

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

MIRIAM COSTA MELO

MICOTOXINAS EM RAÇÕES ANIMAIS: FATORES DE CONTAMINAÇÃO E
IMPACTOS NA SAÚDE ANIMAL

Uberlândia

2026

MIRIAM COSTA MELO

MICOTOXINAS EM RAÇÕES ANIMAIS: FATORES DE CONTAMINAÇÃO E
IMPACTOS NA SAÚDE ANIMAL

Trabalho de Conclusão de Curso Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial
para obtenção do título de licenciatura em
Química.

Área de concentração: Química

Orientadora: Prof.^a Dr^a Viviani Alves de Lima

UBERLÂNDIA

2026

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M528
2026

Melo, Miriam Costa, 1993-
MICOTOXINAS EM RAÇÕES ANIMAIS: FATORES DE
CONTAMINAÇÃO E IMPACTOS NA SAÚDE ANIMAL [recurso
eletrônico] / Miriam Costa Melo. - 2026.

Orientadora: Viviani Alves de Lima.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Uberlândia, Graduação em Química.

Modo de acesso: Internet.

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Química. I. Lima, Viviani Alves de, 1972-, (Orient.). II.
Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Química. III.
Título.

CDU: 54

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

MIRIAM COSTA MELO

MICOTOXINAS EM RAÇÕES ANIMAIS: FATORES DE CONTAMINAÇÃO E
IMPACTOS NA SAÚDE ANIMAL

Trabalho de Conclusão de Curso Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial
para obtenção do título de licenciatura em
Química.

Área de concentração: Química

Uberlândia, 12/03/2026

Banca Examinadora:

Dra. Viviani Alves de Lima – IQUFU - Orientadora

Dra. Camila Lima Coimbra – FACEDUFU - Titular

Dr. Deivid Marcio Marques – IQUFU - Titular

Dedico este trabalho a Jesus Cristo, aos meus pais, pelo estímulo, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por me guiar com sabedoria ao longo desta jornada e por me conceder perseverança para concluir este objetivo.

Agradeço à minha família, especialmente aos meus pais, Donizete Costa Melo e Sirlene Fátima de Abreu, pelo apoio incondicional, incentivo, compreensão e dedicação, bem como pelos inúmeros esforços realizados para que eu pudesse chegar até aqui.

Expresso também minha sincera gratidão à minha tia Lucimar, por ter me acolhido com tanto carinho em sua casa e me proporcionado a oportunidade de estudar em Uberlândia. À minha irmã, Thaís de Abreu Melo, agradeço pelo cuidado e pelo apoio nos momentos em que, muitas vezes, preparou o jantar enquanto eu estava na universidade.

Aos meus colegas João Paulo, Juliane, Danilo, Guilherme, Karine, Kamila pela parceria, apoio e momentos compartilhados durante o curso.

A minha orientadora Viviani, pelo incentivo, motivação e orientação ao longo desta caminhada acadêmica.

Agradeço também ao coordenador do setor Deividi, da Universidade Federal de Uberlândia, pela compreensão e por me acompanhar em toda a trajetória dentro da universidade, além de todo o suporte que meu deu durante esses onze anos de graduação.

Ao Programa de Residência Pedagógica, pela bolsa concedida durante os anos de formação, que foi fundamental para a minha formação profissional.

A todos os professores que, de alguma forma, contribuíram para meu aprendizado ao longo deste período, expresso minha sincera gratidão por cada interação e discussão que enriqueceram minha formação, bem como por todos os ensinamentos compartilhados.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de forma direta ou indireta colaboraram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

*"A humildade exprime uma das raras certezas
de que estou certo: a de que ninguém é superior
a ninguém." — Paulo Freire, Pedagogia da
Autonomia*

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre micotoxinas em rações animais, abordando sua ocorrência, impacto e estratégias de controle. Busca-se compreender os mecanismos utilizados pelas indústrias para minimizar os efeitos das micotoxinas nos produtos destinados à alimentação animal, avaliar a eficácia das técnicas de análise aplicadas e investigar as ferramentas de mitigação disponíveis. A revisão pretende reunir informações que contribuam para o entendimento das práticas de prevenção e controle, destacando sua relevância para a qualidade e segurança na nutrição animal.

Palavras-chave: Análises químicas, micotoxinas, ração animal, fungos toxigênicos, micotoxicoses, controle, saúde animal, alimentação animal, segurança alimentar.

ABSTRACT

This study aims to conduct a literature review on mycotoxins in animal feed, addressing their occurrence, impact, and control strategies. The review seeks to understand the mechanisms employed by industries to minimize the effects of mycotoxins in feed products, evaluate the effectiveness of analytical techniques applied, and investigate the available mitigation tools. The purpose is to gather information that contributes to the understanding of prevention and control practices, highlighting their relevance to quality and safety in animal nutrition.

Keywords: Chemical analyses, mycotoxins, feed, toxigenic fungi, mycotoxicoses, control, animal health, animal feed, food safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Aflatoxina	19
Figura 2 DON	19
Figura 3 Kit ELISA	26

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Comparativo entre os métodos de análise	25
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BPF	Boas Práticas de Fabricação
DON	Deoxinivalenol
ELISA	<i>Enzyme-Linked Immunosorbent Assay</i> ou Ensaio Imunoenzimático
HACCP	Análise de Perigo e Pontos Crítico de Controle.
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
UFU	Universidade Federal de Uberlândia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVO.....	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO:	16
3	METODOLOGIA.....	17
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1	FUNDAMENTOS SOBRE MICOTOXINAS E FATORES DE CONTAMINAÇÃO EM ALIMENTOS/INGREDIENTES E RAÇÕES (FEED).....	18
4.1.1	CONCEITOS: FUNGOS TOXIGÊNICOS, MICOTOXINAS E MICOTOXICOSE.....	18
4.1.2	PRINCIPAIS GÊNEROS FÚNGICOS ASSOCIADOS A FEED (EX.: ASPERGILLUS, FUSARIUM, PENICILLIUM)	19
4.1.3	PRINCIPAIS MICOTOXINAS EM INGREDIENTES E RAÇÕES.....	20
4.2	CADEIA DE PRODUÇÃO E PONTOS CRÍTICOS (PRÉ-COLHEITA, COLHEITA, TRANSPORTE, ARMAZENAMENTO, PRODUÇÃO).....	22
4.2.1	FATORES DE PRÉ-COLHEITA	22
4.2.2	FATORES DE TRANSPORTE.....	23
4.2.3	FATORES DE ARMAZENAMENTO.....	23
4.2.4	FATORES DE PRODUÇÃO.....	23
4.3	MÉTODOS DE DETECÇÃO, QUANTIFICAÇÃO E DIAGNÓSTICO	24
4.3.1	AMOSTRAGEM: DESAFIO PRINCIPAL E PLANOS AMOSTRAIS.....	24
4.3.2	AMOSTRAGEM DO GRÃO DE MILHO NA INDÚSTRIA.....	25
4.3.3	MÉTODOS RÁPIDOS (TRIAGEM): TESTES IMUNOLÓGICOS.....	25
4.3.4	ANÁLISE TESTE ELISA PARA LIBERAÇÃO DA CARGA DE MILHO.....	28
4.3.5	MÉTODOS CONFIRMATÓRIOS: CROMATOGRAFIA (HPLC/LC-MS/MS).....	28
4.4	INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS: LIMITES, INCERTEZA E MATRIZ....	29
4.5	IMPACTOS NA SAÚDE ANIMAL E NO DESEMPENHO PRODUTIVO, ESTRATÉGIAS DE PREVENÇÃO E CONTROLE	30
4.5.1	DIAGNÓSTICO DE MICOTOXICOSE EM ANIMAIS	30
4.5.2	MECANISMOS DE TOXICIDADE.....	31
4.5.3	EFEITOS SUBCLÍNICOS: PRODUTIVIDADE, CONVERSÃO ALIMENTAR, FERTILIDADE E IMUNIDADE	32
4.5.4	IMPACTOS POR ESPÉCIE (COM SUBTÓPICOS PADRONIZADOS)	33

4.6	<i>MITIGAÇÃO E CONTROLE</i>	<i>34</i>
4.6.1	<i>BOAS PRÁTICAS AGRÍCOLAS (BPA) E PÓS-COLHEITA (SECAGEM/ARMAZENAMENTO).....</i>	<i>34</i>
4.6.2	<i>BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO (BPF) EM FÁBRICAS DE RAÇÃO.....</i>	<i>35</i>
4.6.3	<i>CONTROLE FÍSICO E QUÍMICO.....</i>	<i>36</i>
4.7	<i>ADITIVOS E TECNOLOGIAS DE MITIGAÇÃO DE MITOXINAS</i>	<i>37</i>
5	<i>CONCLUSÃO</i>	<i>40</i>
6	<i>REFERÊNCIAS.....</i>	<i>42</i>

1 INTRODUÇÃO

A contaminação de grãos, coprodutos e rações por metabólitos tóxicos de fungos é reconhecida como um dos principais desafios sanitários e econômicos da produção animal. Esse problema combina ampla distribuição geográfica, dependência de fatores climáticos e de manejo, além da elevada diversidade de compostos químicos com distintos alvos orgânicos. Como consequência, perdas produtivas e efeitos subclínicos tornam-se recorrentes, mesmo na ausência de sinais clínicos evidentes na rotina de campo (Bennett, 2003).

As micotoxinas, substâncias tóxicas produzidas por fungos filamentosos, podem se desenvolver em grãos, rações e outros alimentos sob condições favoráveis de umidade e temperatura. Entre elas, as aflatoxinas destacam-se como as mais conhecidas e perigosas, capazes de causar sérios efeitos adversos à saúde animal e, em casos de contaminação cruzada, também à saúde humana.

Essa contaminação ocorre naturalmente em ambientes nativos e cultivados, sendo frequente em culturas como amendoim, milho, café e castanhas, especialmente em regiões de clima quente, como o Brasil. O tema ganhou relevância científica na década de 1960, após um surto de mortalidade em aves no Reino Unido, cuja investigação revelou a presença de aflatoxinas na ração. Atualmente, já são conhecidas mais de 400 micotoxinas, entre as quais a ocratoxina A, patulina, aflatoxinas e fumonisinas, classificadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como compostos altamente carcinogênicos.

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) regulamenta os limites máximos tolerados de micotoxinas em alimentos. Essas substâncias são resistentes a tratamentos térmicos comuns, como torração e pasteurização, o que impossibilita sua eliminação. Assim, produtos que ultrapassam os limites estabelecidos devem ser descartados. De acordo com o Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA), “existem limites máximos porque se entende que a contaminação é natural. A adoção de boas práticas agrícolas e a rejeição de produtos contaminados são formas de evitar a presença dessas micotoxinas, que podem gerar prejuízos à saúde animal e do consumidor”. (Lages, 2018).

Recentemente, o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) publicou a Portaria SDA/Mapa nº 1.412/2025, que estabelece limites máximos de micotoxinas em alimentos destinados a cães e gatos. A norma, que entra em vigor em 1º de julho de 2026, fixa o limite de 10 µg/kg para aflatoxina B1 e 20 µg/kg para aflatoxinas totais. Acima desses valores, os alimentos serão considerados impróprios para uso ou consumo animal. Até então, não havia

parâmetros específicos para esse segmento. (MINISTÉRIO DE AGROPECUARIA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2025).

A relevância do tema se intensifica diante de levantamentos que demonstram que a contaminação não é regular, mas sim, frequente em matérias-primas e rações, variando conforme região, safra e matriz. Além disso, há elevada probabilidade de exposição simultânea a múltiplas micotoxinas, o que dificulta a análise de risco baseada em um único analito ou etapa do processo produtivo (Rodrigues, 2012).

Nas cadeias modernas de produção, o risco é ampliado pelo uso intensivo de coprodutos e subprodutos de grãos, como o milho, e pela complexidade logística de armazenamento e transporte. Esses fatores podem concentrar ou redistribuir contaminantes, gerando lotes com grande variabilidade interna e impondo desafios adicionais à gestão da qualidade e à tomada de decisão, sobretudo quando o controle depende de amostragem e análises que precisam representar adequadamente a massa total do produto (Pinotti, 2016).

Além da dimensão produtiva, há pressões regulatórias e de mercado interno para reduzir a exposição animal a substâncias indesejáveis. Isso demanda programas de prevenção e mitigação alinhados às boas práticas de fabricação e a sistemas de análise de perigos e pontos críticos de controle (HACCP).

Nesse contexto, a segurança da ração deve ser tratada como atributo intrínseco ao processo produtivo, e não apenas como verificação final por análises pontuais, especialmente em cadeias que abastecem sistemas intensivos e integrados (Codex Alimentarius Commission, 2014). A escolha do tema micotoxinas justifica-se pela vivência profissional na área de produção de ração animal, especialmente na atuação como analista da qualidade, onde é possível observar na prática os riscos que essas substâncias representam para a segurança dos alimentos e para a saúde dos animais.

A presença de micotoxinas nas matérias-primas e produtos pode comprometer a qualidade da ração, impactar o desempenho produtivo e gerar prejuízos econômicos significativos. Além disso, trata-se de um fator crítico dentro dos programas de controle de qualidade, exigindo monitoramento constante e medidas preventivas eficazes. Dessa forma, o estudo das micotoxinas torna-se essencial tanto do ponto de vista técnico quanto científico, contribuindo para a garantia da qualidade e segurança na cadeia produtiva. Como a indústria pode controlar efetivamente o risco de micotoxinas?

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo analisar, a partir de uma revisão bibliográfica, como ocorre a contaminação por micotoxinas em rações animais, bem como, os principais mecanismos de controle, técnicas analíticas para o monitoramento e técnicas de mitigação utilizados na indústria.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO:

- Compreender os principais mecanismos de controle utilizados pelas indústrias para reduzir a presença de micotoxinas nas rações animais.
- Avaliar a eficácia das técnicas empregadas na detecção e análise de micotoxinas.
- Investigar as ferramentas de mitigação aplicadas para minimizar os efeitos das micotoxinas na ração animal.

3 METODOLOGIA

A busca foi realizada entre novembro 2025 até março de 2026 nas bases Google acadêmico, SciELO, PubMed, ScienceDirect e Google Scholar, considerando publicações em português e inglês, no período de 2000 a 2025. Além de consulta as legislações e os documentos técnicos de órgãos regulatórios. Foram utilizados descritores em português e inglês, tais como: micotoxinas, ração animal, animal feed, HACCP, adsorventes de micotoxinas, e segurança alimentar.

Foram incluídos artigos científicos, revisões, legislações e documentos técnicos publicados preferencialmente entre os anos de 2000 e 2025, priorizando estudos com relevância técnica, atualidade e aplicabilidade à realidade da indústria do agro.

Entre os artigos resultantes da busca, verificando os critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados um total de 26 referências. Para a construção deste trabalho foi realizada a leitura integral das referências selecionadas, seguida da elaboração de fichas documentais contendo informações essenciais de cada estudo.

Os critérios de exclusão foram: resumos que apenas relatavam a ocorrência de micotoxinas em ração de bovinos, excluídos de avicultura, e as literaturas que continham sobre alimentos para humanos. Após a seleção, os materiais foram submetidos à leitura exploratória, seguida de leitura analítica e interpretativa, permitindo a organização das informações em categorias temáticas: ocorrência e impacto das micotoxinas, mecanismos de prevenção e controle, métodos analíticos para detecção e quantificação, e estratégias de mitigação na ração animal.

A análise das informações foi conduzida de forma descritiva e interpretativa, buscando integrar as pesquisas da literatura com a realidade da cadeia produtiva na área onde eu atuo, destacando convergências, limitações e perspectivas futuras para o tema. Dessa forma, foi possível construir uma visão abrangente sobre o gerenciamento do risco por micotoxinas, fundamentada em evidências científicas e normativas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 *FUNDAMENTOS SOBRE MICOTOXINAS E FATORES DE CONTAMINAÇÃO EM ALIMENTOS/INGREDIENTES E RAÇÕES (FEED)*

4.1.1 *CONCEITOS: FUNGOS TOXIGÊNICOS, MICOTOXINAS E MICOTOXICOSE*

Fungos toxigênicos são microrganismos capazes de produzir metabólitos secundários que conferem vantagem ecológica, e as micotoxinas correspondem à parte desses metabólitos com potencial de causar efeitos adversos em humanos e animais, sendo importante diferenciar contaminação fúngica visível da presença efetiva de toxinas, já que a micotoxina pode persistir mesmo quando o fungo não está mais viável ou detectável por métodos microbiológicos convencionais (Bennett, 2003).

A micotoxina, do ponto de vista de risco, deve ser compreendida como contaminante químico de origem biológica, com estabilidade variável e comportamento dependente de matriz. Já os micotóxicos são resultantes da exposição por via alimentar, frequentemente crônica e em baixas doses, o que desloca o foco do diagnóstico de eventos agudos raros para perdas subclínicas, alterações fisiológicas e respostas imunes comprometidas que afetam o desempenho e a sanidade do rebanho (Bryden, 2012).

A caracterização do perigo também depende do entendimento de que certas micotoxinas apresentam potencial carcinogênico e outros desfechos graves, o que reforça a necessidade de prevenção na alimentação animal e de atenção a mecanismos de biotransformação e excreção, uma vez que parte do risco pode se estender para produtos de origem animal em situações específicas de transferência residual, ampliando a relevância do controle na perspectiva de saúde única e segurança dos alimentos (Iarc, 2012).

Em ambientes reais de produção, a micotoxidade não decorre apenas de uma toxina isolada, porque a coexistência de múltiplas micotoxinas é comum e pode produzir interações aditivas, sinérgicas ou antagônicas, tornando insuficiente avaliar risco com base em limites isolados quando a dieta contém diferentes ingredientes e quando os animais estão expostos a combinações cuja toxicodinâmica pode alterar intensidade e natureza dos efeitos biológicos (Grenier, 2011).

A compreensão conceitual também exige reconhecer que a ocorrência de micotoxinas é global, influenciada por clima, práticas agrícolas e fluxos comerciais, e que a expressão de risco

é modulada por espécie, idade, estado fisiológico, desafio sanitário concomitante e qualidade nutricional da dieta do rebanho, de modo que o mesmo nível analítico pode produzir respostas produtivas distintas entre sistemas, reforçando a necessidade de contextualizar resultados laboratoriais com dados zootécnicos e clínicos (Schatzmayr, 2013).

4.1.2 PRINCIPAIS GÊNEROS FÚNGICOS ASSOCIADOS A FEED (EX.: ASPERGILLUS, FUSARIUM, PENICILLIUM)

Entre os fungos de maior relevância para feed, destacam-se gêneros que colonizam grãos no campo e em armazenagem, com capacidade de produzir diferentes micotoxinas conforme substrato e condições ambientais, e essa diversidade biológica é um fator central para explicar por que lotes visualmente semelhantes podem ter perfis toxicológicos distintos, exigindo monitoramento direcionado e entendimento ecológico da cadeia produtiva (Bennett, 2003).

O gênero *Aspergillus* é frequentemente associado a condições de maior temperatura e estresse em pós-colheita, podendo se desenvolver em grãos e farelos quando a umidade e aeração são inadequadas, e sua relevância para a alimentação animal decorre de micotoxinas com alta toxicidade e importância econômica, o que impõe ênfase em secagem, controle de umidade e prevenção de pontos quentes em armazenagem (Rodrigues, 2012).

Fusarium está fortemente relacionado a contaminações de pré-colheita em cereais, com influência marcada de clima, chuva e danos por pragas, e sua importância na indústria de rações também se conecta ao uso de coprodutos de cereais, nos quais micotoxinas podem se concentrar, elevando a necessidade de especificações de compra e de avaliação de risco por ingrediente, especialmente em formulações com alta participação de subprodutos (Pinotti, 2016).

O gênero *Penicillium* é particularmente relevante em armazenagem, porque pode proliferar em condições de umidade elevada e baixa ventilação, contribuindo para perfis de contaminação diferentes daqueles formados no campo, o que reforça que o controle não pode ser restrito à lavoura, já que o armazenamento e o manuseio podem criar condições para novas contaminações ou para aumento de toxinas já presentes em níveis baixos (Bryden, 2012).

A associação entre gêneros fúngicos e etapas de cadeia orienta programas preventivos, pois práticas de redução de umidade, integridade física do grão e higiene de estruturas atacam fatores determinantes de crescimento fúngico, e esse enfoque preventivo é coerente com diretrizes de boas práticas e códigos de prevenção, que recomendam medidas contínuas e

verificáveis ao longo da produção e do armazenamento para reduzir a probabilidade de desenvolvimento de fungos toxigênicos (Codex Alimentarius Commission, 2014).

4.1.3 PRINCIPAIS MICOTOXINAS EM INGREDIENTES E RAÇÕES

Em rações e ingredientes, um conjunto recorrente de micotoxinas inclui compostos produzidos em campo e em armazenagem, e entre elas o deoxinivalenol (DON) se destaca por ampla ocorrência em cereais e por provocar redução de consumo e alterações imunometabólicas, com relevância prática para suínos e aves, exigindo atenção tanto ao controle de matéria-prima quanto à interpretação do impacto produtivo em exposições crônicas (Pestka, 2007).

O Brasil tem sido reconhecido internacionalmente pelo avanço no controle de micotoxinas em milho. A FAO e a OMS destacaram que o país se tornou um modelo de prevenção e redução de contaminação em cereais, graças à implementação do Código de Práticas do Codex Alimentarius (CXC 51-2003). Esse esforço transformou o Brasil de importador líquido nos anos 1990 para segundo maior exportador de milho do mundo, mostrando que medidas regulatórias e boas práticas agrícolas tiveram impacto direto na redução da prevalência de micotoxinas (Silva et al.2024).

As aflatoxinas têm destaque por potência toxicológica e pela possibilidade de biotransformação e excreção em produtos animais em condições específicas, o que torna o controle em dietas de bovinos particularmente estratégico quando há risco de transferência para leite, além de reforçar a necessidade de monitorar ingredientes susceptíveis, de controlar armazenagem e de adotar medidas de mitigação quando a prevenção não é suficiente (Fink-Gremmels, 2008).

Do ponto de vista de gestão e conformidade, a atenção também se volta a zearalenona, ocratoxina A, fumonisinas e toxinas T-2 e HT-2, frequentemente citadas em orientações técnicas e recomendações de referência, e isso direciona programas analíticos para painéis que reflitam risco real por matriz e espécie, evitando decisões baseadas apenas em um marcador quando a cadeia e a formulação favorecem perfis complexos de contaminação (União Europeia, 2006).

A relevância dessas micotoxinas na prática industrial é reforçada por levantamentos de ocorrência que evidenciam a frequência de contaminação em matérias-primas e rações em diferentes regiões e safras, com variações marcadas por ingrediente e por condições climáticas, o que implica que programas de controle devem ser dinâmicos e ajustados ao risco sazonal,

incorporando monitoramento contínuo e critérios de compra que considerem histórico de fornecedores e suscetibilidade da matriz, em vez de depender apenas de verificações esporádicas (Rodrigues, 2012).

Além disso, deve-se considerar que a concorrência de micotoxinas é uma condição comum em dietas comerciais e pode alterar a expressão toxicológica por interações entre compostos, de modo que exposições simultâneas podem gerar efeitos aditivos ou sinérgicos sobre desempenho, integridade intestinal e imunidade, tornando prudente interpretar resultados analíticos com foco no conjunto do perfil de contaminação e na sensibilidade da espécie, sobretudo quando diferentes ingredientes contribuem com toxinas distintas em uma mesma formulação (Grenier, 2011).

Segue abaixo as estruturas das micotoxinas mais encontradas nos produtos de alimentação animal:

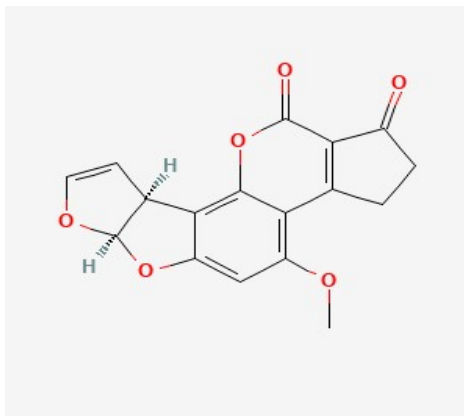


Figura 1 – Estrutura química da Aflatoxina B1

Fonte: Site Pubchem (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Aflatoxin-B1>) Acesso em: 27 fev. 2026.

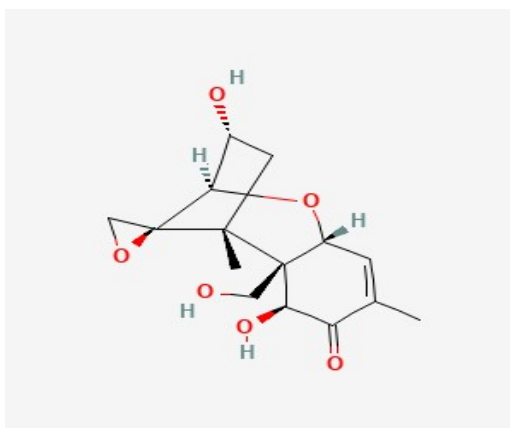


Figura 2 – Estrutura química do DON

Fonte: Pubchem (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Deoxynivalenol#section=2D-Structure>). Acesso em: 27 fev. 2026.

4.2 CADEIA DE PRODUÇÃO E PONTOS CRÍTICOS (PRÉ-COLHEITA, COLHEITA, TRANSPORTE, ARMAZENAMENTO, PRODUÇÃO)

A cadeia de produção de feed deve ser entendida como um sistema no qual a prevenção de micotoxinas se beneficia de abordagem estruturada, porque os perigos podem emergir ou se intensificar em diferentes etapas, e a identificação de pontos críticos permite direcionar monitoramento e medidas corretivas, integrando controle de umidade, temperatura, higiene e rastreabilidade como pilares de um programa de gestão (FAO, 2001).

4.2.1 FATORES DE PRÉ-COLHEITA

A fase de pré-colheita é determinante porque infecções fúngicas e síntese de toxinas podem ocorrer ainda na planta, e o manejo agrônomo orientado à redução de estresses e à integridade do cereal é medida de primeira linha, incluindo escolha de cultivares adaptadas, rotação de culturas e manejo de pragas, com foco em reduzir danos que abrem portas para colonização fúngica (Codex Alimentarius Commission, 2014).

A gestão no campo também depende de capacitação e de rotinas simples de controle, como avaliação de maturidade, planejamento de colheita e monitoramento de condições climáticas, pois atrasos e colheita sob umidade elevada aumentam o risco de contaminação, e programas de treinamento e extensão direcionados ao controle “on-farm” são descritos como fundamentais para consolidar práticas consistentes em diferentes realidades produtivas (FAO, 2007).

Variações regionais e safras com eventos climáticos extremos podem alterar a pressão de contaminação e modificar o perfil de micotoxinas esperadas, o que exige flexibilidade em planos de monitoramento e compras, além de reforçar que a prevenção não é estática, já que riscos mudam de acordo com clima, incidência de pragas e dinâmica de plantio, tornando prudente ajustar estratégias a cada safra (Rodrigues, 2012).

A interação entre danos por insetos, estresse hídrico e manejo inadequado amplia a probabilidade de colonização por fungos, e isso pode ocorrer mesmo em lavouras tecnificadas quando há desequilíbrios na condução do cultivo, de modo que a prevenção efetiva se beneficia de integração entre recomendações agrônomicas e metas zootécnicas, reconhecendo que a qualidade do grão é variável estratégica para produtividade animal (Bryden, 2012).

Em sistemas com uso intensivo de coprodutos, a atenção à pré-colheita deve ser reforçada porque contaminações originadas no campo podem se concentrar em frações

específicas durante o processamento, o que altera o risco final por ingrediente e pode resultar em dietas com maior carga tóxica mesmo quando o grão inteiro não apresenta sinais evidentes, justificando especificações e auditorias que considerem origem e processamento (Pinotti, 2016).

4.2.2 FATORES DE TRANSPORTE

O transporte é frequentemente subestimado, mas pode reintroduzir umidade, provocar condensação e ampliar contaminação cruzada por resíduos em caminhões e sistemas de descarga, e quando combinado a atrasos logísticos, favorece aquecimento local e crescimento fúngico, motivo pelo qual limpeza, cobertura adequada e rotinas de inspeção devem ser consideradas parte do controle preventivo e não apenas uma exigência operacional (Bryden, 2012).

4.2.3 FATORES DE ARMAZENAMENTO

O armazenamento é um dos pontos mais críticos porque permite tanto a manutenção quanto a amplificação do risco, e condições como umidade acima do recomendado, baixa aeração e presença de pontos quentes podem acelerar crescimento fúngico e produção de toxinas, sendo relevante monitorar temperatura, umidade e integridade estrutural, especialmente quando se armazenam coprodutos e farelos que apresentam maior superfície e suscetibilidade (Pinotti, 2016).

4.2.4 FATORES DE PRODUÇÃO

Na indústria de ração, riscos incluem recebimento de matérias-primas heterogêneas, mistura de lotes, contaminação cruzada em equipamentos e dificuldade de rastrear fontes, e por isso o controle efetivo depende de especificações de compra, qualificação de fornecedores, amostragem estruturada, segregação de lotes suspeitos e documentação, práticas frequentemente enfatizadas em orientações técnicas setoriais para grãos e rações (Brasil, s.d.).

4.3 MÉTODOS DE DETECÇÃO, QUANTIFICAÇÃO E DIAGNÓSTICO

4.3.1 AMOSTRAGEM: DESAFIO PRINCIPAL E PLANOS AMOSTRAIS

A amostragem é o maior desafio operacional no controle de micotoxinas, pois a distribuição é tipicamente heterogênea, com “pontos quentes” e agregados, de modo que poucos incrementos podem gerar falsos negativos ou superestimar risco, e por isso planos amostrais devem maximizar representatividade por meio de múltiplas subamostras e mistura adequada para reduzir variância (Whitaker, 2006).

A lógica de amostragem deve estar integrada a um sistema de gestão do perigo, no qual o objetivo analítico, o ponto de controle e a decisão pretendida determinam o desenho do plano, incluindo tamanho do lote, número de incrementos, frequência de coleta e critérios de aceitação, pois a amostragem não é apenas etapa técnica, mas componente crítico do sistema de verificação e de melhoria contínua (FAO, 2001).

Planos consistentes também precisam considerar que diferentes matrizes demandam estratégias distintas, já que ingredientes com maior granulometria variável, presença de pó, umidade residual ou alto teor de gordura podem dificultar homogeneização e moagem, e por isso recomendações de boas práticas enfatizam procedimentos padronizados de coleta e preparação de amostras para reduzir vieses e garantir rastreabilidade (Codex Alimentarius Commission, 2014).

A representatividade analítica depende ainda da etapa em que se coleta, porque amostras no recebimento refletem risco por lote, enquanto amostras em processo podem refletir mistura e diluição, e a escolha do ponto deve ser coerente com o que se pretende controlar, evitando decisões com base em amostras de conveniência, o que frequentemente compromete a capacidade de correlacionar resultados com desempenho e com ações corretivas efetivas (Turner, 2015).

A evolução de práticas laboratoriais reforça que incertezas se iniciam antes do ensaio instrumental, pois moagem, subamostragem e preparo podem ser fontes relevantes de erro, e abordagens modernas destacam que a qualidade da amostragem e do preparo precisa ser tratada como parte do método, com validação e documentação, sob pena de resultados tecnicamente corretos, porém inadequados para decisões de gestão (Tittelmier, 2021).

4.3.2 AMOSTRAGEM DO GRÃO DE MILHO NA INDÚSTRIA

Grãos avariados são aqueles que apresentam defeitos como ardidos, chochos ou imaturos, fermentados, germinados, gessados e mofados.

Ardidos: grãos totalmente escurecidos por calor, umidade ou fermentação, incluindo os queimados.

Chochos ou imaturos: grãos sem massa interna e enrugados por desenvolvimento incompleto (exceto grãos pequenos normais).

Fermentados: apresentam escurecimento parcial causado por fermentação ou calor; grãos parcialmente queimados também se enquadram nessa categoria.

Germinados: possuem início visível de germinação.

Gessados: apresentam alteração na cor natural, com aspecto esbranquiçado e endosperma farináceo.

Mofados: apresentam presença visível de fungos ou coloração esverdeada/azulada no germe.

No recebimento da carga, deve-se solicitar a abertura total da carroceria, registrar a placa no sistema e verificar o peso em toneladas. A amostragem deve ser realizada com sonda conforme a Instrução Normativa nº 60/2011 (MAPA), obedecendo os seguintes critérios:

- Até 15 toneladas: 6 pontos aleatórios.
- Entre 15 e 30 toneladas: 8 pontos.
- Acima de 30 toneladas (bi-trem): 11 pontos.

Após a coleta, a amostra deve ser descarregada, garantindo que não haja retenção de impurezas no tubo coletor, abrindo e fechando a válvula de ar antes de prosseguir.

4.3.3 MÉTODOS RÁPIDOS (TRIAGEM): TESTES IMUNOLÓGICOS

Testes imunológicos são amplamente utilizados como triagem por oferecerem rapidez, custo menor e aplicação em rotina, permitindo identificar lotes suspeitos e direcionar ações de segregação, porém sua natureza baseada em anticorpos impõe limitações relacionadas a reatividade cruzada, faixa dinâmica e influência da matriz, o que exige entendimento claro do propósito do ensaio e de sua capacidade de decisão (Turner, 2015).

Um dos testes rápidos mais comuns nas condições de campo e indústria é o ELISA, utilizado para ingredientes e dietas completas. Ele pode fornecer estimativas úteis para monitoramento.

O teste ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) é um exemplo de método usado para verificar a presença e expressão de proteínas transgênicas no milho. Ele funciona como um detector de "sim ou não" para a proteína de interesse, no contexto do milho transgênico. É considerada uma metodologia mais barata e rápida, realizada em menos etapas e utilizando apenas o anticorpo conjugado à enzima, porém é menos sensível que os demais métodos, principalmente quando o antígeno possui baixa expressão (Paulino, 2021)

Técnicas mais robustas como a cromatografia líquida são amplamente empregadas com resultados mais precisos e exatos porque levam em consideração efeitos de matriz na quantificação.

Diferenças entre os resultados do método ELISA e do método de cromatografia líquida podem ocorrer devido a seletividade do método cromatográfico e das variações na extração do analito, de modo que a triagem deve ser interpretada como ferramenta de gerenciamento de risco e não como equivalência automática a resultados confirmatórios, sobretudo quando decisões econômicas relevantes dependem do resultado número (Ahn, 2023).

Tiras e testes rápidos, como ELISA e testes de fluxo lateral, aumentam significativamente a agilidade da triagem no recebimento e em pontos críticos do processo. Isso ocorre pela praticidade de implementação, pela necessidade reduzida de treinamento do corpo técnico e pela rapidez na obtenção dos resultados, facilitando decisões imediatas, como a liberação ou não da carga (Tittelmier, 2021).

Entretanto, esses métodos exigem rigorosa padronização das etapas de extração, controle de temperatura, leitura e rastreabilidade, pois pequenas variações operacionais podem impactar diretamente o resultado. Atualizações recentes na análise de micotoxinas reforçam que a confiabilidade dos métodos rápidos depende da validação específica para cada matriz e de critérios bem definidos que indiquem quando a confirmação por técnicas instrumentais é necessária (Tittelmier, 2021).

A aplicação de triagem deve estar conectada a um plano de ação, pois o valor prático do teste rápido está em permitir intervenções oportunas, como segregação, ajustes de formulação, direcionamento de lotes para categorias menos sensíveis ou acionamento de aditivos, e para isso é essencial que limites internos e critérios de liberação sejam baseados em risco por espécie e em histórico de desempenho, não apenas em conveniência operacional (Bryden, 2012).

Em cenários de mitigação e avaliação de tratamento, métodos rápidos podem ser usados para monitoramento de tendência, mas a comparação entre resultados de triagem e cromatografia pode revelar discrepâncias quando há formas modificadas ou interferentes, e por isso estudos que confrontam ELISA e LC-MS/MS reforçam a necessidade de protocolos harmonizados e da definição prévia de como resultados divergentes serão tratados na decisão de processo (Ferreira, 2025).

A Tabela 1 indica um comparativo sobre métodos de detecção e quantificação de micotoxinas em alimentos sólidos e rações reforça que a diversidade de micotoxinas exige técnicas complementares. O ELISA é útil para screening inicial, mas o LC-MS/MS é indispensável para análises confirmatórias e conformidade regulatória (Springer Nature, 2023):

Tabela 1 – Comparativo entre os métodos

Método	Vantagens	Limitações	Aplicabilidade
ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay)	Rápido, de baixo custo, permite triagem em larga escala.	Menor especificidade, pode gerar falsos positivos/negativos, não detecta múltiplas micotoxinas com precisão.	Ideal para screening inicial em fábricas de ração e cooperativas.
LC-MS/MS (Cromatografia Líquida acoplada à Espectrometria de Massas em Tandem)	Altíssima sensibilidade e especificidade, detecta múltiplas micotoxinas simultaneamente, considerado “padrão ouro”.	Alto custo, necessidade de infraestrutura laboratorial avançada e pessoal especializado.	Mais adequado para laboratórios de referência e análises confirmatórias.

4.3.4 ANÁLISE TESTE ELISA PARA LIBERAÇÃO DA CARGA DE MILHO

Na etapa de classificação, a coleta e a análise das amostras dos fornecedores são realizadas por meio do kit ELISA, conforme mostra a Figura 3, para detecção de aflatoxinas, seguindo rigorosamente as orientações estabelecidas no procedimento interno.

O resultado é considerado negativo quando, após a execução do teste, são visualizadas duas linhas na fita reagente, indicando que a concentração de aflatoxina está abaixo de 20 ppb. Por outro lado, a presença de apenas uma linha caracteriza resultado positivo, sinalizando que o nível de aflatoxina é superior a 20 ppb e, portanto, a carga deve ser reprovada.

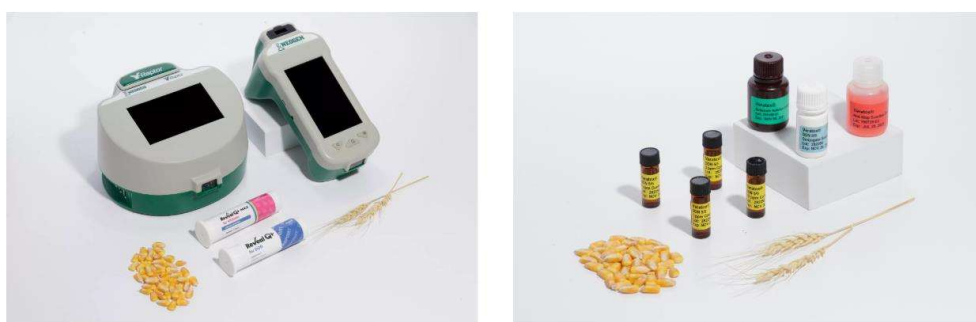


Figura 3

Fonte: NEOGEN. Mycotoxin Handbook.

Disponível em: <<https://www.neogen.com/pt/latam/neocenter/resources/mycotoxin-handbook/#form>>.

Acesso em: 27 fev. 2026.

4.3.5 MÉTODOS CONFIRMATÓRIOS: CROMATOGRAFIA (HPLC/LC-MS/MS)

A cromatografia líquida, em suas diferentes configurações, é o pilar confirmatório por oferecer seletividade e capacidade de quantificar analitos em níveis baixos, e a combinação com espectrometria de massas amplia a especificidade para múltiplas micotoxinas, permitindo painéis multirresíduo e melhor controle de interferências, embora exija infraestrutura, padrões e validação robusta para matrizes complexas de ração (Turner, 2015).

O avanço de LC-MS/MS tem permitido ampliar escopo, reduzir limites e incorporar estratégias para lidar com efeitos de matriz, mas continua sendo necessário gerenciar desafios como supressão ou realce de sinal, estabilidade de analitos e presença de formas conjugadas, e por isso revisões recentes destacam que a qualidade da quantificação depende de calibração apropriada, uso de padrões internos quando aplicável e documentação de incerteza (Tittelmier, 2021).

Na prática de controle de ingredientes e dietas, comparações entre HPLC e ensaios imunológicos mostram que resultados confirmatórios tendem a ser mais específicos, mas podem diferir por diferenças de extração e por alvo analítico, e essa distinção é crucial para decisões de liberação, pois o método confirmatório deve servir como referência quando há conflitos, especialmente em ingredientes críticos para suínos e aves (Ahn, 2023).

Quando a cromatografia é aplicada para avaliar eficácia de processos de descontaminação ou desativação, a escolha do método influencia a interpretação, já que nem sempre a redução do sinal em triagem representa redução real do analito alvo ou de sua toxicidade, e estudos que confrontam ELISA e LC-MS/MS em contextos de tratamento reforçam que o método confirmatório é essencial para sustentar conclusões e orientar recomendações (Ferreira, 2025).

Em cadeias com coprodutos de cereais, métodos confirmatórios multirresíduo são particularmente relevantes para capturar perfis complexos de contaminação, pois diferentes frações podem concentrar micotoxinas específicas, e a capacidade de medir múltiplos analitos em uma mesma corrida apoia programas de monitoramento que refletem melhor a realidade industrial, reduzindo risco de subestimativa quando apenas um marcador é analisado (Pinotti, 2016).

4.4 INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS: LIMITES, INCERTEZA E MATRIZ

Interpretar resultados requer compreender que limites de detecção e quantificação são propriedades do método e da matriz, e que a incerteza envolve desde amostragem até preparo e instrumentação, de modo, que números analíticos devem ser acompanhados de contextos sobre variabilidade e comparabilidade, especialmente quando decisões de segregação, reprocessamento ou descarte implicam custos significativos (Tittelmier, 2021).

Diferenças entre métodos podem ocorrer sem que haja “erro”, pois a seletividade analítica, o alvo do ensaio e interferentes de matriz podem alterar resultados, e isso reforça que a interpretação deve considerar validação, linearidade, recuperação e especificidade na matriz real, além de critérios de aceitação pré-definidos, evitando comparações simplistas entre triagem e confirmação como se fossem medições idênticas (Turner, 2015).

A heterogeneidade do lote amplifica a variância e pode dominar a incerteza total, razão pela qual resultados de uma única amostra, mesmo analisada com técnica sofisticada, podem não representar o lote, e por isso a interpretação deve integrar desenho amostral, massa total,

número de incrementos e histórico de lotes, tratando resultados como estimativas condicionadas à representatividade do material analisado (Whitaker, 2006).

No controle oficial e corporativo, limites e referências regulatórias orientam ações, mas sua aplicação exige atenção à categoria animal e à matriz, e diretrizes sobre substâncias indesejáveis em alimentação animal fornecem o arcabouço para definir tolerâncias e ações de conformidade, lembrando que limites legais não substituem análise de risco interno quando há espécies mais sensíveis ou quando concorrência é provável (União Europeia, 2002).

No âmbito nacional, instrumentos normativos, bem como, critérios de fiscalização e conformidade influenciam na tomada de decisão em fábricas e unidades de recebimento, impondo necessidade de rastreabilidade e evidências documentais para demonstrar controle, e isso implica que a interpretação de resultados deve ser acompanhada de registros de amostragem, métodos, lotes e ações corretivas, alinhando qualidade analítica a governança do processo (Brasil, 2025).

4.5 IMPACTOS NA SAÚDE ANIMAL E NO DESEMPENHO PRODUTIVO, ESTRATÉGIAS DE PREVENÇÃO E CONTROLE

4.5.1 DIAGNÓSTICO DE MICOTOXICOSE EM ANIMAIS

O diagnóstico de micotoxicose é desafiador porque sinais clínicos podem ser inespecíficos e subclínicos, exigindo integração entre histórico alimentar, origem e qualidade dos ingredientes, desempenho do lote, achados clínicos e confirmação analítica da ração, lembrando que o risco se expressa frequentemente por queda de ganho de peso, piora de conversão e maior susceptibilidade a doenças, mais do que por quadros patognomônicos (Bryden, 2012).

A avaliação clínica deve considerar mecanismos e efeitos típicos de toxinas específicas, como anorexia e alterações imunológicas associadas ao DON, que podem se manifestar como redução de consumo, piora de resposta vacinal e maior variabilidade de desempenho, e essa lógica ajuda a orientar hipóteses e a priorizar quais analitos investigar, especialmente quando a dieta contém cereais e subprodutos com risco conhecido (Pestka, 2007).

Em ruminantes, parte do risco depende de biotransformação ruminal, mas isso não elimina a possibilidade de efeitos adversos, e a ocorrência de “carry-over” em leite em situações relacionadas a aflatoxinas reforça que o diagnóstico deve incluir avaliação da dieta, do ambiente e de parâmetros produtivos, além de considerar que alterações podem ser discretas, porém economicamente relevantes em sistemas leiteiros (Fink-Gremmels, 2008).

A incorporação de biomarcadores e parâmetros sanguíneos pode apoiar o manejo de risco em rebanhos, pois alterações bioquímicas, status reprodutivo e indicadores de saúde de úbere podem sinalizar estresse fisiológico compatível com a exposição, e o monitoramento longitudinal ajuda a distinguir tendências associadas à dieta de eventos infecciosos comuns, oferecendo suporte adicional à tomada de decisão quando a evidência analítica é limitada (Falkauskas, 2022).

A confirmação prática depende do vínculo entre evidência de contaminação em ingredientes ou ração e a evolução clínica ou produtiva após intervenção. As orientações técnicas enfatizam a necessidade de investigar lote, armazenagem, histórico de recebimento e pontos de possível contaminação cruzada, pois intervenções como troca de lote, segregação e melhoria de armazenamento podem produzir resposta zootécnica que fortalece a hipótese diagnóstica (Brasil, s.d.).

4.5.2 MECANISMOS DE TOXICIDADE

Mecanismos de toxicidade variam por micotoxina, e no caso do DON destacam-se efeitos gastrointestinais e imunomodulatórios que se relacionam à queda de consumo, alterações de barreira intestinal e mudanças em sinalização inflamatória, o que explica perdas de desempenho mesmo com exposições moderadas e reforça que a toxicidade não se limita a lesões evidentes, mas inclui perturbações funcionais e metabólicas (Pestka, 2007).

A toxicidade hepática é central para várias micotoxinas por envolver biotransformação e estresse oxidativo, e o fígado funciona como órgão sentinela, no qual alterações histopatológicas e bioquímicas podem ocorrer antes de sinais externos, o que se reflete em pior aproveitamento de nutrientes e maior vulnerabilidade a outros desafios, especialmente em sistemas intensivos nos quais a margem de segurança fisiológica é menor (Bennett, 2003).

Algumas micotoxinas apresentam relevância carcinogênica e genotóxica, e embora o foco em produção animal muitas vezes seja desempenho, a compreensão desses mecanismos é importante para justificar medidas preventivas robustas e para apoiar políticas de redução de exposição, pois efeitos de longo prazo e riscos de transferência para produtos podem tornar o controle um requisito sanitário e comercial, além de zootécnico (Iarc, 2012).

Os efeitos renais e imunológicos podem ser intensificados em situações de coexposição, porque interações toxicológicas podem alterar o metabolismo, a excreção e a resposta inflamatória, criando um cenário em que níveis considerados “moderados” isoladamente resultam em impacto maior quando combinados, e isso sustenta a necessidade de estratégias de

controle voltadas ao perfil total de contaminação e não apenas a um marcador isolado (Grenier, 2011).

Em bovinos, a expressão de toxicidade é modulada por processos ruminais e pelo estado fisiológico, mas micotoxinas podem afetar a produção e saúde, e a discussão de mecanismos inclui alterações hepáticas e imunológicas e, em certos casos, riscos de excreção em leite, o que reforça o enfoque preventivo em dietas de alta produção e o monitoramento de ingredientes susceptíveis e de lotes de maior risco (Fink-Gremmels, 2008).

4.5.3 EFEITOS SUBCLÍNICOS: PRODUTIVIDADE, CONVERSÃO ALIMENTAR, FERTILIDADE E IMUNIDADE

Efeitos subclínicos são os mais onerosos porque se traduzem em queda discreta, porém contínua, de peso, conversão e uniformidade de lote, além de maior custo sanitário e menor previsibilidade produtiva, e como esses efeitos são multifatoriais e se confundem com outros problemas, eles exigem gestão de risco baseada em prevenção e em indicadores de processo, não apenas em reação a surtos (Bryden, 2012).

A presença concomitante de micotoxinas aumenta a probabilidade de efeitos subclínicos, pois interações podem comprometer imunidade e desempenho de maneira não linear, afetando resposta a vacinação, resistência a patógenos e integridade intestinal, e isso explica por que dietas com múltiplas contaminações podem produzir perdas mesmo quando cada toxina individual está abaixo de referências, reforçando a abordagem por perfil de risco (Grenier, 2011).

A dinâmica de ocorrência e variabilidade entre safras contribui para instabilidade de desempenho ao longo do tempo, porque o nível de exposição muda com o clima e a origem dos ingredientes, e esse comportamento sazonal pode coincidir com períodos críticos de produção. Desse modo, exigindo programas de monitoramento que antecipem riscos e permitam ajustes rápidos na compra, na formulação e na estratégia de mitigação, evitando que perdas se acumulem sem diagnóstico claro (Rodrigues, 2012).

Em cadeias com coprodutos de cereais, efeitos subclínicos podem ser intensificados por concentração de micotoxinas em determinadas frações, elevando o risco em formulações que buscam eficiência econômica, e isso requer equilíbrio entre custo e segurança, com especificações mais rígidas para ingredientes de maior risco e uso de dados analíticos para direcionar inclusão, especialmente quando há espécies ou categorias altamente sensíveis (Pinotti, 2016).

A dimensão global do problema e sua recorrência sustentam que efeitos subclínicos não são exceção, mas, componente esperado do risco quando não há controle robusto, e por isso estratégias de gestão devem incorporar cultura de prevenção, indicadores de qualidade e tomada de decisão baseada em dados, reconhecendo que as perdas pequenas por animal se somam em escala e afetam competitividade e segurança do abastecimento (Schatzmayer, 2013).

4.5.4 IMPACTOS POR ESPÉCIE (COM SUBTÓPICOS PADRONIZADOS)

Em frangos de corte, a exposição por dieta se relaciona a desempenho e saúde intestinal, com efeitos observáveis em ganho e conversão de peso, alterações morfológicas de intestino e fígado. As estratégias como uso de adsorventes podem mitigar impactos, sendo relevante avaliar sensibilidade da categoria, indicadores histológicos e a resposta imune como parte de um quadro padronizado que inclua fonte provável, sinais, lesões e resultados produtivos (Azghadi, 2024).

Em suínos, a sensibilidade ao DON é particularmente importante, pois a exposição costuma se manifestar por redução de consumo e variabilidade de desempenho, e a gestão por espécie deve padronizar a avaliação da fonte do ingrediente, histórico de lote, sinais de anorexia, efeitos em conversão e necessidade de confirmação analítica. Todavia, as diferenças metodológicas entre triagem e cromatografia podem influenciar decisões de liberação de dietas (Ahn, 2023).

Em bovinos, a avaliação por espécie deve considerar que a dieta e o estado fisiológico modulam efeitos, e que há risco de impacto em produção e saúde com a necessidade de atenção a possíveis repercussões no leite em situações relacionadas a aflatoxinas. De acordo com o quadro padronizado deve-se incluir a origem da contaminação, a categoria de risco, as alterações produtivas e as medidas de controle em ingredientes e armazenamento (Fink-Gremmels, 2008).

Em vacas leiteiras, além do desempenho, devem ser observados parâmetros reprodutivos e indicadores bioquímicos que podem sinalizar risco, e a padronização por espécie pode integrar dados de produção, reprodução, saúde de úbere e tendências laboratoriais. Esse controle permite decisões mais consistentes sobre monitoramento e mitigação, especialmente quando a contaminação é intermitente e a resposta do rebanho é gradual (Falkauskas, 2022).

Para outras espécies e categorias produtivas, como aves reprodutoras, equinos ou sistemas com dietas complexas, a avaliação deve manter a lógica padronizada, descrevendo

fonte provável, sensibilidade da categoria, manifestações clínicas e subclínicas e impactos econômicos, lembrando que a variabilidade de resposta é grande e que o risco depende tanto do nível analítico, quanto do contexto sanitário e nutricional em que a exposição ocorre (Bryden, 2012).

4.6 MITIGAÇÃO E CONTROLE

4.6.1 BOAS PRÁTICAS AGRÍCOLAS (BPA) E PÓS-COLHEITA (SECAGEM/ARMAZENAMENTO)

Boas práticas agrícolas voltadas ao controle de micotoxinas incluem reduzir estresses e danos ao grão, manejar pragas, colher no momento adequado e evitar permanência prolongada no campo sob umidade elevada, e a efetividade dessas medidas depende de sua aplicação sistemática, pois a prevenção mais eficiente é aquela que impede a formação da toxina ao reduzir infecção e condições favoráveis ainda antes da colheita (Codex Alimentarius Commission, 2014).

Na pós-colheita, secagem rápida e armazenamento sob umidade e temperatura controladas são medidas críticas, e a capacitação em rotinas de controle na fazenda destaca que pequenas melhorias, como manutenção de estruturas, controle de infiltrações, ventilação adequada e limpeza, podem reduzir significativamente o risco de crescimento fúngico e de incremento de toxinas, sobretudo quando a armazenagem se estende por períodos longos (FAO, 2007).

A abordagem de controle se fortalece quando integrada aos sistemas estruturados, requisitos de monitoramento, registros e ações corretivas, bem como, a lógica de HACCP aplicada ao risco por micotoxinas permite transformar recomendações gerais em rotinas verificáveis, alinhando controle de umidade, inspeção de grãos e decisão de segregação a pontos críticos claramente estabelecidos (FAO, 2001).

Em cadeias longas, as boas práticas pós-colheita precisam considerar logística e transbordos, porque variações de temperatura, condensação e contaminação cruzada podem ocorrer fora da fazenda, e isso significa que o controle efetivo exige continuidade de práticas entre atores, incluindo transporte limpo e seco, monitoramento de condições de armazenagem intermediária e critérios de aceitação no recebimento industrial (Bryden, 2012).

A implantação de padrões de qualidade e conformidade também é orientada por exigências normativas que estimulam documentação e rastreabilidade, reforçando que BPA e

pós-colheita não são apenas recomendações técnicas, mas requisitos de governança, os quais precisam ser internalizados em contratos, especificações e auditorias, especialmente para matérias-primas de maior risco histórico e impacto na dieta final (Brasil, 2025).

4.6.2 BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO (BPF) EM FÁBRICAS DE RAÇÃO

Em fábricas de ração, Boas Práticas de Fabricação (BPF) aplicadas ao risco por micotoxinas começam no recebimento, com a qualificação dos fornecedores, os critérios de descarte ou segregação, os procedimentos de amostragem e de retenção de contraprovas, pois a variabilidade entre lotes exige que a gestão de risco seja operacional e documentada, sustentando decisões rápidas sem comprometer a rastreabilidade e conformidade. (Brasil, 2025).

A padronização de BPF também se relaciona a requisitos de controle de substâncias indesejáveis, pois diretrizes regulatórias orientam a necessidade de prevenir contaminação cruzada, manter higiene de equipamentos e garantir que processos de mistura e transporte interno não redistribuam contaminantes para lotes inicialmente conformes, o que reforça a importância de fluxos separados, limpeza validada e gestão de resíduos. (União Europeia, 2002).

A integração de BPF com uma lógica de pontos críticos melhora a efetividade, porque transforma práticas gerais em controles com limites operacionais, responsabilidades e ações corretivas, abrangendo desde a inspeção de silos e o controle de umidade até a gestão de devoluções e os reprocessos, com foco em reduzir variabilidade e evitar que falhas de processo mascarem a origem de contaminações (FAO, 2001).

Na rotina industrial, as BPF precisam ser complementadas por um sistema de monitoramento baseado em risco que defina a frequência de análises, os critérios internos de liberação e gatilhos de intervenção, priorizando ingredientes historicamente mais susceptíveis e períodos sazonais de maior pressão de contaminação. Assim, a realização das BPF de controle analítico deixam de ser apenas no momento reativo, mas integrado, desde o planejamento de compras, à formulação e à gestão de estoques, reduzindo a probabilidade de diluição inadvertida de lotes problemáticos em misturas maiores (Bryden, 2012).

Além disso, recomenda-se que a fábrica incorpore rotinas de capacitação e verificação operacional voltadas à prevenção de crescimento fúngico e à redução de contaminação cruzada, como inspeções programadas de estruturas, controle de poeira e resíduos finos, manutenção de sistemas de aeração e prevenção de pontos quentes. Uma vez que essas medidas forem

sistematizadas e registradas, reforçam a consistência do processo e se alinham às diretrizes de prevenção e redução de micotoxinas ao longo da cadeia, especialmente em etapas de armazenamento e manuseio interno (Codex Alimentarius Commission, 2014).

4.6.3 *CONTROLE FÍSICO E QUÍMICO*

Estratégias físicas de controle incluem limpeza, peneiramento, segregação e remoção de frações danificadas, pois micotoxinas frequentemente se concentram em partículas quebradas, finos e grãos visualmente comprometidos, e técnicas de separação por densidade podem reduzir a carga total quando bem aplicadas, embora não eliminem totalmente o risco, exigindo validação e integração com monitoramento analítico (Čolović, 2019).

O controle físico é mais efetivo quando combinado as medidas preventivas e as rotinas operacionais, como limpeza periódica de silos e equipamentos, controle de poeira e inspeção de pontos de acúmulo, e manuais de controle na fazenda enfatizam que a higiene e a manutenção de estruturas são determinantes para evitar a contaminação cruzada e o crescimento fúngico, especialmente em ambientes úmidos e com armazenagem prolongada (FAO, 2007).

Intervenções químicas e tecnológicas incluem tratamentos específicos e uso de agentes que reduzam a biodisponibilidade, mas sua aplicação deve considerar espécie, matriz e objetivo, e o controle efetivo exige definir quando segregar, reprocessar e direcionar os lotes para usos menos sensíveis, reconhecendo que a mitigação não substitui a prevenção e que as decisões precisam equilibrar custo, segurança e desempenho (Bryden, 2012).

A lógica de controle físico e químico também deve estar alinhada aos programas preventivos, garantindo que as intervenções não induzam falsa sensação de segurança, e os códigos de prevenção recomendam que medidas corretivas sejam acompanhadas de monitoramento, registros e revisão de causas raízes, evitando repetição de falhas de colheita, transporte ou armazenagem que geraram o problema inicial (Codex Alimentarius Commission, 2014).

Em cadeias que utilizam coprodutos, controles físicos são relevantes porque frações podem concentrar toxinas e porque lotes de diferentes origens podem ser misturados, e por isso estratégias como especificações por ingrediente, segregação por risco e ajustes de inclusão em formulação devem ser apoiadas por dados de monitoramento e por entendimento do comportamento de micotoxinas durante o processamento e armazenamento (Pinotti, 2016).

4.7 ADITIVOS E TECNOLOGIAS DE MITIGAÇÃO DE MITOXINAS

Aditivos mitigadores incluem adsorventes, biotransformadores e outros agentes com diferentes modos de ação, e revisões técnicas que destacam a eficácia depende da seletividade por micotoxina, dose, matriz e condições de uso, além de exigir avaliação de segurança e de possíveis impactos nutricionais, o que implica que a seleção deve ser baseada em evidências e alinhada ao perfil de risco do sistema (Boudergue, 2009).

O uso de adsorventes em dietas contaminadas pode reduzir impactos em desempenho e em parâmetros de saúde, mas os resultados dependem do tipo de toxina e da interação com a matriz. As evidências em frangos mostram melhoria de desempenho e de alterações patológicas associadas à aflatoxina quando há intervenção adequada, reforçando que a mitigação deve ser acompanhada de monitoramento e de controle de ingredientes para evitar dependência exclusiva do aditivo (Azghadi, 2024).

Tecnologias de descontaminação e de processamento podem reduzir a carga em determinados contextos, mas devem ser avaliadas quanto à efetividade real, ao risco de subprodutos e à aplicabilidade industrial, e revisões sobre descontaminação reforçam que tratamentos físicos e químicos precisam ser validados para cada matriz, considerando que a estabilidade das micotoxinas e a heterogeneidade do lote podem limitar resultados quando não há boa amostragem e controle de processo (Čolović, 2019).

A tomada de decisão sobre a mitigação deve ser integrada à gestão de risco da cadeia, pois o melhor uso de aditivos e tecnologias ocorre quando há metas claras, monitoramento de desempenho, critérios de acionamento e avaliação econômica, reconhecendo que mitigação é ferramenta para reduzir dano residual e não um substituto para a secagem adequada, a armazenagem correta e as especificações de compra, que seguem como pilares do controle (Bryden, 2012).

A seleção de tecnologias também se beneficia de uma visão de ocorrência global, porque perfis regionais de micotoxinas mudam e exigem soluções adaptadas, e dados de ocorrência sustentam que programas de mitigação devem ser flexíveis e baseados em dados locais e sazonais, evitando padronizações rígidas que não respondem ao perfil real de contaminação e às categorias animais atendidas (Schatzmayr, 2013).

A ocorrência de diferentes micotoxinas em alimentos à base de milho tem sido amplamente investigada no Brasil. Em um estudo realizado com 121 amostras comercializadas na cidade de Maringá (PR), foram detectadas aflatoxinas B1 (AFB1), B2 (AFB2), G1 (AFG1),

G2 (AFG2), ocratoxina A (OA) e zearalenona (ZEA). Entre os resultados, três amostras (2,5%) apresentaram AFB1 em concentrações entre 8 e 59 ppb, duas amostras (1,7%) foram positivas para AFB2 (2,4 ppb), uma amostra (0,8%) para OA (64 ppb) e outra (0,8%) para ZEA (448 ppb). A maior frequência positiva e a maior concentração de AFB1 foram observadas em milho de pipoca (8,3%, 59 ppb) (Sekiyama et al., 2005).

Em outro levantamento, 19 cultivares de milho das Estações Experimentais do Instituto Agrônômico de São Paulo foram avaliados quanto à presença de fumonisinas. Todos os cultivares apresentaram contaminação, com níveis variando de 1,63 ppm a 25,69 ppm, resultando em média de 5,61 ppm para Fumonisina B1. Para Fumonisina B2, os valores oscilaram entre 0,38 ppm e 8,60 ppm, com média de 1,86 ppm (Camargos et al., 2000).

Além disso, tricotecenos como deoxinivalenol (DON), nivalenol (NIV), diacetoxiscirpenol (DAS) e as toxinas T2 e HT2 foram analisados em 78 amostras de produtos à base de milho comercializados em São Paulo. Apenas duas amostras apresentaram contaminação: uma de milho moído, com 555 ppb de T2 e 767 ppb de HT2, e outra de farinha de milho, que apresentou traços de DON e NIV. O DAS não foi detectado em nenhuma das amostras avaliadas (Milanez et al., 2006).

Atualmente, a análise de micotoxinas apresenta diversos desafios que ainda não foram definitivamente resolvidos. Um dos problemas mais urgentes que afetam os consumidores hoje é a presença de micotoxinas na ração animal, visto que estas podem ser transferidas para os tecidos e fluidos biológicos (carne, leite, ovos) de animais alimentados com ração contaminada destinada ao consumo humano (Pitt, 2009).

Em alguns animais, as micotoxinas sofrem processos metabólicos que as transformam em outros compostos de toxicidade variável, como mencionado anteriormente no caso de aflatoxina M1, um metabolito da B1 passa para o leite (Battacone, 2006).

Então, como a ração dada para os animais constitui o primeiro componente da cadeia alimentar, para termos alimentos seguros dependerá do cumprimento, por parte dos produtores, da legislação aplicável e da utilização, pelos agricultores, de ração feita de modo seguro, tanto em termos de composição como também o risco de contaminação durante o armazenamento.

Além das boas práticas de fabricação destinadas a reduzir o efeito das micotoxinas na alimentação animal, também pode-se usar compostos sequestrantes ou detoxificantes “considerados uma nova categoria de aditivos” (Boudergue, C. et al. 2009).

Esses compostos minimizam a absorção de micotoxinas no trato gastrointestinal do animal (adsorventes) ou modificam sua estrutura (biotransformações). Os primeiros (vários

tipos de argilas e silicatos) são mais usados e testados do que os últimos (enzimas ou microrganismos capazes de detoxificar algumas micotoxinas).

Os adsorventes de ação física/química funcionam como uma "esponja", ligando-se às toxinas para impedir sua absorção pelo organismo. As argilas (Bentonitas, Montmorilonitas e HSCAS) são altamente eficazes contra Aflatoxinas, sendo as mais utilizadas e testadas. Já a parede de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*), que são constituídas por beta-glucanos e glucomananos, capturam toxinas mais complexas como Zearalenona e Ocratoxina A. O carvão Ativado é potente, porém pouco seletivo (pode absorver nutrientes se não for bem dosado) (Huwig,2001).

Os agentes biotransformadores têm uma ação biológica e/ou enzimáticas que modificam a estrutura química da micotoxina, transformando-a em metabólitos não tóxicos. As bactérias e leveduras específicas conseguem degradam as toxinas difíceis de "prender", como o DON (Vomitoxina) e a Zearalenona. Já as enzimas purificadas atuam como tesouras biológicas (ex: Fumonisin esterase), quebrando as moléculas de Fumonisina antes que causem danos (Huwig,2001).

5 CONCLUSÃO

A pesquisa bibliográfica realizada, bem como, a análise das referências mostra a relevância de compreender que as micotoxinas configuram um risco sistêmico e multifatorial para a produção animal, uma vez que sua ocorrência pode se iniciar ainda no campo, intensificar-se durante o armazenamento e repercutir ao longo de toda a cadeia produtiva. Esse caráter transversal reforça a necessidade de uma abordagem preventiva e integrada, capaz de atuar em diferentes etapas do processo produtivo.

No que se refere aos mecanismos de controle empregados nas indústrias, verificou-se que as estratégias baseadas em prevenção, no monitoramento contínuo e em ações corretivas nos pontos críticos constituem o eixo central do enfrentamento do problema. A adoção de Boas Práticas de Fabricação (BPF), o controle rigoroso das condições de armazenamento e a implementação de sistemas de gestão da segurança de alimentos, como a Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (HACCP), demonstram-se essenciais para reduzir a variabilidade, minimizar riscos e preservar a saúde animal e a qualidade dos produtos.

Quanto à eficácia das técnicas analíticas, evidenciou-se que métodos rápidos desempenham papel estratégico na triagem e tomada de decisões imediatas, enquanto técnicas instrumentais de maior sensibilidade e especificidade garantem a precisão quantitativa e confiabilidade confirmatória. Destaca-se que a representatividade da amostragem, a padronização dos procedimentos e o controle da incerteza analítica são determinantes para a robustez dos resultados e para a adequada gestão do risco.

Em relação às ferramentas de mitigação na ração animal, constatou-se que o uso de adsorventes e tecnologias de descontaminação podem reduzir significativamente os efeitos tóxicos, embora sua eficácia esteja diretamente relacionada ao tipo de micotoxina, à matriz alimentar e às condições de aplicação. Métodos biológicos emergem como alternativas promissoras, porém ainda demandam maior validação científica e padronização para ampla aplicação industrial.

Dessa forma, conclui-se que os objetivos propostos foram plenamente alcançados, evidenciando que o enfrentamento das micotoxinas exige uma abordagem integrada, fundamentada na prevenção, no monitoramento analítico confiável e em estratégias eficazes de mitigação, respaldadas por regulamentações claras e atualizadas. A gestão do risco por micotoxinas deve ser compreendida como componente estratégico da produtividade, da sustentabilidade e da segurança alimentar, especialmente em sistemas intensivos e na

bovinocultura, nos quais efeitos subclínicos podem comprometer o desempenho zootécnico e gerar impactos econômicos expressivos.

Por fim, mostra-se necessário que pesquisas futuras foquem na validação de tecnologias biológicas de detoxificação, no desenvolvimento de métodos analíticos mais acessíveis e a integração de ferramentas digitais para a rastreabilidade e o monitoramento em tempo real, fortalecendo ainda mais a segurança da cadeia produtiva.

6 REFERÊNCIAS

AHN, Jong Young; CHEONG, Dahyun; JEONG, Jin Young; KIM, Beob Gyun. Deoxynivalenol concentrations in feed ingredients and swine diets measured by enzyme-linked immunosorbent assay and high-performance liquid chromatography. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 52, e20220155, 2023.

AZGHADI, M. A. et al. Effect of adding a toxin binder to the aflatoxin-infected diet on growth performance, intestinal morphology, immune responses, and liver pathological changes of broilers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 26, n. 4, 2024.

ARROYO-MANZANARES, Natalia; HUERTAS-PÉREZ, José F.; GÁMIZ-GRACIA, Laura; GARCÍA-CAMPAÑA, Ana M. **Controle de micotoxinas em alimentos**. Boletim GRASEQA, n. 7, jan. 2014. Granada: Universidade de Granada, Departamento de Química Analítica, Grupo de Pesquisa FQM-302 – Qualidade em Química Analítica de Alimentos, ambiental e Clínica, 2014.

BENNETT, John W.; KLICH, Michael. Mycotoxins. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 16, n. 3, p. 497-516, 2003.

BOUDERGUE, C. et al. **Review of mycotoxin-detoxifying agents used as feed additives: mode of action, efficacy and feed/food safety**. EFSA Supporting Publications, n. EN-22, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Workshop micotoxinas e fungos em grãos e rações para animais**. Brasília, DF: MAPA, s.d.
BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Portaria SDA/MAPA nº 1.281, de 15 de maio de 2025**. Brasília, DF: MAPA, 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 60, de 22 de dezembro de 2011**. Aprova o Regulamento Técnico do Milho, definindo o padrão oficial de classificação do milho. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 23 dez. 2011.

BRYDEN, Wayne L. Mycotoxin contamination of the feed supply chain: implications for animal productivity and feed security. **Animal Feed Science and Technology**, v. 173, n. 1-2, p. 134-158, 2012.

ČOLOVIĆ, R. et al. Decontamination of mycotoxin-contaminated feedstuffs and compound feed. **Toxins**, v. 11, n. 11, art. 617, 2019.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. **Code of practice for the prevention and reduction of mycotoxin contamination in cereals (CXP 51-2003, rev.)**. Roma: FAO/WHO, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Manual on the application of the HACCP system in mycotoxin prevention and control**. Roma: FAO, 2001.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **On-farm mycotoxin control in food and feed grain**: training manual. Roma: FAO, 2007.

FALKAUSKAS, R. et al. Mycotoxin risk management for dairy cows by monitoring biochemical blood parameters, reproduction status and udder health. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 2022.

FERREIRA, J. M. et al. Deactivation of deoxynivalenol in wheat with ammonia gas and its effect on broiler performance: ELISA and LC-MS/MS comparison. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 2025.

FINK-GREMMELS, Johanna. Mycotoxins in cattle feeds and carry-over to dairy milk: a review. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v. 25, n. 2, p. 172-180, 2008.

GRENIER, Brigitte; OSWALD, Isabelle P. Mycotoxin co-contamination of food and feed: meta-analysis of publications describing toxicological interactions. **World Mycotoxin Journal**, v. 4, n. 3, p. 285-313, 2011.

HUWIG, A. et al. Mycotoxin-detoxifying agents: Clarification of compounds published as detoxifying agents. **Foods Additives and Contaminants**, v. 18, n. 3, p. 268-283, 2001.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). **Chemical agents and related occupations**. Lyon: IARC, 2012. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, v. 100F).

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Controle de micotoxinas em alimentos. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura> Acesso em: 25 fev. 2026.

MAZIERO, Maike Taís; BERSOT, Luciano dos Santos. **Micotoxinas em alimentos produzidos no Brasil**. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 89–99, 2010. ISSN 1517-8595.

PAULINO, W. E. **Desenvolvimento de protocolos de ELISA (enzyme-linked immunosorbent assay) para detecção de proteínas transgênicas CRY2A e VIP3A em milho (Zea mays L.)**. 2021. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Universidade Federal de Uberlândia), UFU, 2021.

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

PINOTTI, Luciano et al. Mycotoxin contamination in the EU feed supply chain: a focus on cereal byproducts. **Toxins**, v. 8, n. 2, art. 45, 2016.

RODRIGUES, Ines; NAEHRER, Karin. A three-year survey on the worldwide occurrence of mycotoxins in feedstuffs and feed. **Toxins**, v. 4, n. 9, p. 663-675, 2012.

SCHATZMAYR, Gerhard; STREIT, Elke. Global occurrence of mycotoxins in the food and feed chain: facts and figures. **World Mycotoxin Journal**, v. 6, n. 3, p. 213-222, 2013.

TITTELMIER, S. A. et al. Developments in mycotoxin analysis: an update for 2019-2020. **World Mycotoxin Journal**, v. 14, n. 1, p. 3-26, 2021.

TURNER, Nicholas W. et al. Analytical methods for determination of mycotoxins: an update (2009-2014). **Analytica Chimica Acta**, v. 901, p. 12-33, 2015.

UNIÃO EUROPEIA. **Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed**. Bruxelas: União Europeia, 2002.

UNIÃO EUROPEIA. **Commission Recommendation 2006/576/EC on the presence of deoxynivalenol, zearalenone, ochratoxin A, T-2 and HT-2 and fumonisins in products intended for animal feeding**. Bruxelas: União Europeia, 2006.

WHITAKER, T. B. Sampling foods for mycotoxins. **Food Additives & Contaminants**, v. 23, n. 1, p. 50-61, 2006.