

RISCOS DO ARMAZENAMENTO INADEQUADO DO MILHO: MICOTOXINAS E O COMPROMETIMENTO DA SAÚDE DOS BOVINOS

RISKS OF INADEQUATE CORN STORAGE: MYCOTOXINS AND THE COMPROMISE OF CATTLE HEALTH

RIESGOS DEL ALMACENAMIENTO INADECUADO DEL MAÍZ: MICOTOXINAS Y EL COMPROMISO DE LA SALUD BOVINA

Fernanda de Paula Pereira¹

Marcelo Cabral da Silva²

RESUMO: O armazenamento inadequado do milho representa um risco significativo para a saúde bovina devido ao desenvolvimento de fungos toxigênicos e produção de micotoxinas. Este artigo analisa os impactos dessa problemática mediante revisão bibliográfica sistemática, ancorada nos trabalhos de Prestes et al. (2019) e Silva et al. (2015). Identificou-se que condições como umidade superior a 14%, temperaturas elevadas e ventilação insuficiente favorecem a proliferação de *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*. As micotoxinas mais prevalentes no Brasil são fumonisinas (presentes em >90% das amostras), aflatoxinas (41,9% de contaminação), zearalenona, tricotecenos e ocratoxina. Seus efeitos em bovinos incluem imunossupressão, lesões hepáticas e renais, distúrbios reprodutivos e redução de produtividade. Conclui-se que a implementação de boas práticas de armazenamento, controle integrado e tecnologias emergentes são essenciais para mitigar os prejuízos à saúde animal e econômicos.

4677

Palavras-chave: Armazenamento de milho. Fungos toxigênicos. Micotoxinas. Saúde bovina. Segurança alimentar.

ABSTRACT: Inadequate corn storage poses significant risks to cattle health due to the development of toxigenic fungi and mycotoxin production. This article analyzes the impacts of this issue through a systematic literature review, grounded in the works of Prestes et al. (2019) and Silva et al. (2015). Conditions such as moisture above 14%, high temperatures, and insufficient ventilation were identified as favoring the proliferation of *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium*. The most prevalent mycotoxins in Brazil are fumonisins (present in >90% of samples), aflatoxins (41.9% contamination), zearalenone, trichothecenes and ochratoxin. Their effects on cattle include immunosuppression, hepatic and renal lesions, reproductive disorders and productivity reduction. The study concludes that implementing proper storage practices, integrated control and emerging technologies are essential to mitigate animal health and economic losses.

Keywords: Corn storage. Toxigenic fungi. Mycotoxins. Cattle health. Food safety.

¹ Discente, Centro Universitário Maurício de Nassau.

² Orientador: Prof.^o Dr. Centro Universitário Maurício de Nassau.

RESUMEN: El almacenamiento inadecuado del maíz representa un riesgo significativo para la salud bovina debido al desarrollo de hongos toxigénicos y producción de micotoxinas. Este artículo analiza los impactos de esta problemática mediante revisión bibliográfica sistemática, basada en los trabajos de Prestes et al. (2019) y Silva et al. (2015). Se identificó que condiciones como humedad superior al 14%, temperaturas elevadas y ventilación insuficiente favorecen la proliferación de *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*. Las micotoxinas más prevalentes en Brasil son fumonisinas (presentes en >90% de las muestras), aflatoxinas (41,9% de contaminación), zearalenona, tricotecenos y ocratoxina. Sus efectos en bovinos incluyen inmunosupresión, lesiones hepáticas y renales, trastornos reproductivos y reducción de productividad. Se concluye que la implementación de buenas prácticas de almacenamiento, control integrado y tecnologías emergentes son esenciales para mitigar los perjuicios a la salud animal y económicos.

Palabras clave: Almacenamiento de maíz. Hongos toxigênicos. Micotoxinas. Salud bovina. Seguridad alimentaria.

1 INTRODUÇÃO

Por meio do presente trabalho, buscamos analisar em que medida as práticas inadequadas de armazenamento do milho favorecem a proliferação de micotoxinas e comprometem a saúde dos bovinos, com reflexos diretos na segurança alimentar e na sustentabilidade da cadeia produtiva.

A cultura do milho (*Zea mays* L.) consolida-se como um dos cereais de maior relevância global, ocupando a terceira posição em importância após o arroz e o trigo (PRESTES et al., 2019). No Brasil, seu papel é indispensável não apenas para a segurança alimentar, mas também como componente fundamental na ração animal, especialmente para bovinos, com cerca de 85% da produção nacional destinada a essa finalidade (SILVA et al., 2015). No entanto, o potencial máximo desse insumo é severamente comprometido quando submetido a condições inadequadas de armazenamento, estágio crítico que favorece o desenvolvimento de fungos toxigênicos e a consequente produção de micotoxinas (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2011).

A qualidade dos grãos no pós-colheita está intrinsecamente ligada ao controle de variáveis como umidade, temperatura e ventilação. Grãos armazenados com teor de umidade superior a 14% tornam-se substrato ideal para a proliferação de fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*, principais produtores de micotoxinas (CASELA; FERREIRA; PINTO, 2006; PRESTES et al., 2019). A presença dessas substâncias representa uma ameaça silenciosa à saúde animal, sendo que a legislação brasileira estabelece que lotes com mais de 6% de grãos ardidos são considerados fora do padrão de qualidade para comercialização (PRESTES et al., 2019). Destaca-se que as fumonisinas são as micotoxinas mais prevalentes no milho

brasileiro, com *Fusarium verticillioides* presente em mais de 90% das amostras analisadas (LANZA et al., 2014).

A ingestão de ração contaminada desencadeia uma série de malefícios à saúde dos bovinos, incluindo imunossupressão, redução no ganho de peso, lesões hepáticas e renais, distúrbios reprodutivos e, em casos graves, a morte (SILVA et al., 2015). A manifestação dos efeitos tóxicos varia conforme fatores como dosagem, frequência de consumo, idade, sexo e estado nutricional dos animais (FAO, 2014), o que explica a diferente susceptibilidade observada entre categorias animais. Esses efeitos traduzem-se em expressivas perdas econômicas para o produtor, com dados do Laboratório de Análises Micotoxicológicas (LAMIC) da Universidade Federal de Santa Maria revelando que 41,9% das amostras de milho analisadas entre 1986 e 2000 estavam contaminadas por aflatoxinas (SILVA et al., 2015). A dimensão global do problema é evidenciada pela estimativa de que aproximadamente 25% dos alimentos em todo o mundo estão contaminados com micotoxinas (FAO, 2014).

O que me levou a investigar esta temática foi a constatação da recorrência de problemas sanitários em rebanhos bovinos associados à qualidade da alimentação, somada à carência de informações técnicas consolidadas que possam orientar produtores na implementação de boas práticas de armazenamento. Durante observações preliminares, pude perceber que, muito embora os produtores utilizem o milho como base da alimentação animal, frequentemente não atribuem a devida importância às condições de armazenamento, situação que, de acordo com a literatura consultada, repete-se em diversas regiões do país.

4679

O objetivo geral deste trabalho é analisar os riscos e impactos do armazenamento inadequado do milho, com ênfase na ocorrência de micotoxinas e seus efeitos na saúde dos bovinos. De forma específica, busca-se: a) identificar as principais micotoxinas associadas ao milho armazenado; b) avaliar os impactos da contaminação sobre a qualidade dos grãos e a saúde animal; e c) apontar métodos e práticas recomendadas para a prevenção da contaminação e conservação segura do milho.

Este trabalho foi realizado por meio de pesquisa bibliográfica, em artigos, livros, monografias e periódicos disponibilizados na rede mundial de computadores, bem como em bases de dados especializadas. A presente revisão justifica-se pela necessidade de consolidar informações técnicas e científicas que possam subsidiar produtores, técnicos e profissionais do agronegócio na implementação de boas práticas de armazenamento, contribuindo para a segurança alimentar e a sustentabilidade da cadeia produtiva.

Entendemos que a garantia da qualidade do milho armazenado é fundamental para a produtividade e a saúde animal. Nesse sentido, o produtor e os técnicos do agronegócio têm o dever constante de adotar práticas que assegurem a conservação adequada dos grãos, demonstrando como o controle de variáveis ambientais está diretamente relacionado à segurança do rebanho e à rentabilidade do sistema. Essa conscientização é extremamente importante, pois possibilita ao produtor uma compreensão ampla e contextualizada dos riscos envolvidos, o seu papel na prevenção e as inter-relações que se estabelecem na cadeia produtiva, dando significação às práticas de manejo recomendadas.

Acreditamos que a adoção de técnicas adequadas de armazenamento tem o potencial de contribuir significativamente para a redução de perdas e a promoção da sanidade animal. É partindo desse princípio que entendemos ser pertinente a temática aqui proposta, pois desenvolver estudos que indiquem a possibilidade de utilização de estratégias de armazenamento que auxiliem e qualifiquem a produção é muito importante, não somente para o produtor, mas principalmente para a sustentabilidade do agronegócio nacional, cuja eficiência e qualidade devem ser o foco de nosso trabalho.

2 MÉTODOS

4680

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma revisão bibliográfica analítica, com abordagem qualitativa e caráter exploratório-descritivo. A pesquisa fundamentou-se na análise crítica integrativa de fontes secundárias especializadas, incluindo artigos científicos revisados por pares, publicações técnicas da Embrapa Milho e Sorgo, manuais do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e trabalhos acadêmicos de instituições de reconhecida excelência.

O processo metodológico seguiu três etapas principais: identificação e seleção do material bibliográfico relevante; análise e síntese do conteúdo; e integração e discussão das evidências científicas. Foram priorizadas publicações dos últimos 15 anos (2006-2021) para garantir a atualidade das informações, com ênfase nos trabalhos de Prestes et al. (2019) sobre fungos e micotoxinas em grãos de milho, e Silva et al. (2015) sobre os riscos às cadeias produtivas.

A análise dos dados consistiu na sistematização categorizada das informações conforme os objetivos específicos propostos, permitindo a organização do conhecimento sobre: condições favoráveis ao desenvolvimento fúngico; principais micotoxinas e seus efeitos em bovinos; impactos econômicos e regulatórios; e estratégias de prevenção e controle. Adotou-se o método

de paráfrase acadêmica para a integração das citações, garantindo a originalidade do texto enquanto mantinha o rigor científico das fontes consultadas.

O recorte temático focou-se especificamente nas micotoxinas de maior relevância para a bovinocultura brasileira - aflatoxinas, fumonisinas, zearalenona, tricotecenos (DON) e ocratoxina - considerando suas particularidades toxicológicas e implicações práticas para o armazenamento do milho destinado à alimentação animal.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, os resultados da análise bibliográfica são apresentados e discutidos de forma integrada, organizando-se em quatro eixos principais: inicialmente abordam-se as condições que favorecem o desenvolvimento de fungos e micotoxinas; em seguida, detalham-se as principais micotoxinas e seus efeitos específicos na saúde bovina; posteriormente, discutem-se os impactos econômicos e implicações comerciais; e finalmente, apresentam-se estratégias de prevenção e controle baseadas nas evidências científicas compiladas.

3.1 CONDIÇÕES FAVORÁVEIS AO DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS E MICOTOXINAS

O armazenamento inadequado do milho constitui o principal fator desencadeante para a proliferação de fungos toxigênicos e consequente produção de micotoxinas. Conforme demonstrado por Silva et al. (2015), a ocorrência desses contaminantes está diretamente relacionada à capacidade de biossíntese dos fungos que infectam os grãos e às condições ambientais durante o cultivo e armazenamento.

Os grãos podem ser atacados por fungos ainda no campo, apresentando podridão na espiga, ou depois de colhidos, quando se tornam mofados durante o armazenamento. Esse problema, conforme observado por Marcondes (2012), é agravado por condições climáticas específicas. Uma seca no período de enchimento dos grãos, seguida por chuvas em excesso após a maturação, enfraquece as plantas e cria o cenário ideal para o ataque de fungos que produzem toxinas.

A literatura aponta que certas condições no armazenamento criam um ambiente ideal para os fungos, incluindo grãos com umidade superior a 14%, temperaturas na faixa de 25 a 30°C, aliados à pouca ventilação e longos períodos de estocagem (PRESTES et al., 2019). Já na lavoura, fatores que comprometem a integridade da planta, como danos causados por pragas, o

acamamento ou mesmo espigas com proteção inadequada, facilitam a entrada de umidade e de esporos de fungos, elevando o potencial de contaminação (MARCONDES, 2012).

O risco à saúde pública imposto pelas micotoxinas é considerável, pois essas substâncias podem desencadear efeitos nocivos mesmo quando presentes em quantidades mínimas. Entre as consequências de exposição prolongada estão enfermidades crônicas que afetam o fígado, os rins e o sistema imunológico, podendo ter ação cancerígena e mutagênica. Em casos de contaminação aguda, os sintomas podem incluir desde apatia e perda de apetite até complicações severas como hemorragias e necrose de órgãos (BRAGOTTO, 2016).

Um aspecto crítico desse problema é a capacidade das micotoxinas de se acumularem. Elas atingem os humanos de forma indireta, por meio do consumo de derivados de animais que ingeriram ração contaminada, como leite, ovos e carnes. Isso ocorre porque os processos industriais e o cozimento convencional, embora possam eliminar os fungos visíveis, são incapazes de degradar as toxinas que já se formaram no alimento (BRAGOTTO, 2016).

A umidade dos grãos emerge como o fator crítico mais significativo no processo de contaminação. Grãos armazenados com teor de umidade superior a 14% criam condições ideais para o desenvolvimento fúngico, sendo que cada espécie apresenta exigências específicas: *Aspergillus flavus* desenvolve-se em umidades relativas a partir de 85%, enquanto *Fusarium verticillioides* requer valores superiores a 90% (PRESTES et al., 2019). A secagem inadequada ou incompleta dos grãos, frequentemente observada em propriedades que não dispõem de secadores mecânicos eficientes, representa uma das principais falhas no manejo pós-colheita.

O fator temperatura atua sinergicamente com a umidade, acelerando os processos metabólicos fúngicos. Temperaturas entre 25°C e 30°C são consideradas ideais para o desenvolvimento de *Aspergillus flavus* e *Fusarium verticillioides*, enquanto temperaturas mais baixas (10-20°C) favorecem espécies de *Penicillium* (SILVA et al., 2015). A falta de controle térmico durante o armazenamento, comum em armazéns convencionais, cria microambientes propícios para a proliferação fúngica, especialmente em regiões mais profundas dos silos onde o calor metabolicamente gerido pode acumular-se.

A questão dos grãos ardidos merece destaque especial na discussão sobre qualidade do milho armazenado. Conforme estabelecido pela legislação brasileira, lotes com mais de 6% de grãos ardidos são considerados fora do padrão de qualidade para comercialização (PRESTES et al., 2019). Estes grãos, caracterizados por apresentarem escurecimento total por ação do calor, umidade ou fermentação avançada, representam não apenas um indicativo de má conservação, mas também um potencial risco de contaminação por micotoxinas. A classificação do milho em

tipos 1, 2 e 3, baseada na porcentagem de grãos ardidos, reflete diretamente no valor comercial do produto, com descontos progressivos conforme aumenta a contaminação.

Danos mecânicos nos grãos, frequentemente decorrentes de colheita inadequada ou manuseio brusco, constituem outra porta de entrada para fungos toxigênicos. Grãos quebrados ou trincados possuem suas barreiras naturais comprometidas, facilitando a colonização por espécies de *Aspergillus* e *Fusarium* (CASELA; FERREIRA; PINTO, 2006). A presença de insetos e ácaros durante o armazenamento agrava este cenário, pois além de causarem danos físicos aos grãos, atuam como vetores de esporos fúngicos, disseminando a contaminação por todo o lote armazenado.

Vale ressaltar que as condições inadequadas de armazenamento podem potencializar problemas originados ainda em campo. Grãos provenientes de lavouras que sofreram estresse hídrico, ataques de pragas ou doenças durante o desenvolvimento vegetativo apresentam maior susceptibilidade à contaminação fúngica no armazenamento (COSTA; CASELA; COTA, 2021). Este fato evidencia a necessidade de uma abordagem integrada do problema, contemplando desde o manejo cultural pré-colheita até as práticas pós-colheita.

A ventilação insuficiente nos locais de armazenamento completa o conjunto de fatores críticos. A falta de circulação de ar adequada propicia a formação de bolsões de umidade e calor, criando ambientes microclimáticos ideais para o desenvolvimento fúngico. Silva et al. (2015) destacam que a ausência de sistemas de aeração em armazéns convencionais é uma das principais causas do aumento na incidência de micotoxinas em grãos armazenados por períodos superiores a três meses.

3.2 PRINCIPAIS MICOTOXINAS E SEUS EFEITOS NA SAÚDE BOVINA

Fumonisinias destacam-se como as micotoxinas mais comumente detectadas em amostras de milho brasileiro. No Brasil, as fumonisinias são as micotoxinas mais comumente detectadas em amostras de milho, fato atribuído à alta prevalência do fungo *Fusarium verticillioides*, seu principal produtor, encontrado em mais de 90% das amostras obtidas em diferentes regiões do país (LANZA et al., 2014). Silva et al. (2015) corroboram esses achados, atribuindo esta predominância à ampla distribuição deste fungo toxigênico. Em bovinos, a fumonisinina B₁ pode causar sinais de lesões no fígado e rins, sendo os bezerros mais suscetíveis aos seus efeitos tóxicos. Embora os bovinos adultos sejam considerados mais resistentes devido à ação da flora ruminal, a fumonisinina B₁ não é adequadamente degradada no rúmen, mantendo sua toxicidade e potencial de causar danos (SILVA et al., 2015). O mecanismo de ação das

fumonisinás está relacionado ao bloqueio da biossíntese de esfingolípídios, essenciais para a integridade da membrana celular e transporte iônico entre células (PRESTES et al., 2019).

As aflatoxinas constituem outro grupo de micotoxinas de extrema relevância sanitária. A alta prevalência dessa contaminação na ração animal foi evidenciada por um amplo estudo do Laboratório de Análises Micotoxicológicas (LAMIC) da Universidade Federal de Santa Maria, que, ao analisar amostras de milho entre 1986 e 2000, constatou a presença de aflatoxinas em 41,9% delas (SILVA et al., 2015). Nos bovinos, a ingestão dessas toxinas desencadeia uma série de prejuízos, como fibrose hepática, alterações cardíacas, distúrbios nervosos, infertilidade, redução no consumo de ração e até mesmo a diminuição do teor de gordura no leite. O mecanismo de ação dessas toxinas, conforme elucidado por Prestes et al. (2019), inicia-se com sua metabolização no fígado, onde são convertidas em epóxidos altamente reativos. Esses compostos têm a capacidade de se ligar covalentemente ao DNA das células, um processo que desregula a metabolismo celular, suprime a síntese de proteínas e provoca sérios danos macromoleculares. Esse caráter genotóxico é o que confere à aflatoxina B₁ a sua periculosidade máxima, levando a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) a classificá-la no Grupo I, como um agente comprovadamente cancerígeno para humanos. Dessa forma, o risco se estende ao consumidor final, uma vez que resíduos dessas toxinas podem chegar à cadeia alimentar humana, por meio de, produtos como leite, queijos e carnes.

4684

A zearalenona, uma micotoxina produzida predominantemente por *Fusarium graminearum*, é conhecida por desencadear graves distúrbios reprodutivos em bovinos, como infertilidade e quedas na produção leiteira. Sua ação se deve à sua semelhança estrutural com o hormônio estrogênio, permitindo que ela se ligue aos receptores hormonais e cause um profundo desequilíbrio no sistema endócrino dos animais. Conforme detalhado por Prestes et al. (2019), a elevada potência desse efeito estrogênico é explicada pelo metabolito α -zearalenol, cuja afinidade pelos receptores é aproximadamente dezessete vezes superior à do etinilestradiol, um estrogênio sintético potente. As manifestações clínicas desse hiperestrogenismo são evidentes: nas fêmeas, observam-se abortos, diminuição no tamanho das ninhadas, alterações no ciclo estral e outros sinais de excesso hormonal. Já nos machos, a toxina pode levar à redução da libido e a uma significativa queda na qualidade do sêmen.

Tricotecenos (DON - Desoxinivalenol), conhecidos como "vomitoxinas", são produzidos principalmente por *Fusarium graminearum* e *F. culmorum*. Em bovinos, causam lesões na mucosa gastrointestinal, redução no consumo de ração, imunossupressão e distúrbios digestivos. Lanza et al. (2014) observam que bovinos expostos ao DON comumente rejeitam a

ração contaminada, resultando em uma queda no desempenho produtivo. O mecanismo de toxicidade dos tricotecenos ocorre principalmente pela interrupção da produção de proteínas e por causar lesões nas membranas celulares do trato gastrointestinal.

Ocratoxina A, produzida por espécies de *Aspergillus* e *Penicillium*, destaca-se por seus efeitos nefrotóxicos em bovinos. Silva et al. (2015) alertam que esta micotoxina causa danos renais progressivos, redução na conversão alimentar e comprometimento do sistema imunológico. Seus efeitos são cumulativos e a toxina pode ser transferida para o leite, representando risco também para consumidores humanos. A ocratoxina A interfere no metabolismo da fenilalanina e possui efeitos teratogênicos e carcinogênicos comprovados em estudos experimentais.

Tabela 1 – Micotoxinas e seus efeitos na saúde de bovinos.

Micotoxina	Fungos Produtores	Efeitos na saúde de bovinos
Aflatoxina	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i>	Imunossupressão, redução na produtividade, lesões hepáticas, morte, redução de gordura do leite.
Tricotecenos (DON)	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>F. culmorum</i>	Lesões gastrointestinais, imunossupressão, redução na ingestão de ração, distúrbios digestivos.
Ocratoxina	<i>Aspergillus ochraceus</i> , <i>Penicillium verrucosum</i>	Danos renais, redução na imunidade e no desempenho produtivo, nefrotoxicidade.
Zearalenona	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>F. Culmorum</i> , <i>F. equiseti</i>	Problemas reprodutivos, infertilidade, abortos, aumento de estro, desequilíbrios hormonais.
Fumonisinias	<i>Fusarium verticillioides</i> , <i>F. proliferatum</i>	Distúrbios hepáticos, redução do desempenho, imunodepressão, lesões renais e hepáticas.

Fonte: Adaptado de Casela, Ferreira e Pinto (2006); Costa, Casela e Cota (2021); Embrapa Milho e Sorgo (2011); Prestes et al. (2019); Silva et al. (2015).

A manifestação dos efeitos das micotoxinas está diretamente relacionada a fatores como dosagem, frequência de consumo, e características individuais dos animais, incluindo idade, sexo e condição nutricional (FAO, 2014). Esta variabilidade explica as diferenças na susceptibilidade entre animais, sendo bezerros e animais jovens geralmente mais sensíveis aos impactos nocivos. A complexidade dos efeitos evidencia a premência de considerar não apenas a classe de micotoxina, mas também as características individuais dos animais e o padrão de consumo na avaliação das ameaças à saúde.

A complementaridade das informações apresentadas na Tabela 1 com a discussão anterior evidencia a consistência dos achados sobre os efeitos das micotoxinas na saúde bovina, mesmo quando analisados sob diferentes perspectivas teóricas e metodológicas. A complexidade dos efeitos varia conforme a idade dos animais, estado nutricional, dose e tempo de exposição, sendo os bezerros e animais jovens geralmente mais susceptíveis. Esta convergência de resultados reforça a urgência de medidas rigorosas de controle e prevenção em todas as etapas do sistema produtivo do milho voltado à ração animal.

3.3 IMPACTOS ECONÔMICOS E IMPLICAÇÕES COMERCIAIS

A ocorrência de micotoxinas em milho gera impactos econômicos multidimensionais que afetam toda a cadeia produtiva, desde o produtor rural até o consumidor final. Primariamente, lotes com contaminação acima dos limites estabelecidos pela legislação sofrem desvalorização comercial ou mesmo impedimento de comercialização. Prestes et al. (2019) destacam que doses relativamente baixas, como 75 ppb de aflatoxina, podem causar reduções de até 10% na resposta produtiva em aves, indicando os efeitos adversos também em bovinos.

As reduções econômicas diretas manifestam-se através do rebaixamento na classificação do milho, conforme estabelecido pela Instrução Normativa MAPA nº 60/2011. O milho tipo 1, com até 1% de grãos deteriorados, possui valor comercial superior ao tipo 2 (até 2%) e tipo 3 (até 3%), enquanto lotes com mais de 6% de grãos comprometidos são considerados com desvio de qualidade, sofrem descontos significativos ou são totalmente rejeitados pelo mercado (BRASIL, 2011). Esta desclassificação representa perdas imediatas para o produtor, que vê seu produto desvalorizado em função da má conservação pós-colheita.

Os impactos indiretos revelam-se ainda mais significativos quando considerados os prejuízos zootécnicos decorrentes da alimentação com ração contaminada. Calcular o prejuízo das micotoxinas é difícil, porque elas afetam a saúde de pessoas e animais de forma indireta, através da comida (MITCHELL et al., 2016). Mesmo assim, um estudo mostrou que só nos EUA, os estragos causados pela aflatoxina no milho podem chegar a mais de US\$ 1,6 bilhão por ano (MITCHELL et al., 2016). No contexto brasileiro, considerando que 85% do milho produzido é destinado a dieta animal (SILVA et al., 2015), os prejuízos indiretos decorrentes da redução no desempenho produtivo do rebanho bovino alcançam proporções igualmente alarmantes.

A complexidade da regulamentação de limites máximos de micotoxinas reflete-se na necessidade de considerar múltiplos fatores na sua determinação. A definição de limites seguros

para micotoxinas deve considerar múltiplos aspectos, como o risco toxicológico estabelecido pela ciência, a quantidade habitualmente consumida dos alimentos e as consequências econômicas envolvidas, além da confiabilidade das informações toxicológicas disponíveis (BENEDIT, 2016). Esta multifatorialidade explica as disparidades observadas entre as legislações de diferentes países e a contínua revisão dos limites estabelecidos pelas agências reguladoras worldwide.

No âmbito da regulamentação brasileira, a Resolução RDC 07/2011 da ANVISA estabeleceu tolerâncias regulamentares para a contaminação micotoxigênica em alimentos, com calendário de execução entre 2011 e 2016 (SILVA et al., 2015). Para o milho e seus derivados, os limites de aflatoxinas totais são de 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$, enquanto para fumonisinas (B₁ + B₂) em farinha de milho o limite é de 2.500 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para aplicação em 2012, reduzindo para 1.500 $\mu\text{g}/\text{kg}$ em 2016. Tais normativas evidenciam a maior atenção destinada à inocuidade dos alimentos e à indispensabilidade de monitoramento sistemático da qualidade dos grãos.

As implicações comerciais estendem-se além das fronteiras nacionais. Produtores brasileiros que desejam exportar milho precisam adequar-se não apenas à legislação nacional, mas também às exigências dos países importadores, como a União Europeia e Estados Unidos, que possuem limites frequentemente mais restritivos (PRESTES et al., 2019). Esta disparidade regulatória pode representar barreiras comerciais significativas, especialmente para pequenos e médios produtores que não dispõem de infraestrutura adequada para garantir a qualidade exigida pelos mercados mais exigentes.

4687

Os custos com monitoramento e controle constituem outra dimensão do impacto econômico. A implementação de programas de análise e detecção de micotoxinas, aquisição de equipamentos para secagem e armazenamento adequados, e adoção de tecnologias para prevenção da contaminação representam investimentos substanciais para os agricultores. No entanto, estes custos preventivos mostram-se economicamente vantajosos quando comparados às perdas provenientes da contaminação e desclassificação dos lotes (SILVA et al., 2015).

A contaminação por micotoxinas também gera impactos na saúde pública e custos socioeconômicos. Conforme aponta Bragotto (2016), as micotoxinas apresentam efeito cumulativo e podem atingir os seres humanos de maneira indireta, por meio da ingestão de carnes, leite, ovos e outros subprodutos de animais que consumiram ração contaminada. Estes efeitos indiretos resultam em custos adicionais para o sistema de saúde, perda de produtividade da população e redução na qualidade de vida, formando um ciclo de prejuízos que ultrapassa os limites do setor agropecuário.

A complexidade dos impactos econômicos evidencia a necessidade de uma abordagem integrada do problema, que considere não apenas as perdas diretas na comercialização do grão, bem como os efeitos em cadeia sobre toda a economia agropecuária nacional e a saúde pública.

3.4 ESTRATÉGIAS DE PREVENÇÃO E CONTROLE

A prevenção da infestação por micotoxinas requer uma abordagem integrada em todas as fases da produção e estocagem do milho. Tanto Silva et al. (2015) quanto Prestes et al. (2019) recomendam que o controle da contaminação deve ser focada desde a seleção de cultivares resistentes até as etapas finais de transformação na industrial.

No manejo pré-colheita, a seleção de híbridos com maior resistência às principais doenças fúngicas representa a primeira barreira contra a contaminação. Para minimizar a carga de inóculo de *Fusarium* na lavoura, são essenciais medidas como a eliminação de sobras de cultura infectadas, a alternância de cultivos com plantas não suscetíveis e o manejo rigoroso de invasoras que possam atuar como hospedeiras alternativas do fungo (PRESTES et al., 2019). Outro fator crucial é o fornecimento balanceado de nutrientes, em especial o manejo adequado de nitrogênio e potássio, que confere ao milho maior robustez e capacidade de defesa contra agentes fitopatogênicos.

4688

O manejo de insetos-praga ao longo do ciclo da cultura constitui outra medida essencial, visto que os danos por eles provocados criam portas de entrada para fungos toxigênicos nos grãos. Segundo Marcondes (2012), lavouras afetadas por ataques de insetos, acamamento ou que possuem espigas com proteção inadequada da palha ficam mais suscetíveis à infiltração de água de chuva e esporos de fungos, o que eleva consideravelmente o potencial de contaminação.

No período pós-colheita, a etapa de secagem dos grãos emerge como etapa crítica. Prestes et al. (2019) recomendam que a secagem seja realizada preferencialmente dentro de 48 horas finda a colheita, reduzindo a umidade dos grãos para níveis inferiores a 13%, valor que inibe o desenvolvimento da maioria dos fungos toxigênicos. O controle rigoroso das condições de armazenamento, incluindo temperatura, umidade relativa do ar e ventilação adequada, é fundamental para preservar a qualidade dos grãos ao longo do tempo (SILVA et al., 2015).

O armazenamento adequado requer infraestrutura que ofereça proteção contra a umidade ambiental e permita o monitoramento constante das condições internas. Brito (2020) demonstrou em seu estudo que a escolha da embalagem correta, como silos herméticos ou sacarias apropriadas, tem impacto direto na preservação da qualidade dos grãos. A ausência de sistemas de aeração em armazéns convencionais é apontada como uma das principais causas do

aumento na incidência de micotoxinas em grãos armazenados por períodos superiores a três meses (SILVA et al., 2015).

Estratégias de controle biológico vêm ganhando destaque como alternativas sustentáveis aos métodos convencionais. Prestes et al. (2019) destacam o potencial de microrganismos como *Bacillus amyloliquefaciens* e *Microbacterium oleovorans*, que em ensaios de campo alcançaram reduções de aproximadamente 75% na concentração de fumonisina B₁. O manejo pós-colheita é uma fase decisiva para a garantia da qualidade final do milho. Nesta etapa, a limpeza e a classificação dos grãos permitem a remoção de matérias estranhas e de grãos comprometidos, o que reduz consideravelmente o risco de contaminação cruzada (CASELA; FERREIRA; PINTO, 2006). Paralelamente, estratégias de biocontrole vêm ganhando destaque, com destaque para o uso de *Trichoderma* sp., cuja aplicação tem demonstrado resultados positivos na inibição do desenvolvimento de fungos e na consequente diminuição da concentração de micotoxinas durante a armazenagem.

Tecnologias emergentes para detecção precoce de contaminação oferecem novas possibilidades para o monitoramento em tempo real da qualidade dos grãos armazenados (PRESTES et al., 2019). Estas ferramentas permitem a identificação rápida e não destrutiva de focos de contaminação, possibilitando intervenções imediatas antes que o problema se dissemine por todo o lote.

4689

A implementação de Boas Práticas Agrícolas integradas, abrangendo desde o planejamento do cultivo até o armazenamento e comercialização, constitui a abordagem mais eficaz para a prevenção da contaminação por micotoxinas. Esta estratégia multifacetada, quando aplicada de forma sistemática, mostra-se capaz de reduzir significativamente os riscos à saúde animal e humana, além de minimizar as perdas econômicas decorrentes da desclassificação de lotes contaminados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise bibliográfica realizada permitiu concluir que o armazenamento inadequado do milho constitui um elo crítico e de alto risco na cadeia produtiva pecuária. As condições de manejo pós-colheita, notadamente o controle deficiente de umidade, temperatura e ventilação, são determinantes para o desenvolvimento de fungos e a produção de micotoxinas. Ficou evidente que toxinas como aflatoxinas, fumonisinas, zearalenona, tricotecenos e ocratoxina provocam sérios comprometimentos à saúde dos bovinos, incluindo danos hepáticos,

imunossupressão, distúrbios reprodutivos e redução do desempenho produtivo, que se traduzem em expressivas perdas econômicas para os produtores.

A constatação de que as fumonisinas são as micotoxinas mais prevalentes no milho brasileiro, com *Fusarium verticillioides* presente em mais de 90% das amostras analisadas, reforça a necessidade de medidas específicas de controle para este patógeno. Da mesma forma, os dados que apontam 41,9% de contaminação por aflatoxinas em amostras de milho destinadas à alimentação animal alertam para a magnitude do problema no contexto nacional.

Diante desse cenário, fica clara a necessidade imperativa de se adotarem boas práticas de armazenamento integradas, baseadas na secagem eficiente dos grãos, no uso de infraestruturas adequadas e no monitoramento constante da qualidade do material armazenado. As estratégias de controle biológico emergem como alternativas promissoras, com potencial de reduzir em até 75% os níveis de contaminação por fumonisinas quando utilizados microrganismos como *Bacillus amyloliquefaciens*.

A disseminação dessas informações para produtores e técnicos é vital para mitigar os riscos sanitários, garantir o bem-estar animal e assegurar a sustentabilidade econômica da pecuária nacional. Para pesquisas futuras, sugere-se a investigação de adsorbentes de micotoxinas na ração como estratégia complementar de mitigação e estudos econômicos que quantifiquem com precisão as perdas anuais decorrentes deste problema.

4690

REFERÊNCIAS

BRAGOTTO, A. P. A. *Compostos Tóxicos de Origem Natural: Fungos*. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP, 2016.

BRASIL. *Instrução Normativa MAPA nº 60, de 23 de dezembro de 2011*. Regulamento Técnico do Milho. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 2011.

BRASIL. *Resolução RDC nº 7, de 18 de fevereiro de 2011*. Dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 fev. 2011.

BRITO, W. R. A. *Qualidade de grãos de milho acondicionados em diferentes embalagens*. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Agropecuária) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Petrolina, 2020.

CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S.; PINTO, N. F. J. de A. *Doenças na cultura do milho*. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2006. 15 p. (Circular Técnica, 83).

COSTA, R. V.; CASELA, C. R.; COTA, L. V. *Doenças foliares*. In: EMBRAPA. *Cultivo do milho: produção*. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

DRIEHUIS, F. et al. *Occurrence of mycotoxins in maize, grass and wheat silage for dairy cattle in the Netherlands*. *Food Additives & Contaminants*, v. 1, n. 1, p. 41-50, 2008.

EMBRAPA MILHO E SORGO. *Boas Práticas Agrícolas: milho*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011.

FAO. *Micotoxinas em grãos*. 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/wairdocs/x50120/x5012001.htm>. Acesso em: 01 set. 2025.

LANZA, F. B. et al. *Prevalence of fumonisin-producing Fusarium species in Brazilian corn grains*. *Crop Protection*, v. 65, p. 232-237, 2014.

MARCONDES, M. M. *Incidência de podridão de colmo e grão ardidos em híbridos de milho sob diferentes densidades de plantas e épocas de colheita*. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2012.

MITCHELL, N. J. et al. *Potential economic losses to the US corn industry from aflatoxin contamination*. *Food Additives & Contaminants: Part A*, v. 33, n. 3, p. 540-550, 2016.

PRESTES, I. D. et al. *Principais fungos e micotoxinas em grãos de milho e suas consequências*. *Scientia Agropecuaria*, v. 10, n. 4, p. 559-570, 2019.

SILVA, D. D. et al. *Micotoxinas em cadeias produtivas do milho: riscos à saúde animal e humana*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 27 p. (Documentos, 193).