáveis em humanos expostos à AFB₁, nos quais a resposta imunológica e o crescimento corporal, entre outros fatores, foram suprimidos ou afetados pela presença dessa micotoxina (FERREIRA et al., 2006; MURPHY et al., 2006; FEDDERN et al., 2013; SELIM et al., 2014).

A exposição às aflatoxinas pela dieta é considerada um importante fator de risco para o desenvolvimento de carcinoma hepatocelular primário, mesmo em quantidades muito baixas, como demonstrado em experimentos com animais, particularmente em indivíduos expostos à hepatite B (BENNETT; KLICH, 2003). Embora o fígado seja o alvo primário, o desenvolvimento de tumores em outros órgãos foi observado em animais alimentados com rações contendo aflatoxinas (FERREIRA et al., 2006).

Na revisão apresentada por HUSSEIN; BRASSEL (2001) estão citados os resultados relativos à ação de diferentes níveis de contaminação por aflatoxinas em diversos animais, observando-se majoritariamente a redução do ganho diário de peso e do crescimento corporal, lesões hepáticas, renais, vasculares e morte do indivíduo afetado.

Experimentalmente, observou-se ação sinérgica entre AFB₁ e o vírus da hepatite B no desenvolvimento de hepatomas em animais expostos a ambos os fatores, portanto considerados cocarcinógenos e, quando concomitantes, aumentam bastante a probabilidade de desenvolvimento da doença (PITT, 2000; BENNETT; KLICH, 2003; FERREIRA et al., 2006).

A fumonisina, outra importante micotoxina, é principalmente produzida por *Fusarium verticillioides* (sin. *F. moniliforme*) e *Fusarium proliferatum*, de ocorrência predominante em milho. Entre os vários tipos dessa micotoxina, a variante B₁ (FB₁) é considerada mais importante devido a significativa abundância (70 a 80%) no conteúdo total de fumonisina em alimentos contaminados (GRIESSLER; ENCARNAÇÃO, 2009; MANNING, 2010). No entanto, estas e outras espécies de *Fusarium* podem sintetizar outras micotoxinas importantes para alimentos destinados aos animais, porém são menos estudadas (GLENN, 2007).

As condições de temperatura ideais para a produção de fumonisinas variam entre 10 a 30 °C, com atividade de água de 0,93. Os efeitos atribuídos à presença desse metabólito nos

organismos em geral são supressão do crescimento e diminuição do ganho de peso corporal, além de neurotoxicidade e lesões histopatológicas verificadas principalmente no fígado e rim (GRIESSLER; ENCARNAÇÃO, 2009; KOVACIC et al., 2009).

3.2. Micotoxinas em produtos agrícolas

Produtos agrícolas após a colheita, como grãos de cereais ou forragens são substratos comumente associados à presença de micotoxinas, os quais são contaminados por fungos micotoxigênicos pelo parasitismo na planta ou pelo estado sapróbio do fungo durante a armazenagem (HUSSEIN; BRASEL, 2001; HUWIG et al., 2001).

Em análise de milho – importante insumo para rações – efetuada na fase de pós-colheita, no Paraná, detectou-se a presença de diversas espécies de *Aspergillus* produtoras de aflatoxinas, inclusive algumas sintetizando simultaneamente os quatro principais tipos (FARIAS et al., 2000). De acordo com BOUDRA; MORGAVI (2005), a produção de toxinas por *A. fumigatus* em meios de cultura e em insumos de rações significam riscos à saúde dos animais que consomem rações contaminadas.

Milhos, oleaginosas e leguminosas tornam-se suscetíveis a essa situação quando apresentam umidade absoluta entre 18 a 22%, 9 a 15% e 17 a 23%, respectivamente, recomendando-se a estocagem em umidade ambiente entre 13 a 15,5%, 7 a 8% e 12 a 16,5%, respectivamente. Para maior segurança, é necessária a secagem 1 a 2% abaixo desses valores, ainda aliada à retirada homogênea da umidade, ausência de roedores e boa ventilação no local de armazenamento (SCUSSEL, 2000).

3.3. Fungos e micotoxinas em ração para peixes

A ração comercial é um elemento importante na moderna produção animal devido atender a exigência nutricional de determinada espécie. Quando esse produto é fabricado a partir da mistura de outros insumos (a exemplo de *premix* – elemento básico de qualquer ração, formado pela homogeneização de vitaminas, minerais, aminoácidos e aditivos) com produtos agrícolas e subprodutos de baixa qualidade, tornam os animais mais suscetíveis aos efeitos deletérios após ingestão de rações contaminadas por fungos e/ou micotoxinas (HASHIMOTO et al., 2003; ACCENSI et al., 2004; CRAVET; LECOEUR, 2006; NIZZA; PICCOLO, 2009; GBORE et al., 2010; MANNING; ABBAS, 2013).

O crescimento de tilápias alimentadas com rações peletizadas elaboradas com farinha de palmito contaminada por *Aspergillus flavus* ficou comprometido, sendo este fato atribuído ao decréscimo da digestibilidade e presença de fatores antinutricionais no alimento fornecido (LIM et al., 2001), provavelmente as micotoxinas sintetizadas pelo fungo contaminante.

Experimento realizado em rohu (*Labeo rohita*), a principal carpa cultivada na Índia constata efeitos imunossupressores induzidos pela injeção intraperitoneal de AFB₁ (SAHOO; MUKHERJEE, 2001). Efeitos negativos no crescimento e lesões hepáticas foram atestados em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) após ingestão dessa micotoxina em concentrações maiores que 0,25 mg/Kg de ração (TUAN et al., 2002). A associação da ingestão de aflatoxinas com outras micotoxinas potencializou seus efeitos negativos, conforme constatado pela pesquisa utilizando hepatócitos de *Cyprinus carpio* (HE et al., 2010).

Em Portugal, um levantamento sobre a contaminação de ração animal por micotoxinas mostrou resultados negativos para aflatoxinas em todas as amostras analisadas de ração para peixes (MARTINS et al., 2008). Na Europa Central, apesar da prevalência de baixos índices de micotoxinas em rações comerciais para ciprinídeos, alguns dados foram preocupantes devido ao alto índice de deoxinivalenol (DEO) (PIETSCH et al., 2013) que, em outro experimento, demonstrou efeitos imunossupressores em *C. carpio* cultivada (PIETSCH et al., 2014).

Outros dados de HASHIMOTO et al. (2003) são as análises quantitativas de aflatoxinas totais em rações de peixes utilizadas no Paraná-Brasil com valores médios de 3,32 ng/g em rações extrusadas e de 1,40 ng/g em rações peletizadas.

Estudos com FB₁ fornecida através de ração para o bagre de canal (*I. punctatus*) mostram resultados antagônicos. BROWN et al. (1994) sugerem que exemplares adultos podem tolerar rações com níveis de contaminação acima de 300 mg/Kg por períodos superiores a cinco semanas, sem apresentarem danos macro ou microscópicos. Por sua vez, o experimento de LUMBERTDACHA et al. (1995) aponta que concentrações iguais ou maiores que 20 mg/Kg dessa micotoxina são tóxicas para os estágios de vida juvenil e adulto dessa espécie, devido constatarem uma relação proporcional direta entre o teor de toxinas e os efeitos negativos observados no crescimento e nos

caracteres hematológicos e histopatológicos, potencializados segundo LUMBERTDACHA; LOVELL (1995) pela exposição a fatores de virulência.

Por sua vez, a pesquisa efetuada por TUAN et al. (2003) demonstrou sensibilidade dessa espécie para índices de FB₁ a partir de 10 mg/Kg de ração, sendo os efeitos negativos observados no ganho de peso e na eficiência alimentar também diretamente proporcionais à dose ingerida. No entanto, outras variáveis observadas nesse estudo não demonstraram esse mesmo comportamento.

Majoritariamente, as alimentações de peixes utilizando rações contendo concentrações tóxicas de micotoxinas tornam o animal cultivado mais suscetível à ação de patógenos. LUMBERTDACHA; LOVELL (1995), MANNING et al. (2005a) verificaram que o bagre de canal (*I. punctatus*) alimentado com rações contendo FB₁, ocratoxina A (OTA) ou T-2 teve a taxa de mortalidade aumentada quando efetuou-se sua exposição à bactéria patogênica *Edwardsiella ictaluri*.

Pesquisa com essa espécie de peixe mostrou resultado discrepante bastante interessante. O consumo da micotoxina DEO, administrado em diferentes concentrações via ração experimental, resultou na maior taxa de sobrevivência aos indivíduos posteriormente expostos a essa bactéria patogênica, principalmente aqueles que consumiram os maiores teores da micotoxina. Apesar da falta de comprovação nessa espécie, esse resultado é devido ao aumento das imunoglobulinas, conforme observação em prévio experimento com camundongos (MANNING et al., 2013).

Outro destaque sobre a ação de micotoxinas está descrito por CARLSON et al. (2001), que cita o efeito carcinogênico da fumonisina B₁ (FB₁) administrada para truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) em associação com AFB₁ e n-metil-n'-nitro-nitrosoguanidina. Por sua vez, a pesquisa efetuada por TUAN et al. (2003) demonstrou sensibilidade dessa espécie para índices de FB₁ a partir de 10 mg/Kg de ração, sendo os efeitos negativos observados no ganho de peso e na eficiência alimentar também diretamente proporcionais à dose ingerida. No entanto, outras variáveis observadas nesse estudo não demonstraram esse mesmo comportamento.

A truta arco-íris (*O. mykiss*) é considerada uma espécie muito sensível à micotoxinas, particularmente aflatoxinas tipo B. De acordo com

Sinnhuber et al. (MANNING et al., 2005b), a simples exposição de seus ovos em solução de aflatoxinas B resultou meses mais tarde em significativo número de indivíduos com hepatocarcinomas. Problemas similares foram descritos por pesquisas posteriores, inclusive utilizando outros tipos de micotoxinas (HOOFT et al., 2011; WOZNY et al., 2013)

Uma importante espécie de peixe cultivado em várias partes do mundo – a carpa (*C. carpio*) – mostrou sensibilidade quando no estágio juvenil e alimentada com ração contendo FB₁ em diferentes concentrações (0,5; 5,0; 10 e 100 mg/Kg de produto). Apesar de nenhuma mortalidade ter sido observada, exames confirmaram dano ao crescimento corporal, maior incidência de processos inflamatórios causados por microrganismos oportunistas, alterações hemato-sorológicas e neurotoxicidade (letargia, edema cerebral, morte celular por apoptose, acúmulo de células inflamatórias), os quais foram proporcionais à dose administrada (PEPELJNJAK et al., 2002; KOVACIC et al., 2009).

Larvas de bagre africano (*Clarias gariepinus*) também tiveram o ganho de peso, os parâmetros hematológicos e os constituintes protéicos do soro negativamente afetados pela ingestão de fumonisina através da ração. Os resultados obtidos alertam que os teores a partir de 5 mg/Kg de produto possibilitam a ocorrência de efeitos imunossupressores e consequente impacto negativo no desempenho zootécnico do cultivo (GBORE et al., 2010).

Apesar de pouco estudadas, o efeito de outras toxinas em espécies de peixes já foram verificadas. Por exemplo, a OTA e a toxina T-2 administradas para bagre de canal (*I. punctatus*) também reduziu o crescimento corporal e lesionou o tecido hepatopancreático dessa espécie, entre outros sintomas (MANNING et al., 2003a; 2003b), principalmente quando exposto a fatores de virulência (MANNING et al., 2005a).

A zearalenona (ZEN) prejudicou a reprodução, enquanto a citrinina e patulina afetaram o desenvolvimento embrionário do paulistinha (*Danio rerio*) (SCHWARTZ, 2010; 2011; WU et al., 2012). Em trutas cultivadas na Polônia, a ZEN não foi detectada no músculo dorsal, apesar de detectada nos ovários. Esse resultado apresenta a impossibilidade de comprometimento da saúde dos consumidores desses animais, contudo pode afetar negativamente

a produtividade das triticulturas (WOZNY et al., 2013).

Por sua vez, a DEO apresentou severos efeitos na truta arco-íris (*O. mykiss*) (HOOFT et al., 2011). Em outro experimento, comprometimentos de natureza hematológica, sorológica e histológica também foram verificados nessa espécie, sem constatações de prejuízos nos índices biométricos (MATEJOVA et al., 2014). A associação de DEO e AFB₁ em hepatócitos de *C. carpio* resultou em maiores efeitos adversos quando comparados à ação de cada micotoxina isolada (HE et al., 2010).

Na Arábia Saudita, fungos micotoxigênicos foram isolados de peixes cultivados. Essa situação suscitou a recomendação de análises periódicas e medidas preventivas a serem adotadas pelas pisciculturas locais, prevenindo problemas de saúde pública (HASHEM, 2011).

No Brasil, Hashimoto et al. (2003) detectaram a co-ocorrência de aflatoxina e fumonisina em rações extrusadas e peletizadas para peixe e sugeriram o risco de sinergismo tóxico ao qual o peixe cultivado com esse produto estava submetido. ATAYDE (2008) isolou fungos de rações comerciais extrusadas para peixes e detectou exemplares com alto potencial tóxico segundo teste contra *A. salina*.

Barbosa et al. (2013) e Cardoso Filho et al. (2013), ao analisarem rações coletadas no interior das propriedades piscicultoras brasileiras identificaram índices médios da contaminação por fungos de $2,9 \times 10^3$ e $2,1 \times 10^3$, respectivamente, em UFC/g. Em outro estudo realizado por Nunes (2009) e Almeida et al. (2011) a contaminação por fungos foi positiva em rações para peixes adquiridas no fabricante, cujos valores foram $2,4 \times 10^4$ UFC/g e máximo de $2,0 \times 10^3$ UFC/g, respectivamente. Essas taxas de colonização microbiana foram superiores aos encontrados na pesquisa de Atayde (2008), condição que mostra os bons procedimentos durante o processamento nas fábricas de ração no Estado do Amazonas.

A comercialização de ração no varejo, no formato popularmente chamado “no retalho”, quando variáveis porém pequenas porções são vendidas, contribui para a contaminação. Olajuyigbe et al (2014) obtiveram 100% de amostras de ração para peixe vendidas no varejo contaminadas por fungos *Aspergillus* seção Flavi e aflatoxinas. Todas as espécies identificadas (*A. flavus* e *A. tamarii*; 83,05% e 16,95%, respectivamente) foram constatadas como micotoxigênicas e 88,9% das amostras

apresentavam aflatoxinas em quantidade superior a 10 µg/kg. A ocorrência dessa micotoxina também pode estar associada à outros fatores pré-venda da ração analisada, como matéria-prima contaminada, condições de processamento e manuseio durante fabricação, entre outros.

Os experimentos no Brasil utilizando peixes concentram-se nos efeitos da aflatoxina sobre o jundiá (*Rhamdia quellen*), desconhecendo-se trabalhos utilizando outras micotoxinas, conforme descrição abaixo.

Na pesquisa de Lopes et al. (2005), Vieira et al. (2006) e Lopes et al. (2010), administrando teores crescentes de aflatoxina através de ração para o jundiá (*R. quellen*), as alterações observadas – anemia, redução da glicose sanguínea e proteínas muscular e hepática – foram, em sua maioria, proporcionais a dose ingerida e similares aquelas verificadas em outros peixes. No entanto, mortalidade e diminuições significativas do peso e comprimento somente foram atestadas quando alimentados com teores a partir de 204 ppb/Kg de produto.

Quanto à deposição tecidual de aflatoxina, teores a partir de 90 ppb/Kg de ração já permitiram a detecção da toxina na carcaça e, no fígado, somente a partir de 350 ppb/Kg de ração (LOPES et al., 2005).

Dados capazes de suscitar ainda mais o potencial bioacumulador dessas toxinas e a necessidade de administrar ração isenta das mesmas aos peixes cultivados foram publicados por Tolosa et al. (2013) e Huang et al. (2014).

Na pesquisa de Tolosa et al. (2013), a presença em músculo de peixes da micotoxina sintetizada por *Fusarium* sp. somente foi detectada nas amostras dos exemplares cultivados, sendo ausentes nas amostras dos exemplares selvagens. Huang et al. (2014) detectaram a deposição muscular de AFB₁ em carpa *Carassius auratus gibelio* cultivada, sendo os índices dessa micotoxina diretamente proporcionais à quantidade adicionada na ração utilizada.

Já no Amazonas, verificou-se a toxicidade de fungos isolados de rações extrusadas produzidas por fábricas locais e destinadas à piscicultura. Para os ensaios de toxicidade, foram utilizados náuplios estágio 1 de *Artemia salina*. Constatou-se grave atividade biológica dos biocompostos produzidos pela maioria das espécies isoladas, indicando preocupação devido os riscos à produtividade, à saúde animal e aos consumidores desses animais cultivados (ATAYDE et al., 2008).



Pesquisas relacionadas aos teores de micotoxinas em rações produzidas no Amazonas ou na parte comestível de animais cultivados nesse Estado, assim como os efeitos desses micometabólitos em peixes regionais são inexistentes, significando uma importante lacuna a ser preenchida.

3.4. Efeito da extrusão nas micotoxinas

A fabricação de rações por extrusão consiste num processo de cozimento dos insumos em alta temperatura (130 a 150 °C), pressão (30 a 60 atm) e umidade controlada em curto espaço de tempo, favorecendo a estabilidade da ração na superfície da água, facilitando o manejo alimentar, além de inibir fatores antinutricionais (KUBITZA, 1999; AMARAL, 2002).

A farinha de milho previamente contaminada com DEO e aflatoxinas, quando submetida ao processo de extrusão a 150 e 180 °C, apresentou reduções nesses compostos [DEO-99,5%(máximo) e AFB1-25%(máximo)], principalmente a 180 °C (CAZZANIGA et al., 2001).

Em outras análises, quando foi feita a comparação da eficiência do processo de extrusão relativa à redução de aflatoxina durante o processamento de sementes de algodão, foi comprovado que o decréscimo do teor de aflatoxina estava associado à temperatura empregada e não ao número de estágios de processamento extrusivo, tanto que ao utilizarem três estágios de processamento a 104 °C, dois estágios a 132 °C e um estágio a 160 °C, a redução correspondeu a 55, 50 e 76%, respectivamente (BUSER; ABBAS, 2002).

4. Considerações finais

A atividade biológica dos fungos filamentosos nos diversos ecossistemas proporciona a produção de compostos de importância médica, ambiental e alimentícia. Contudo, em condições restritas e seletivas, certas espécies desses microrganismos produzem e excretam para o substrato diversos metabólitos secundários, entre os quais as micotoxinas, que se destacam pelo impacto negativo na saúde animal e humana.

Dentre as micotoxinas, a associação de técnicas específicas para análise de aflatoxinas proporcionam à detecção dessas micotoxinas em outras espécies de fungos anamorfos, além de linhagens de *A. flavus* e *A. parasiticus*.

Fungos filamentosos e as micotoxinas quando presentes em produtos alimentícios comprometem

a qualidade nutricional e causam perdas econômicas, condição que exigiu o desenvolvimento de legislação nacional de maior amplitude, de forma a incluir outras toxinas fúngicas.

Especificamente em peixes, as consequências normalmente observadas são diminuição do crescimento, queda na alimentação, pobre conversão alimentar e aumentada suscetibilidade à doenças, além da preocupante bioacumulação dessas toxinas no tecido muscular.

Na região amazônica, devido o grande consumo *per capita* e o crescente aumento do mercado de peixes cultivados, há necessidade de estudos para verificação qualitativa e quantitativa de micotoxinas no alimento fornecido a esses animais, visando à obtenção de produtos e subprodutos de qualidade, de forma a garantir a saúde do consumidor.

Agradecimentos

Ao CNPq e CAPES, pelo apoio financeiro.

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. Os autores e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista Scientia Amazonia detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação deste artigo, por meio eletrônico.

Referências

- ACCENSI, F. et al. Occurrence of *Aspergillus* species in mixed feeds and component raw materials and their ability to produce ochratoxin A. **Food Microbiology**, n.21, p.623-27, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 15 mar. 2008. doi:10.1016/j.fm.2003.12.003
- ALMEIDA, I. F. M. et al. Mycobiota and aflatoxin B1 in feed for farmed sea bass. **Toxins**, v. 3, p. 163-171, 2011. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3202824/>>. Acesso em 06 fev. 2014. doi:10.3390/toxins3030163
- AMARAL, C.M.C. **Extrusão e peletização de ração completa: efeitos no desempenho, na digestibilidade e no desenvolvimento das câmaras gástricas de cabritos saanen**. 2002, p.1-2. *Dissertação* (Mestrado em Zootecnia),



Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/handle/11449/96610>>. Acesso em 27 fev. 2008.

ATANDA, O.O. et al. Palm kernel agar: an alternative culture medium for rapid detection of aflatoxins in agricultural commodities. **African Journal of Biotechnology**, v.5, n.10, p.1029-33, 2006. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/AJB/PDF/pdf2006/16May/Atanda%20et%20al.pdf>>. Acesso em 15 mar. 2008. doi:10.1177/1082013205051293

ATAYDE, H.M. et al. Micobiota presente em pescado processado comercializado na cidade de Manaus, Amazonas. **Revista Higiene Alimentar**, v.19, n.134, p.89-93, 2005. Disponível em: <<https://ufopaedu.academia.edu/H%C3%89RLONMOTAATAYDE>>.

ATAYDE, H.M. **Potencial de toxicidade de microfungos isolados de rações para peixes fabricadas no Estado do Amazonas**. 2008. *Dissertação* (Mestrado em Ciência de Alimentos), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal do Amazonas.

BAPTISTA, A.S. et al. Fatores físico-químicos e biológicos ligados à produção de micotoxinas. **Boletim do Centro de Pesquisas e Processamento de Alimentos**, n.1, p.1-14, 2004.

BARBOSA, T. S. et al. Mycobiota and mycotoxins present in finished fish feeds from farms in the Rio de Janeiro State, Brazil. **International Aquatic Research**, v. 5, n. 3, 2013. Disponível em: <<http://www.intaquares.com/content/5/1/3>>. Acesso em 06 fev. 2014.

BENNETT, J.W.; KLICH, M. Mycotoxins. **Clinical Microbiology Reviews**, v.16, n.3, p.497-516, 2003. Disponível em: <<http://cmr.asm.org/cgi/reprint/16/3/497.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2008. doi:10.1128/CMR.16.3.497-516.2003

BINDER, E.M. Managing the risk of mycotoxin in modern feed production. **Animal Feed Science and Technology**, v.133, p.149-166, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 20 abr. 2009. doi:10.1016/j.anifeedsci.2006.08.008

BOUDRA, H.; MORGAVI, D.P. Mycotoxin risk evaluation in feeds contaminated by *Aspergillus fumigatus*. **Animal Feed Science and Technology**, v.120, p.113-123, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em

15 mar. 2008. doi:10.1016/j.anifeedsci.2005.01.006

BROWN, D.W. et al. Experimental feed of *Fusarium moniliforme* culture material containing fumonisin B₁ to channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Journal of Veterinary Diagnostic Investigation**, n.6, p.123-124, 1994. Disponível em: <<http://jvdi.org/>>. Acesso em 15 mar. 2008.

BUSER, M.D.; ABBAS, H.K. Effects of extrusion temperature and dwell time on aflatoxin levels in cottonseed. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, n.9, p. 2556-59, 2002. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf011479x>>. Acesso em 15 mar. 2008. doi: 10.1021/jf011479x

CARDOSO FILHO, F.C. et al. Monitoramento de fungos toxigênicos e aflatoxinas em rações utilizadas em piscicultura. **Ciência Animal Brasileira**, v. 14, n. 3, p. 305-311, 2013. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/vet/article/view/15414>>. Acesso em: 06 fev. 2014. doi: 10.526/cab.v14i3.15414

CARLSON, D.B. et al. Fumonisin B₁ promotes aflatoxin B₁ and n-methyl-n'-nitro-nitrosoguanidina-initiated liver tumors in rainbow trout. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v.172, p.29-36, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 15 mar. 2008. doi:10.1006/taap.2001.9129

CAZZANIGA, D. et al. Mycotoxins inactivation by extrusion cooking of corn flour. **Letters in Applied Microbiology**, v.33, n.2, p.144-47, 2001. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1472-765x.2001.00968.x/pdf>>. Acesso em 17 jul. 2009.

CRAVET, S.; LECOEUR, S. Fusariotoxin transfer in animal. **Food and Chemical Toxicology**, n.44, p.444-453, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 17 jul. 2009. doi:10.1016/j.fct.2005.08.021

FARIAS, A.X. et al. Contaminação endógena por *Aspergillus* spp. em milho pós-colheita no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.3, p.620, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em 17 jul. 2009. doi:10.1590/S0100-204X2000000300018

FEDDERN, V. et al. **Aflatoxins importance on animal nutrition**. In: Aflatoxins – recente advances and future prospects, cap.8, p.171-195, 2013. Disponível em:



<<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 23 nov. 2014. doi:10.5772/51952.

FERREIRA, H. et al. Aflatoxinas: um risco a saúde humana e animal. **Ambiência**, n.1, v.2, p.113-27, 2006. Disponível em: <<http://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewArticle/365>>. Acesso em 15 mar. 2008.

FRISVAD, J.C. et al. Taxonomic comparison of three different groups of aflatoxin producers and a new efficient producer of aflatoxin B₁, sterigmatocystin and 3-*O*-methylsterigmatocystin, *Aspergillus rambellii* sp. nov. **Sistematic and Applied Microbiology**, v.28, p.442-453, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 15 mar. 2008. doi:10.1016/j.syapm.2005.02.012

GBORE, F.A. et al. Growth performance, haematology and serum biochemistry of African catfish (*Clarias gariepinus*) fingerlings fed graded levels of dietary fumonisin B₁. **Mycotoxin Research**, n.26, p.221-227, 2010. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/2h71110272671272>>. Acesso em 6 fev. 2010. doi:10.1007/s12550-010-0059-2

GLENN, A.E. Mycotoxigenic *Fusarium* species in animal feed. **Animal Feed Science and Technology**, n.137, p.213-240, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 15 mar. 2008. doi:10.1016/j.anifeeds.2007.06.003

GRIESSLER, K.; ENCARNAÇÃO, P. Fumonins - mycotoxins of increasing importance in fish! **Aquaculture Asia Magazine**, abril/junho de 2009. Disponível em: <<http://library.enaca.org/AquacultureAsia/Articles/april-june-2009/aquaculture-asia-april-09.pdf>>. Acesso em 06 fev. 2010.

HASHEM, M. Isolation of mycotoxin-producing fungi from fishes growing in aquacultures. **Research Journal of Microbiology**, v.6, n.12, p.862-872, 2011. Disponível em <<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 22 jan. 2012. doi:10.3923/jm.2011.862.872.

HASHIMOTO, E.H. et al. Bromatologia e contaminação com fumonisina e aflatoxina em rações utilizadas na piscicultura da região de Londrina, Estado do Paraná, Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v.14, n.1, p.123-32, 2003. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagr>

<arias/article/viewArticle/2134>>. Acesso em 15 mar. 2008.

HE, C. et al. The individual and combined effects of deoxynivalenol and aflatoxin B₁ on primary hepatocytes of *Cyprinus carpio*. **International Journal of Molecular Sciences**, n.10, p.3760-3768, 2010. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1422-0067/11/10/3760/>>. Acesso em 06 fev. 2010. doi:10.3390/ijms11103760

HODGES, F.A. et al. Mycotoxins: aflatoxin isolated from *Penicillium puberulum*. **Science**, v.145, n.3639, p.1439, 1964. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org>>. Acesso em 05 ago. 2008. doi: 10.1126/science.145.3639.1439

HOOFT, J.M. et al. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is extremely sensitive to the feed-borne *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol (DON). **Aquaculture**, n.311, p.224-232, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.11.049>>. Acesso em 10 fev. 2011. doi:10.1016/j.aquaculture.2010.11.049

HUANG, Y. et al. Effect of dietary aflatoxin B₁ on growth, fecundity and tissue accumulation in gibel carp during the stage of gonad development. **Aquaculture**, n.428-429, p.236-242, 2014. Disponível em: <<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 23 nov. 2014. doi: 10.1016/j.aquaculture.2014.03.010

HUSSEIN, H.S.; BRASEL, J.M. Toxicity, metabolism and impact of mycotoxins on humans and animals. **Toxicology**, n.167, p.101-34, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 15 mar. 2008. doi:10.1016/S0300-483X(01)00471-1

HUWIG, A. et al. Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents. **Toxicology Letters**, n.122, p.179-88, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 15 mar. 2008. doi:10.1016/S0378-4274(01)00360-5

KOVACIC, S. et al. Fumonisin B₁ neurotoxicity in young carp (*Cyprinus carpio* L.). **Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju**, n.60, p.419-426, 2009. Disponível em: <<http://versita.metapress.com/content/2583262p5428751v/fulltext.pdf>>. Acesso em 06 fev. 2010. doi:10.2478/10004-1254-60-2009-1974.

LEUNG, M.C.K. et al. Mycotoxins in pet foods: a review on worldwide prevalence and preventative strategies. **Journal of Agricultural and Food**



Chemistry, v.54, n.26, p.9623-35, 2006. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf062363%2B>>. Acesso em 4 jun. 2008. doi:10.1021/jf062363+

LIM, H.A. et al. Contamination of palm kernel meal with *Aspergillus flavus* affects its nutritive value in pelleted feed for tilapia, *Oreochromis mossambicus*. **Aquaculture Research**, v.32, p.895-905, 2001. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2109.2001.00625.x/pdf>>. Acesso em 08 ago. 2008. doi:10.1046/j.1365-2109.2001.00625.x

LOPES, P.R.S. et al. Efeitos das aflatoxinas sobre os parâmetros eritrocitários de alevinos de jundiá (*Rhamdia quelen*). **Revista da FZVA**, v.17, n.1, p.1-13, 2010. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/fzva/article/viewFile/4047/5448>>. Acesso em 7 fev. 2011.

LOPES, P.R.S. et al. Crescimento e alterações no fígado e na carcaça de alevinos de jundiá alimentados com dietas com aflatoxinas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.10, p.1029-1034, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em 8 nov. 2008. doi:10.1590/S0100-204X2005001000012.

LUMLERTDACHA, S. et al. Growth, hematology and histopathology of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, fed toxins from *Fusarium moniliforme*. **Aquaculture**, v.130, p.201-218, 1995. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 15 mar. 2008. doi:10.1016/0044-8486(94)00219-E

MANNING; B.B.; ABBAS, H.K. The effect of *Fusarium* mycotoxins deoxynivalenol, fumonisin, and moniliformin from contaminated moldy grains on aquaculture fish. *Toxin Reviews*, v.31, n.1-2, p.11-15, 2012. Disponível em: <<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 23 nov. 2014. doi:10.3109/15569543.2011.651519

LUMLERTDACHA, S.; LOVELL, R.T. Fumonisin contaminated dietary corn reduced survival and antibody production by channel catfish challenged with *Edwardsiella ictaluri*. **Journal of Aquatic Animal Health**, n.7, p.1-8, 1995.

MANNING, B.B. et al. Exposure to feedborne mycotoxins T-2 toxin or ochratoxin A causes increased mortality of channel catfish challenged with *Edwardsiella ictaluri*. **Journal of Aquatic Animal Health**, n.17, v.2, p.147-152, 2005a. Obtida por contato eletrônico com o autor.

MANNING, B.B. et al. Feedborne mycotoxins in aquaculture feeds: impact and management of aflatoxin, fumonisin, and moniliformin. In: ABBAS, H.K. **Aflatoxin and Food Safety**, cap.27, p.555-565, Boca Raton: CRC Press, 2005b. Disponível em: <<http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9781420028171.ch27>>. Acesso em 8 mai. 2007.

MANNING, B.B. et al. Ochratoxin A fed to channel catfish (*Ictalurus punctatus*) causes reduced growth and lesions of hepatopancreatic tissue. **Aquaculture**, n.219, p.739-750, 2003a. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 15 mar. 2008. doi:10.1016/S0044-8486(03)00033-4

MANNING, B.B. et al. Response of channel catfish *Ictalurus punctatus* to diets containing T-2 toxin. **Journal of Aquatic Animal Health**, n.15, v.3, p.229-238, 2003b. Obtida por contato eletrônico com o autor.

MANNING, B.B. et al. The effect of feeding diets containing deoxynivalenol contaminated corn on channel catfish (*Ictalurus punctatus*) challenged with *Edwardsiella ictaluri*. **Aquaculture Research**, versão *early view*, p.1-5, 2013. Disponível em <<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 4 jan. 2014. doi: 10.1111/are.12123

MANNING, B.B. Mycotoxins in aquaculture feeds. **Southern Regional Aquaculture Center Publication**, n.5002, maio de 2010. Disponível em: <<https://srac.tamu.edu/index.cfm/event/getFactSheet/whichfactsheet/221/>>. Acesso em 27 fev.2011.

MARTÍN, J.F. et al. Secretion systems of secondary metabolites: how producer cells send out messages of intercellular communication. **Current Opinion in Microbiology**, n.8, p.282, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso 4m 13 jul. 2008. doi:10.1016/j.mib.2005.04.009

MARTINS, H.M. et al. Mycotoxins in feedstuffs in Portugal: an overview. **Mycotoxin Research**, n.24, v.1, p.19-23, 2008. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/>>. Acesso em 5 mar. 2008. doi:10.1007/BF02985266

MATEJOVA, I. et al. The effect of mycotoxin deoxynivalenol on haematological and biochemical indicators and histopathological changes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **BioMed Research International**, v.2014, article ID 310680, 5p. Disponível em:



<<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 23 nov. 2014. doi:10.1155/2014/310680

MISLIVEC, P.B. et al. Assay for aflatoxin production by the genera *Aspergillus* and *Penicillium*. **Applied Microbiology**, v.16, n.7, p.1053-55, 1968. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC547587/>>. Acesso em 22 abr. 2004.

MURPHY, P.A. et al. Food mycotoxins: an update. **Journal of Food Science**, v.71, n.5, 2006. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1750-3841.2006.00052.x/pdf>>. Acesso em 15 jan. 2008. doi:10.1111/j.1750-3841.2006.00052.x

NIZZA, A.; PICCOLO, G. Chemical-nutritional characteristics of diets in aquaculture. **Vet. Res. Commun.**, n.33, supl.1, p.25-30, 2009. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/tn194274j7363751/>>. Acesso em 15 nov. 2009. doi:10.1007/s11259-009-9240-5

NUNES, E. M. C. G. **Micobiota fúngica nos ingredientes e em ração comercial para piscicultura**. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2009, 32p. Disponível em: <<http://www.ufpi.br/subsiteFiles/ciencianimal/arquivos/files/Dissert%20Etelvina.pdf>>. Acesso em 07 jul. 2012.

OLAJUYIGBE, O. O. et al. Aflatoxigenic moulds and aflatoxin contamination of retailed fishery products in Lagos markets. **Micotoxicology**, n.1, p.57-63, 2014. Disponível em <<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 23 nov. 2014.

PEPELJNJAK, S. et al. Screening toxicity study in young carp (*Cyprinus carpio* L.) on feed amended with fumonisin B₁. **Mycopathologia**, n.156, p.139-145, 2002. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/n7230867v7624245/>>. Acesso em 15 jan. 2008. doi:10.1023/A:1022944927493

PEREIRA, M.M.G. et al. Crescimento e produção de aflatoxinas por *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus*. **Boletim do Centro de Pesquisas e Processamento de Alimentos**, v.20, p.141-56, 2002. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/alimentos/article/viewArticle/1143>>. Acesso em 20 fev. 2008.

PIETSCH, C. et al. Occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in commercial fish feed: an initial study. **Toxins**, v.5, p.184-192, 2013. Disponível

em: <www.mdpi.com/journal/toxins>. Acesso em 4 jan. 2014. doi:10.3390/toxins5010184

PIETSCH, C. et al. *In vivo* effects of deoxynivalenol (DON) on innate immune responses of carp (*Cyprinus carpio* L.). **Food and Chemical Toxicology**, n.68, p.44-52, 2014. Disponível em <<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 23 nov. 2014. doi:10.1016/j.fct.2014.03.012

PITT, J.I. Toxicogenic fungi: which are important? **Medical Microbiology**, v.38, n.1, p.17-22, 2000. Disponível em: <<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 22 mar. 2008.

SAHOO, P.K.; MUKHERJEE, S.C. Immunosuppressive effects of aflatoxin B₁ in Indian major carp (*Labeo rohita*). **Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases**, n. 24, p. 143-149, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 5 jun. 2008. doi:10.1016/S0147-9571(00)00017-5

SANTACROCE, M.P. et al. Aflatoxins in aquatic species: metabolism, toxicity and perspectives. **Review in Fish Biology and Fisheries**, v.18, p.99-130, 2008. Acesso em 01 nov. 2008. Disponível em: <www.scopus.com> doi:10.1007/s11160-007-9064-8

SCHWARTZ, P. et al. Life-cycle exposure to the estrogenic mycotoxin zearalenone affects zebrafish (*Danio rerio*) development and reproduction. **Environmental Toxicology**, p. 276-289, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 19 out. 2011. doi:10.1002/tox

SCHWARTZ, P. et al. Short-term exposure to the environmentally relevant estrogenic mycotoxin zearalenone impairs reproduction in fish. **Science of the Total Environment**, n.409, p.323-333, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 10 fev. 2011. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.10.017

SCUSSEL, V.M. **Atualidades em micotoxinas e armazenagem de grãos**. 1.ed. Santa Catarina: Editora Vildes Maria Scussel, 2000. Disponível na Biblioteca da UFAM.

SCUSSEL, V.M. **Micotoxinas em alimentos**, 1.ed. Santa Catarina: Editora Insular Ltda., 1998. Disponível na Biblioteca da UFAM.

SELIM, K.M. et al. The efficacy of three mycotoxin adsorbents to alleviate aflatoxin B₁-induced toxicity in *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture International**, n.22, p.523-540, 2014. Disponível



em <<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 23 nov. 2014. doi:10.1007/s10499-013-9661-6

SILVA, J.A.M. et al. Frutos e sementes consumidos pelo tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) incorporados em rações. Digestibilidade e velocidade de trânsito pelo trato gastrointestinal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.6, p.1815-24, 2003.

TACON, A.G.; METIAN, M. Aquaculture feed and food safety. **Annals of the New York Academy of Sciences**, n.1140, p.50-59, 2008. Disponível em: <<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 1 fev. 2009. doi:10.1196/annals.1454.003

TOLOSA, J. et al. Natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins in aquaculture fish food. **Revista de Toxicología**, v.30, n.2, p.193-197, 2013.

TUAN, N.A. et al. Growth and hepatic lesions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing aflatoxin B₁. **Aquaculture**, v.212, p.311-19, 2002. Obtido via base de dados SCIENCE DIRECT. Acessado em 28 jul. 2008. Online. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 28 jul. 2008. doi:10.1016/S0044-8486(02)00021-2

TUAN, N.A. et al. Response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing different concentrations of moniliformin or fumonisin B₁. **Aquaculture**, n.217, p.515-528, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 17 jul. 2008. doi:10.1016/S0044-8486(02)00268-5

VIEIRA, V.L.P. et al. Alterações metabólicas e hematológicas em jundiás (*Rhamdia quelen*) alimentados com rações contendo aflatoxinas. **Ciência Animal Brasileira**, v.7, n.1, p.49-55, 2006. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/vet/article/viewArticle/388>>. Acesso em 06 mar. 2008.

WOZNY, M. et al. Zearalenone contamination in rainbow trout farms in north-eastern Poland. **Aquaculture**, v.416-417, p. 209-211, 2013. Disponível em <<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 4 jan. 2014. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.09.030

WU et al. Evaluation of nephrotoxic effects of mycotoxins, citrinin and patulin, on zebrafish (*Danio rerio*) embryos. **Food and Chemical Toxicology**, v.50, p. 4398-4404, 2012. Disponível em <<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 4 jan. 2014. doi: 10.1016/j.fct.2012.07.040

YANONG, R.P.E. Fungal diseases of fish. **The Veterinary Clinics Exotic Animal Practice**, p.377-400, 2003. Disponível em: <<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 9 abr. 2008. doi:10.1016/S1094-9194(03)00005-7

YIANNIKOURIS, A.; JOUANY, J. Mycotoxins in feeds and their fate in animals: a review. **Animal Research**, n.51, p.81-99, 2002. Disponível em: <<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em 8 mar. 2008. doi:10.1051/animres:2002012