

Micotoxinas e novas ferramentas de mitigação

Carlos Augusto Mallmann¹ e Denize Tyska¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Laboratório de Análises Micotoxicológicas (LAMIC).
Avenida Roraima n° 1000, Prédio 44, Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 97105-900, Brazil.

A contaminação por compostos naturais indesejáveis em produtos agrícolas, especialmente em grãos e seus derivados, configura-se como um dos principais entraves à garantia da segurança alimentar e da saúde pública em escala global. Entre esses contaminantes, as micotoxinas têm se destacado pela ampla distribuição geográfica, alta estabilidade em diferentes etapas de processamento e potencial de causar efeitos adversos em organismos humanos e animais, mesmo em baixas concentrações. Adicionalmente, o avanço das mudanças climáticas tem contribuído para a crescente complexidade e imprevisibilidade do cenário global relacionado à ocorrência de micotoxinas, tornando imprescindível a adoção de estratégias eficazes de mitigação para assegurar a segurança alimentar e a qualidade dos grãos.

Prevalência das micotoxinas

Estimativas reportam que aproximadamente 25% dos alimentos consumidos mundialmente apresentam algum nível de contaminação por micotoxinas, embora essa taxa possa variar consideravelmente em função de fatores edafoclimáticos, condições agroecológicas e práticas de manejo regionais. Dados gerados ao longo dos últimos 30 anos pelo Laboratório de Análises Micotoxicológicas (LAMIC), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), indicam moderadas/altas prevalências de contaminações e positividade em amostras de matérias-primas e subprodutos (Tabela 1), o que evidencia a relevância do problema no contexto brasileiro.

Tabela 1 – Médias (ppb) e prevalências (%) das principais micotoxinas no Brasil nos últimos 30 anos.

Micotoxina	N	Prevalência (%)	Média (ppb)	Média pos. (ppb)
Deoxinivalenol	98.985	38	365	913
Aflatoxinas	200.670	32	16	51
Zearalenona	159.722	31	80	255
Fumonisin	95.253	26	1.511	1.706
Nivalenol	4.883	24	75	310
3-DON	1.055	7	2	32
Fusarenon-X	967	6	5	55
15-DON	890	6	2	39
DAS	3.785	3	1	48
Ocratoxina A	59.315	3	1	38
Toxina HT-2	3.035	2	2	86
Toxina T-2	23.332	0,8	1	132

Fonte: LAMIC, 2025.

Um dos ingredientes mais importantes nas indústrias rações avícolas e suínolas é o milho. Essa matéria-prima é uma importante fonte de substrato para os fungos e micotoxinas. Na Tabela 2 é possível observar os dados relacionados as médias e prevalência das principais toxinas no milho ao longo dos últimos 10 anos.

Tabela 2 – Médias (ppb) e prevalências (%) das principais micotoxinas no milho nos últimos 30 anos.

Micotoxina	N	Prevalência (%)	Média (ppb)	Máximo (ppb)
Fumonisin	24.765	82	2.013	29.856
Zearalenona	17.300	31	109	96.300
Aflatoxinas	28.058	25	8	29.850
Deoxinivalenol	13.292	10	75	14.000
Ocratoxina A	4.405	0,7	0,4	1.462

Fonte: LAMIC, 2025.

Estratégias de mitigação

No cenário atual, os impactos causados pelas micotoxinas na produção animal estão mais relacionadas as intoxicações crônicas, o que ocasiona perdas no desempenho zootécnico, diminuição da imunidade, susceptibilidade a doenças e consequentemente trazendo perdas econômicas. A implantação de estratégias para minimizar os danos causados pelas micotoxinas levam em consideração todo o processo da cadeia dos cereais, desde o preparo do solo até o uso na alimentação humana ou animal. Neste aspecto, existem controles que podem ser realizados a fim de minimizar o crescimento fúngico e a presença de micotoxinas. Procedimentos relacionados à profilaxia incluem a adoção de técnicas agrícolas, como rotação de culturas, escolha da genética do cereal a ser cultivado, utilização de fungicidas na lavoura, colheita, transporte, secagem, limpeza e armazenamento. Outra estratégia amplamente utilizada para o controle das micotoxicoses é o uso de materiais nutricionalmente inertes na dieta animal, a fim de diminuir a absorção das micotoxinas no trato gastrointestinal dos animais. Essas substâncias são os aditivos antimicotoxinas (AAM), substâncias essas que atuam via aparelho digestório do animal.

Plantio direto

A prática do plantio direto, que consiste em manter a palha e os resíduos da cultura anterior sobre o solo sem revolvimento, pode influenciar na ocorrência de fungos e, consequentemente, na contaminação por micotoxinas. A permanência de restos culturais na superfície cria um ambiente mais úmido e protegido, favorecendo a sobrevivência e o desenvolvimento de fungos produtores de micotoxinas, como espécies dos gêneros *Fusarium* e *Aspergillus*. No entanto, quando bem manejado, o plantio direto também pode melhorar a saúde do solo, aumentar a biodiversidade microbiana benéfica e reduzir o estresse nas plantas, o que pode minimizar a infecção fúngica. Assim, os efeitos do plantio direto sobre micotoxinas dependem diretamente do manejo adequado dos resíduos, da rotação de culturas e do controle fitossanitário.

Seleção de novos híbridos

Nos últimos anos, pesquisadores e empresas de melhoramento genético têm investido no desenvolvimento de novos híbridos de milho e outras culturas com o objetivo de reduzir a contaminação por micotoxinas, especialmente aquelas produzidas por fungos como *Fusarium spp.* e *Aspergillus spp.*. Esses novos híbridos são selecionados com base em características como maior resistência genética à infecção fúngica, melhor tolerância ao estresse hídrico e térmico, espigas mais bem fechadas (que dificultam a entrada de fungos) e maior uniformidade de maturação, o que reduz o tempo de exposição à umidade na lavoura.

Além disso, há esforços em incorporar genes de resistência específicos por meio de melhoramento convencional e também por técnicas de engenharia genética. Esses híbridos vêm sendo testados em diversas regiões e condições climáticas, avaliando-se não apenas o rendimento, mas também os níveis residuais de micotoxinas nos grãos colhidos. Embora ainda não existam cultivares totalmente resistentes, os avanços têm mostrado reduções significativas na incidência de micotoxinas, o que contribui para maior segurança alimentar e menor perda econômica.

Utilização de fungicidas

A utilização de fungicidas pode auxiliar na diminuição da produção de micotoxinas, mas seus efeitos são limitados e variáveis, dependendo de vários fatores. Fungicidas aplicados no campo, especialmente durante os períodos críticos de infecção (como floração no milho), podem reduzir a incidência de fungos toxigênicos, como *Fusarium* e *Aspergillus*, diminuindo assim o potencial de produção de micotoxinas como fumonisinas, zearalenona e aflatoxinas.

No entanto, a eficácia dos fungicidas não é garantida. Em muitos casos, eles controlam parcialmente os fungos, mas não impedem completamente a produção de toxinas, especialmente se as condições ambientais forem favoráveis ao patógeno (alta umidade e temperatura, por exemplo). Além disso, alguns fungos podem produzir micotoxinas mesmo em níveis subclínicos de infecção — ou seja, quando os sintomas não são visíveis.

Colheita

A colheita dos grãos tem papel essencial na prevenção da contaminação por micotoxinas, pois atrasos ou condições inadequadas nesse processo favorecem o desenvolvimento de fungos toxigênicos. Grãos colhidos com alta umidade, danificados por equipamentos mal regulados ou expostos por muito tempo no campo estão mais suscetíveis à infecção por fungos produtores de micotoxinas. Portanto, realizar a colheita no momento correto, com umidade adequada e cuidados mecânicos, é fundamental para reduzir os riscos, especialmente quando combinada com secagem e armazenamento apropriados.

Transporte

O transporte dos grãos também está diretamente relacionado à produção de micotoxinas, especialmente quando não é realizado em condições adequadas. Grãos com alta umidade ou aquecidos durante o transporte criam um ambiente favorável ao crescimento de fungos, principalmente se o trajeto for longo ou sob temperaturas elevadas. Além disso, o uso de caminhões ou contêineres sujos, úmidos ou sem ventilação pode promover a proliferação de fungos como *Aspergillus* e *Fusarium*, responsáveis por produzir micotoxinas como aflatoxinas e fumonisinas.

Utilização de mesas de pré-limpeza

A mesa densimétrica é um equipamento utilizado para reduzir a contaminação por micotoxinas em grãos, realizando a separação com base na densidade, tamanho e forma das partículas. Grãos contaminados por micotoxinas geralmente apresentam menor densidade devido a danos causados por fungos, sendo assim removidos no processo. Esse método mecânico, que utiliza vibração, ar e inclinação, contribui significativamente para melhorar a qualidade dos grãos, embora não elimine completamente as micotoxinas. É uma alternativa eficiente, desde que bem calibrada, e pode ser integrada ao processamento pós-colheita sem o uso de produtos químicos.

Ácidos orgânicos

Os ácidos orgânicos podem ser eficientes no controle do aparecimento dos fungos nos grãos armazenados, pois agem diminuindo o pH do meio, tornando-o impróprio para o crescimento dos fungos (Krabbe *et al.*, 1994). Os ácidos orgânicos inibem o crescimento dos microorganismos através de sua entrada nas células e dissociação no interior destas. Tal processo é responsável pela acidificação do citoplasma das células, resultando na inibição do transporte de nutrientes. O consumo de energia dos fungos aumenta na tentativa de manter o pH homeostático. Devido ao processo de sobrevivência, ocorre um estreitamento da faixa de pH, promovendo a morte ou a inibição da célula. Em função disto, o fungo perde a capacidade de desenvolvimento. Entre os ácidos orgânicos, existe também o ácido propiônico que inibe o crescimento fúngico, mas por outro lado ocasiona efeitos não satisfatórios como corrosão de equipamentos e produção de vapores cáusticos e adstringentes.

Lazzari (1997) apresentou alguns métodos químicos como o uso de ozônio, peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio, formaldeído, hidróxido de cálcio e amônia líquida ou em gás, que atacam as micotoxinas. Para o controle físico das micotoxinas cita-se a inativação térmica, luz ultravioleta, irradiação gama, segregação por densidade, extração por solventes e adsorção por várias substâncias. Estes métodos por sua vez têm sido considerados não práticos, ineficazes ou inseguros para grandes quantidades de grãos, além de diminuir os níveis nutricionais e o paladar do alimento (Park *et al.*, 1988).

Utilização de Aditivos Antimicotoxinas (AAM)

Um método largamente utilizado para o controle das micotoxicoses é o uso de materiais nutricionalmente inertes na dieta animal, a fim de diminuir a absorção das micotoxinas no trato gastrointestinal dos animais. Os AAM se unem de forma irreversível às micotoxinas, ou as biotransformam, tornando-as inabsorvíveis pelo trato gastrointestinal dos animais, sendo eliminadas naturalmente. Quando adicionados às rações, tem a capacidade de se ligar às micotoxinas formando macromoléculas complexas que não podem transpor a barreira intestinal, ocorrendo então eliminação das toxinas

através das fezes e assim neutralizando seus efeitos negativos sobre o desempenho dos animais.

Os AAM podem ser baseados em leveduras, fitoextratos e microorganismos selecionados especificamente para a neutralização das micotoxinas. No entanto, para que a eficácia dos produtos seja comprovada, são necessários testes *in vivo* que validem seus efeitos positivos tanto em melhorias na performance dos animais ou através da análise de biomarcadores específicos para a micotoxina avaliada (MAPA, 2020; EFSA, 2024).

Mudanças Climáticas e o Risco Crescente de Contaminação por Micotoxinas

As mudanças climáticas, caracterizadas pelo aumento global das temperaturas, vêm impactando profundamente os sistemas agrícolas em todo o mundo. Entre os efeitos mais preocupantes está o aumento do risco de contaminação por micotoxinas. Cada um dos gêneros fúngicos possui condições ambientais específicas para seu desenvolvimento. Observa-se que as mudanças climáticas vêm favorecendo essas condições em regiões antes menos propensas à ocorrência de contaminações, podendo tornar esses patógenos inclusive mais agressivos. Por exemplo, *Aspergillus flavus*, se desenvolve melhor em temperaturas elevadas e baixa umidade, o que tem aumentado sua presença em áreas do sul da Europa e América do Sul. Da mesma forma, *Fusarium verticillioides*, produtor de fumonisinas, é favorecido por altas temperaturas combinadas a umidade moderada, comuns em períodos de veranicos seguidos de chuvas no final do ciclo agrícola — situação já observada com frequência na “safrinha” do milho no Brasil.

As mudanças climáticas também afetam diretamente a fisiologia das plantas. Estresses como seca, calor excessivo e ataque de pragas reduzem a capacidade das plantas de resistir a infecções, tornando os grãos mais suscetíveis à colonização fúngica. Plantas enfraquecidas apresentam menor produção de compostos de defesa, além de estruturas físicas mais frágeis, como espigas de milho mal fechadas, que facilitam o acesso de esporos fúngicos aos tecidos internos. Isso eleva significativamente os níveis de micotoxinas no produto final, mesmo quando o manejo agrônômico é realizado adequadamente.

Além do campo, o impacto climático também se manifesta na etapa pós-colheita. O armazenamento e o transporte de grãos se tornam mais críticos com o aumento das

temperaturas e da umidade relativa do ar. Armazéns sem controle térmico, silos com ventilação deficiente e caminhões expostos ao calor são ambientes ideais para o crescimento de fungos, especialmente quando os grãos não foram suficientemente secos. Mesmo grãos que deixaram o campo com baixos níveis de contaminação podem apresentar elevação das toxinas ao longo da cadeia logística.

Essas alterações no comportamento fúngico e no padrão de contaminação por micotoxinas já estão sendo percebidas em diversas partes do mundo. As aflatoxinas, por exemplo, já foram detectadas em níveis acima dos limites permitidos na Itália, França e Alemanha — países que, até recentemente, não enfrentavam esse tipo de problema. Estudos projetam que, até 2050, a área de risco para ocorrência de aflatoxinas na Europa poderá dobrar. No Brasil, surtos de fumonisinas e DON em milho e trigo têm sido registrados com maior frequência e intensidade, exigindo maior rigor nos controles de qualidade. Diante disso, estratégias de melhoramento genético de cultivares resistentes a estresses e infecções, o uso de modelos preditivos baseados em dados climáticos e meteorológicos e modernização das estruturas de armazenamento são fundamentais para a mitigação das micotoxinas diante desse cenário incerto e dinâmico.

Modelos preditivos

Modelos preditivos baseados em variáveis meteorológicas vêm sendo utilizados como ferramentas promissoras na estimativa da contaminação por micotoxinas ao longo do ciclo de cultivo do milho, incluindo o período da colheita. Esses modelos oferecem suporte estratégico ao manejo integrado da cultura sob uma perspectiva abrangente da cadeia alimentar, com o objetivo de mitigar riscos de contaminação. Modelos de natureza mecanística já foram desenvolvidos para previsão da ocorrência de aflatoxinas e fumonisinas em milho, com base em dados climáticos reais (Battilani et al., 2013). No entanto, ainda não existem modelos equivalentes para a previsão da contaminação por deoxinivalenol (DON), e os efeitos dos sistemas de cultivo não foram incorporados às modelagens existentes.

Embora haja potencial para adaptação desses modelos ao período pós-colheita, essa abordagem ainda não foi explorada. Como alternativa, foram elaborados mapas de

risco com base em séries históricas de dados meteorológicos, visando caracterizar padrões de contaminação mais frequentes em regiões geográficas específicas (Battilani e Camardo Leggieri, 2015). A crescente imprevisibilidade climática, associada à ocorrência de eventos extremos, tem sido destacada como um fator crítico, especialmente em nível de propriedade rural (Camardo Leggieri et al., 2019), favorecendo o surgimento de contaminações múltiplas por micotoxinas.

Conclusão

A presença de micotoxinas acarreta perdas econômicas expressivas, tanto pela redução da qualidade dos grãos, como pelas perdas zootécnicas. Com o avanço das mudanças climáticas, o risco associado à contaminação por micotoxinas torna-se ainda mais complexo e imprevisível. Alterações nos padrões de temperatura, umidade e eventos climáticos extremos favorecem a expansão geográfica e o aumento da agressividade dos fungos produtores de toxinas, exigindo estratégias cada vez mais eficientes de monitoramento e mitigação. Nesse contexto, torna-se fundamental investir em tecnologias de previsão, manejo agrônomo adequado, melhoramento genético de cultivares, controle rigoroso no armazenamento e uso de aditivos antimicotoxinas, visando garantir a saúde dos animais, a qualidade dos alimentos e a sustentabilidade dos sistemas de produção diante de um cenário climático em transformação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BATTILANI, P. et al.** Aflatoxin B1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Food Additives & Contaminants: Part A*, Abingdon, v. 20, n. 12, p. 1178–1184, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1080/02652030310001620465>.
- BATTILANI, P. et al.** AFLA-maize: A mechanistic model for *Aspergillus flavus* infection and aflatoxin B1 contamination in maize. *Agricultural Systems*, Oxford, v. 119, p. 111–120, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.05.003>.
- BATTILANI, P.; CAMARDO LEGGIERI, M.** Risk maps of mycotoxins in food and feed. In: MORETTI, A.; SUSCA, A. (ed.). *Mycotoxigenic fungi: methods and protocols*. New York: Springer, 2015. p. 297–311. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2438-7_22.
- CAMARDO LEGGIERI, M. et al.** Aflatoxin B1 and fumonisin B1 co-occurrence in maize grown in Italy: modeling the impact of climate change. *Toxins*, Basel, v. 11, n. 10, p. 1–19, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins11100520>.

- CASU, A. et al. Changing climate, shifting mycotoxins: a comprehensive review of climate change impact on mycotoxin contamination. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Hoboken, v. 23, n. 2, e13323, mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13323>.
- EFSA – Guidance on the assessment of the efficacy of feed additives. *EFSA Journal*. 2024;22:e8856. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8856>.
- LAMIC – LABORATÓRIO DE ANÁLISES MICOTOXICOLÓGICAS. LAMIC – Laboratório de Análises Micotoxicológicas. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, [2025]. Disponível em: <https://www.lamic.ufsm.br/site/pt/>.
- LAZZARI, F. A. Umidade, fungos e micotoxinas na qualidade de sementes, grãos e rações. 2. ed. Curitiba: do Autor, 1997. v. 1, 134 p.
- MAIORANO, A. et al. A dynamic risk assessment model to predict the occurrence of fumonisins in maize grain. *International Journal of Food Microbiology*, Amsterdam, v. 137, n. 2–3, p. 315–320, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.12.016>.
- MAPA – Orientações para apresentação de relatório técnico: Aditivos Zootécnicos e tecnológicos (adsorventes de micotoxinas e inoculantes de silagem). 3ª edição. 2022.
- PARK, D. L.; LEE, L. S.; PRICE, R. L.; POHLAND, A. E. A review of the decontamination of aflatoxins by ammoniation: current status and regulation. *Journal of Association of Official Analytical Chemists*, Arlington, v. 71, p. 685–703, 1988.
- PATTERSON, R. R. M.; LIMA, M. Further mycotoxin effects from climate change. *Food Research International*, Amsterdam, v. 44, p. 2555–2566, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.038>.
- TONIAL SIMÕES, C. et al. A two-year study on the occurrence and concentration of mycotoxins in corn varieties with different endosperm textures. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Hoboken, v. 103, n. 14, p. 7199–7206, nov. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.12801>.
- VIDAL, J. K. et al. A three-year study on the nutritional composition and occurrence of mycotoxins of corn varieties with different transgenic events focusing on poultry nutrition. *Veterinary Sciences*, Basel, v. 11, n. 2, p. 97, 19 fev. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/vetsci11020097>.
- ZINGALES, V. et al. Climate change and effects on molds and mycotoxins. *Toxins (Basel)*, Basel, v. 14, n. 7, p. 445, 30 jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins14070445>.