Micotoxinas em silagem

Pamella Grossi de Sousa¹ , Guilherme Lobato Menezes¹ , Alan Figueiredo de Oliveira¹ ,
Frederico Patrus Ananias de Assis Pires¹ , Rafael Araújo de Menezes¹ , Eduarda Chaves de
Oliveira^{2*} , Ana Eliza da Silva² , Lúcio Carlos Gonçalves³ , Diogo Gonzaga Jayme³

¹Doutorando em Zootecnia, Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

²Discente de Medicina Veterinária -Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Betim – MG, Brasil.

³Prof. Departamento de Zootecnia, Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

*Autor para correspondência, E-mail: eduardahchaves@gmail.com

Resumo. O processo de ensilagem consiste na preservação da forragem verde. Porém, erros nas operações durante a colheita, o armazenamento ou até na abertura do silo, pode resultar em colonização de fungos e produção de micotoxinas. Sendo assim, é importante desenvolver estratégias para mitigar os efeitos negativos das micotoxinas na alimentação de vacas leiteiras. Objetivou-se revisar a literatura sobre a contaminação de silagem por micotoxinas, incluindo fatores predisponentes para a contaminação e as formas de prevenção e mitigação. As principais condições ambientais que favorecem a síntese de micotoxinas são a temperatura, o pH e a atividade de água. Além disso, fatores ligados a operação, como a colheita atrasada, atrasos na vedação do silo, a densidade de compactação ou uso vedantes danificados também favorecem o crescimento fúngico. O controle desses processos na ensilagem tem como objetivo evitar a contaminação por fungos toxinogênicos. No entanto, as estratégias de controle atuais não são totalmente eficazes. Algumas estratégias seguras e relativamente econômicas são o uso de adsorventes de micotoxinas ou de inoculantes bacterianos, que podem ser usados para reduzir a absorção de micotoxinas no trato gastrointestinal.

Palavras-chave: Adsorventes, contaminação do leite, ensilagem, fungos, inoculantes bacterianos

Silage mycotoxins

Abstract. The silage process consists of preserving green forage. However, errors in operations during harvesting, or even at the opening of the silo, can result in colonization of fungi and production of mycotoxins. Therefore, it is important to develop strategies to mitigate the negative effects of mycotoxins in the feeding of dairy cows. The objective was to review the literature on the contamination of silage by mycotoxins, including predisposing factors for contamination and ways of prevention and mitigation. The main environmental conditions that favor mycotoxin synthesis are temperature, pH and water activity. In addition, factors linked to the operation, such as delayed harvesting, delays in sealing the silo, the density of compaction or the use of damaged seals also favor fungal growth. The control of these processes in silage aims to avoid contamination by toxinogenic fungi. However, current control strategies are not entirely effective. Some safe and relatively economical measures are the use of mycotoxin adsorbents or bacterial inoculants, which can be used to reduce the absorption of mycotoxins in the gastrointestinal tract.

Keywords: Adsorbents, milk contamination, silage, fungi, bacterial inoculants

Introdução

As micotoxinas são um grupo de metabólitos secundários secretado por fungos, pertencentes principalmente aos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Alternaria* e *Penicilium*. Os fungos se desenvolvem

bem em ambientes com alta umidade, alta temperatura e com disponibilidade de oxigênio em algumas fases de produção da silagem (Egal et al., 2005).

A forragem ensilada, particularmente a silagem de milho, é um importante componente dietético de vacas leiteiras em todo o mundo. O manejo inadequado da silagem durante a colheita, o armazenamento ou no fornecimento aos animais, pode resultar em colonização de fungos, produção de micotoxinas e redução do valor nutricional (Keller et al., 2013). Várias micotoxinas não resistem à degradação ruminal, porém a capacidade de desintoxicação ruminal é limitada e varia de acordo com as mudanças na dieta ou presença de doenças metabólicas (Fink-Gremmels, 2008).

Estudos mostraram que os ruminantes são constantemente expostos a micotoxinas, como aflatoxinas, tricotecenos, ocratoxina A, fumonisinas, zearalenona e outros metabólitos secundários de fungos, por meio da ingestão da silagem contaminada (Keller et al., 2013). Uma pesquisa feita de 2009 a 2011 sobre a ocorrência mundial de micotoxinas, revelou que 81% das 7.049 amostras dos alimentos para bovinos coletadas nas Américas, Europa e Ásia continham pelo menos uma micotoxina (Rodrigues & Naehr, 2012). Além disso, Driehuis et al. (2008) revelaram que a forragem ensilada em 24 fazendas produtoras de leite na Holanda contribui com aproximadamente três vezes mais para a ingestão de micotoxinas comparado aos outros ingredientes da dieta.

O manejo adequado da silagem é essencial para reduzir a contaminação por micotoxinas, e certos adsorventes ou inoculantes microbianos também podem reduzir os níveis de contaminação (Ogunade et al., 2018). Portanto, objetivou-se revisar a literatura sobre a contaminação de silagem por micotoxinas, incluindo fatores predisponentes para a contaminação e as formas de prevenção e mitigação.

Fatores que predispõe a contaminação por fungos e a produção de micotoxinas

As forragens ensiladas podem conter várias micotoxinas, que podem ser originadas da contaminação pré-colheita por espécies de *Fusarium* e *Aspergillus* (Gallo et al., 2015; Uegaki et al., 2013) ou a pós-colheita por fungos toxigênicos como *Aspergillus* e *Penicillium* (Fink-Gremmels, 2008; Keller et al., 2013). No entanto, a presença de fungos na silagem não necessariamente indica a presença de micotoxinas, pois muitos fungos não as produzem, assim como a ausência de fungos visíveis não significa a ausência delas.

As condições ambientais e fisiológicas influenciam a síntese de micotoxinas. Temperatura e atividade de água (aw) são os principais fatores que influenciam a contaminação por micotoxinas. Os fungos podem crescer entre 10 e 40° C, pH entre 4 e 8 e aw maior que 0,7 (Whitlow & Hagler, 2005). O estresse oxidativo também costuma induzir vias toxigênicas em vários fungos. Essa resposta oxidativa, definida pela produção de peróxido, é desencadeada pela planta hospedeira após a infecção fúngica e pode estimular a síntese de micotoxinas (Ponts, 2015). Por isso, fungos podem crescer em alimentos úmidos, como a silagem, se o oxigênio não for limitante. Colheita atrasada e fatores ligados ao silo, como o abastecimento lento, a vedação inadequada ou vedantes danificados e desabastecimento lento e incorreto podem criar um microclima favorável para a proliferação de fungos e produção de micotoxinas (Whitlow & Hagler, 2005).

As espécies de *Fusarium* sp. são identificadas como fungos de campo porque eles proliferam durante o crescimento e maturação da planta. Seu crescimento é favorecido em alta umidade (>70%) e temperaturas que oscilam entre dias quentes e noites frias (CAST, 2003). As condições de ensilagem não são favoráveis ao crescimento fúngico, pois estes não toleram pH baixo e condições anaeróbias. No entanto, algumas toxinas de *Fusarium* sp. são relativamente estáveis ou não são completamente destruídas durante a ensilagem (Cheli et al., 2013; Jensen et al., 2020). A Desoxinivalenol (DON), as fumonisinas e as Zearalenona (ZEA) são micotoxinas produzidas por diversas espécies de *Fusarium*.

Os fungos *Aspergillus* sp. são considerados fungos de armazenamento. No entanto, algumas espécies como *Aspergillus flavus* podem infectar lavouras e produzir aflatoxinas no campo durante períodos de alta temperatura (> 32° C), alta umidade (> 80%), ou durante o estresse hídrico (Tsitsigiannis et al., 2012). A concentração de aflatoxina é relativamente baixa em silagens bem preservadas em comparação com outras micotoxinas (Keller et al., 2013; Kosicki et al., 2016). Entretanto, altas concentrações de aflatoxina podem ocorrer em silagens mal confeccionadas ou em silagens feitas com plantas doentes (Queiroz et al., 2012).

Os fungos *Penicillium* sp. são comuns durante o armazenamento, mas também podem contaminar plantas em condições muito úmidas no campo. Podem crescer em silagem com níveis de aw entre 0,79-0,83, que são relativamente mais baixos em relação a outros fungos. Esses fungos toleram também baixa concentração de oxigênio (1%) e baixo pH (3,0-6,0) (Nevarez et al., 2009). O ácido micofenólico e roquefortinas são as toxinas mais estudadas da espécie *Penicillium* em forragens ensiladas (Gallo et al., 2015). No entanto, a co-contaminação de alimentos por várias micotoxinas é comum em fazendas (Keller et al., 2013; Kosicki et al., 2016), pois a maioria dos fungos pode produzir várias micotoxinas, e vários fungos podem contaminar simultaneamente um único alimento. A grande preocupação se deve aos potenciais efeitos aditivos ou sinérgicos aos animais. Santos & Fink-Gremmels (2014) relataram contaminação de ácido micofenólico, DON, ZEA e fumonisina B1 em silagens de gramíneas amostradas em 3 fazendas nas quais vacas leiteiras apresentavam perda de condição corporal, sinais de claudicação e baixa produção de leite. Nas fazendas, os animais são mais expostos a quantidades moderadas de várias micotoxinas do que a altos níveis de uma única micotoxina, resultando em problemas digestivos e de saúde inespecíficos.

Efeito da ingestão de micotoxinas por bovinos

Ruminantes são relativamente resistente a DON, pois alguns microrganismos ruminais podem converter extensivamente a DON em um composto não tóxico. Charmley et al. (1993) e Korosteleva et al. (2009) relataram que não houve redução na produção de leite de vacas leiteiras que consumiram dieta contaminada com DON (2,6 a 6,5 mg/kg).

As fumonisinas representam a ameaça frequente para os bovinos entre as micotoxinas, com uma prevalência de 64% amostras de alimentos para gado coletadas nos Estados Unidos, Europa e Ásia (Rodrigues & Naehrer, 2012) e cerca de 48,6% silagens de milho amostradas no Brasil. Como essa micotoxina também é degradável no rúmen (60 a 90%), tende a ser menos potente em ruminantes. No entanto, a fumonisina foi identificada ser nefrotóxica para bezerros alimentados com 1.000 µg/kg de PC de toxina. Diaz et al. (2004) relataram menor produção de leite em Vacas Holstein e Jersey alimentadas com dietas contendo 100 mg/kg de fumonisina de sete dias antes do parto até 70 dias após parto. No entanto, o transporte da toxina para leite é normalmente insignificante (Scott et al., 1994).

A semelhança estrutural de ZEA com o estrogênio permite a toxina para imitar o hormônio (Saeger et al., 2003), que pode causar diversos problemas reprodutivos, como hiperestrogenismo, vaginite e aumento glândula mamária, particularmente em suínos (Diekman & Green, 1992; Marczuk et al., 2012). Os ruminantes são menos suscetíveis do que suínos para a toxina devido a microbiota ruminal, notavelmente protozoários, que possuem potencial de converter ZEA em seus metabólitos de hidroxila, α - e β -zearalenol (Kennedy et al., 1998). No entanto, a desintoxicação capacidade de micróbios ruminais pode ser excedida por alto entradas de ZEA. Weaver et al. (1986) relataram reduzido taxas de concepção em novilhas leiteiras alimentadas com 12.500 µg/kg de ZEA. Além disso, diminuiu a ingestão e a produção de leite, diarreia e falha reprodutiva foram relatados em novilhas alimentadas com dietas contaminadas com 660 µg/kg de ZEA e 440 µg/kg de DON (Coppock et al., 1990). A principal preocupação com a toxicidade da ZEA é seu efeito negativo na saúde e reprodução animal pois, como fumonisinas, a transferência para o leite é insignificante.

As aflatoxinas são um grupo de substâncias tóxicas produzidas por diversas cepas de *Aspergillus* e são prevalentes principalmente em regiões com clima tropical ou climas subtropicais (Cheli et al., 2013). Aflatoxina B1 (AFB1) é a principal toxina e o carcinógeno natural mais potente produzido por espécies toxigênicas de *Aspergillus* (Squire, 1981). A exposição crônica a aflatoxinas em dietas de vacas em lactação pode causar efeitos adversos, como redução da saúde e do desempenho das vacas, comprometimento da função hepática, diminuição do estado imunológico e aumento da suscetibilidade a doenças, apesar das vacinações (Diekman & Green, 1992). Queiroz et al. (2012) observaram diminuição da produção de leite e da concentração de proteína do leite, bem como alteração da resposta imunológica em vacas leiteiras alimentadas com 75 µg/kg de aflatoxina diariamente por 5 dias. No entanto, outros estudos não relataram alterações na produção de leite quando 170 ou 112 µg/kg (Kutz et al., 2009) de AFB1/kg de TMR/MS foram alimentados por 7 ou 11 dias, respectivamente. Essa contradição pode ocorrer porque vários fatores, além da quantidade ingerida, podem influenciar a

resposta das vacas à toxina; tais fatores podem incluir calor ou estresse acidótico, doença subclínica e assim por diante.

O ácido micofenólico e roquefortinas são as toxinas de *Penicillium* mais estudadas em forragens ensiladas ([Gallo et al., 2015](#)). Sintomas como distúrbios reprodutivos, mastite e falta de apetite foram detectados em rebanhos de gado alimentados silagens contendo 0,2 a 1,5 mg de roquefortina C/kg no norte da Alemanha ([Auerbach et al., 1998](#)). Além disso, efeitos paralíticos foram relatados em vacas alimentadas com 4 a 8 mg de roquefortina C/kg ([Häggbloom, 1990](#)). Já o ácido micofenólico é considerado um agente imunossupressor porque bloqueia a resposta proliferativa dos linfócitos T e B e inibe a formação de anticorpos e a produção de células T citotóxicas ([Eugui et al., 1991](#)).

No entanto, a co-contaminação de alimentos por várias micotoxinas é comum em fazendas ([Keller et al., 2013](#); [Kosicki et al., 2016](#)), pois a maioria dos fungos pode produzir várias micotoxinas, e vários fungos podem contaminar simultaneamente um único alimento ([Allassane-Kpembi et al., 2017](#); [Bottalico, 1998](#); [Sweeney & Dobson, 1998](#)). Portanto, estudar a ocorrência e os efeitos de uma única micotoxina provavelmente fornece informações incompletas ou tendenciosas sobre os riscos associados, uma vez que os efeitos sinérgicos negativos de várias toxinas na dieta podem piorar os problemas de saúde e a produção. Santos & Fink-Gremmels ([2014](#)) relataram altos níveis de contaminação de ácido micofenólico, DON, ZEA e fumonisina B1 em silagens de gramíneas amostradas em 3 fazendas nas quais vacas leiteiras apresentavam perda de condição corporal, sinais de claudicação sem doença clara e baixo produção de leite com aumento da CCS.

Prevenção e mitigação da produção de micotoxinas

A prevenção da contaminação por micotoxinas produzidas por fungos toxigênicos começa no campo, reduzindo o estresse ambiental da planta usando variedades ou híbridos adaptados às condições locais e resistentes à infecção fúngica, evitando a infestação de insetos e fungos por meio da aplicação de pesticidas e fungicidas. O uso de irrigação para prevenir o estresse hídrico, rotação de culturas em tempo hábil e fertilização adequada, também são efetivas na prevenção ([Whitlow & Hagler, 2005](#)).

A altura de corte das colheitadeiras deve ser definida para minimizar a contaminação com solo devido à presença de esporos de *Fusarium* no solo ([Jouany, 2007](#)). Além disso, o armazenamento atrasado da lavoura pode expor as plantas da cultura às condições de temperatura e umidade que favorecem o crescimento contínuo de fungos toxigênicos e a contaminação por micotoxinas ([Munkvold, 2014](#)). Para minimizar ou prevenir a contaminação de micotoxinas, as forragens devem ser colhidas na concentração de MS ou estágio de maturidade recomendados. Além disso, os silos devem ser preenchidos rapidamente, com as densidades recomendadas e vedados para preservar as condições anaeróbicas ([Jouany, 2007](#)). Exceto o *Penicillium*, os fungos que contaminam as silagens são intolerantes às condições de baixo oxigênio e pH ([Woolford & Pahlow, 1998](#)). Uma vez abertos os silos, as condições aeróbicas permitem o crescimento de leveduras que metabolizam o lactato em CO₂ e, com isso, aumentam o pH ([Muck, 2010](#)). O pH aumentado e a exposição ao oxigênio permitem que fungos cresçam durante a fase de desabastecimento do silo ([Driehuis et al., 2018](#); [McDonald, 1981](#)), principalmente em silagens mal confeccionadas.

As estratégias de detoxificação de micotoxinas têm como objetivo destruir, reduzir a concentração, tornar não tóxica e/ou indisponível para absorção no intestino de ruminantes ([CAST, 2003](#)). Apesar das tentativas para prevenir ou minimizar, as estratégias de controle atuais não são totalmente eficazes para garantir a completa detoxificação para níveis seguros. Uma estratégia segura e relativamente econômica para reduzir os problemas associados à ingestão de micotoxinas é diminuir sua biodisponibilidade no intestino com agentes sequestrantes nas dietas ([CAST, 2003](#)). Os mecanismos de adsorção compreendem a ligação de minerais e/ou compostos orgânicos às micotoxinas. Esses adsorventes podem ser usados em silagens para reduzir a absorção de micotoxinas no trato gastrointestinal.

Adsorventes de argila

Os minerais de argila formados pelo intemperismo químico podem reter nutrientes dissolvidos devido às suas cargas elétricas desequilibradas ([Velde & Meunier, 2008](#)). As aflatoxinas podem ser adsorvidas nessa estrutura porosa e ficar presas por cargas elétricas ([Jouany, 2007](#)). Os minerais de

argila mais extensivamente estudados são conhecidos como aluminossilicato de cálcio e sódio hidratado (HSCAS). Entre os HSCAS, a montmorilonita é um dos mais usados devido à alta afinidade pela aflatoxina B1 (AFB1) (Phillips et al., 2002).

Queiroz et al. (2012) avaliaram os efeitos da adição de 0,2 e 1,0% da MS da dieta de um agente sequestrante de micotoxinas à base de argila de montmorilonita e relataram que a alta dose reduziu a concentração de aflatoxina M1 (AFM1) no leite em 19,3%. Além disso, Maki et al. (2016) demonstraram que a argila montmorilonita (1% da MS da dieta) reduziu a concentração de AFM1 no leite de 1,07 para 0,52% e não teve influência negativa no consumo de ração, minerais, vitaminas e produção de leite de vacas leiteiras. Um recente estudo relatou uma redução ($P = 0,02$) de 3% na produção de leite à medida que a concentração do produto argiloso aumentou de 0,5 para 2,0% em vacas leiteiras alimentadas com 100 µg/kg de aflatoxinas dietéticas, porém obteve uma concentração significativamente menor de aflatoxina no leite ($P = 0,01$), nas fezes ($P = 0,03$) e no fluido ruminal ($P = 0,01$) (Sulzberger et al., 2017). O produto de argila usado neste estudo continha vermiculita, não-tronita e montmorilonita.

Adsorventes à base de levedura

O sequestro de micotoxinas *in vitro* e *in vivo* pela levedura ocorre pela adesão da toxina aos principais componentes da parede celular, como a manano e a β -glucano (Pfliegler et al., 2015). A adição de beta-glucanos em 0,05% da dieta para vacas leiteiras foi capaz de ligar as aflatoxinas, a ocratoxina e a toxina T-2 e reduzir a concentração de AFM1 do leite em 59% em uma dieta contaminada com 55 µg/kg de AFB1 (Diaz et al., 2004). No entanto, nenhum efeito de produtos de levedura foi encontrado em dietas contaminadas com 122 µg/kg de AFB1 (Kutz et al., 2009), indicando que a eficácia dos produtos de levedura é provavelmente dependente da extensão da contaminação. Além disso, Freimund et al. (2003) observaram que um polímero de glucana foi capaz de se ligar à toxina T-2 e ZEA *in vitro*. Outro benefício da adição de levedura ou produtos de levedura às dietas é que o β -glucano pode melhorar o desempenho dos animais, estimulando respostas imunológicas específicas e não específicas (Keller et al., 2015).

As paredes celulares da levedura contêm polissacarídeos (glucanas, quitinas e mananas), proteínas e lipídeos e, portanto, possuem vários locais de adsorção de micotoxinas e de fácil acesso. Em comparação com células de levedura viáveis, o uso de apenas paredes celulares de levedura aumenta a ligação às micotoxinas. O tratamento com calor ou ácido aumenta significativamente a capacidade de ligação das paredes celulares da levedura às micotoxinas (Jouany, 2007).

Adsorventes de combinação

Os estudos que comparam a eficácia do produto combinado com a de seus componentes isolados são raros. Xiong et al. (2015) avaliaram a adição de uma mistura de montmorilonita de sódio com levedura viva, cultura de levedura e mananoglucosacarídeo em 0,25% de MS da dieta. A mistura reduziu a transferência de AFB1 de dietas contaminadas com 20 µg/kg de AFB1 para o leite em 16%, mas não teve efeito quando as dietas foram contaminadas com 40 µg/kg de AFB1. Em outro estudo, Ogunade et al. (2016) avaliaram um produto que continha uma mistura de *Saccharomyces cerevisiae*, argila e produtos à base de clorofila em vacas leiteiras que ingeriram 1.725 µg de AFB1. O agente sequestrante não teve efeito ($P = 0,74$) na transferência da toxina para o leite. Segundo os autores, esse efeito deve ter ocorrido devido à dose baixa (20 g/dia) do produto que forneceu argila insuficiente aos animais. O fornecimento de 200 g/dia de um produto de argila junto com 35 g/dia de um produto de levedura reduziu ($P < 0,01$) a transferência de AFB1 para o leite em aproximadamente 43% e não influenciou ($P = 0,08$) a produção de leite de vacas que ingeriram 1.725 µg da toxina (Jiang et al., 2018). Um produto de combinação que continha enzimas degradantes de micotoxinas e adsorventes minerais aumentou ($P < 0,05$) a produção de leite em 12% de vacas leiteiras alimentadas com dietas naturalmente contaminadas com até 10 µg/kg de AFB1, 1.000 µg/kg de ZEA e 600 µg/kg de DON (Jovaisiene et al., 2016).

Inoculantes bacterianos

Devido ao seu papel fermentativo, as bactérias do ácido láctico (BAL) e as bactérias do ácido propiônico (BAP) podem ser particularmente bem adaptadas para a desintoxicação da silagem. Algumas BAL e BAP também podem ligar micotoxinas à sua parede celular.

Niderkorn et al. (2007) testaram a capacidade de 202 cepas de bactérias fermentativas isoladas da silagem de se ligar a DON, ZEA e fumonisinas B1 e B2 em um modelo *in vitro* em condições microaerofílicas. Em todas as cepas, a fumonisina B2 foi a micotoxina removida com mais eficiência. Entre as cepas, o destaque foi o *Streptococcus thermophilus* que se ligou em até 49, 33, 24 e 62% da ZEA, DON, FB1 e FB2, respectivamente. Niderkorn et al. (2006) relataram que a DON, a nivalenol, as fumonisinas B1 e B2 e a ZEA podem ser sequestrados em meio ácido (pH 4) por cepas de BAL e BAP isoladas de silagem. A remoção de fumonisinas foi maior em pH 4 e diminuiu drasticamente com valores de pH mais altos. A remoção de ZEA, DON e nivalenol não foi influenciada pelo pH. Segundo os autores, as BAP parecem ser menos eficientes na remoção do DON em meio ácido do que as BAL. Topcu et al. (2010) e Zhao et al. (2016) observaram taxa de ligação máxima do *Lactobacillus plantarum* e do *Lactobacillus pentosus* com fumonisinas em pH 3. No entanto, em pH 7 a taxa de ligação com ambas as cepas foi próxima de zero. Uma explicação para esse fenômeno, é que as ligações glicosídicas entre os polissacarídeos da parede celular e as ligações de tiamina entre as proteínas da parede celular seriam quebradas em condições ácidas, o que altera a estrutura original da parede celular e aumenta a interação entre toxinas e células bacterianas (Qi et al., 2011).

Considerações finais

Os problemas associados às micotoxinas na silagem podem ser minimizados, o que evita o crescimento de fungos antes e depois da ensilagem. Adsorventes de micotoxinas são comercialmente importantes. Porém, aditivos bacterianos, principalmente as BAL, melhoraram a fermentação da silagem e apresentam a capacidade de adsorção e degradação de micotoxinas. Portanto, o manejo adequado da silagem e o uso de adsorventes ou inoculantes microbianos são interessantes para reduzir a contaminação por micotoxinas de alimentos para os bovinos.

Referências bibliográficas

- Alassane-Kpembi, I., Schatzmayr, G., Taranu, I., Marin, D., Puel, O., & Oswald, I. P. (2017). Mycotoxins co-contamination: Methodological aspects and biological relevance of combined toxicity studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(16), 3489–3507. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1140632>.
- Auerbach, H., Oldenburg, E., & Weissbach, F. (1998). Incidence of *Penicillium roqueforti* and roquefortine C in silages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(4), 565–572. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199804\)76:4<565::AID-JSFA990>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199804)76:4<565::AID-JSFA990>3.0.CO;2-6).
- Bottalico, A. (1998). Fusarium diseases of cereals: species complex and related mycotoxin profiles, in Europe. *Journal of Plant Pathology*, 80(2), 85–103. <https://doi.org/10.4454/jpp.v80i2.807>.
- CAST - Council for Agricultural Science and Technology. Mycotoxins: Risk in plant, animal and human systems. Task Force Report No. 139. Ames, IA, 2003. <https://www.cast-science.org/publication/mycotoxins-risks-in-plant-animal-and-human-systems/>
- Charmley, E., Nicholson, J. W. G., & Zee, J. A. (1993). Effect of supplemental vitamin E and selenium in the diet on vitamin E and selenium levels and control of oxidized flavor in milk from Holstein cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 73(2), 453–457. <https://doi.org/10.4141/cjas93-049>
- Cheli, F., Campagnoli, A., & Dell'Orto, V. (2013). Fungal populations and mycotoxins in silages: From occurrence to analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 183(1–2), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.01.013>.
- Coppock, R. W., Mostrom, M. S., Sparling, C. G., Jacobsen, B., & Ross, S. C. (1990). Apparent zearalenone intoxication in a dairy herd from feeding spoiled acid-treated corn. *Veterinary and Human Toxicology*, 32(3), 246–248.
- Diaz, D. E., Hagler, W. M., Blackwelder, J. T., Eve, J. A., Hopkins, B. A., Anderson, K. L., Jones, F. T., & Whitlow, L. W. (2004). Aflatoxin binders II: Reduction of aflatoxin M1 in milk by sequestering agents of cows consuming aflatoxin in feed. *Mycopathologia*, 157(2), 233–241. <https://doi.org/10.1023/b:myco.0000020587.93872.59>.
- Diekman, M. A., & Green, M. L. (1992). Mycotoxins and reproduction in domestic livestock. *Journal of Animal Science*, 70(5), 1615–1627. <https://doi.org/10.2527/1992.7051615x>.

- 293 Driehuis, F., Spanjer, M. C., Scholten, J. M., & Te Giffel, M. C. (2008). Occurrence of mycotoxins in
294 feedstuffs of dairy cows and estimation of total dietary intakes. *Journal of Dairy Science*, 91(11),
295 4261–4271. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1093>.
- 296 Driehuis, F., Wilkinson, J. M., Jiang, Y., Ogunade, I., & Adesogan, A. T. (2018). Silage review: animal
297 and human health risks from silage. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4093–4110.
298 <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13836>.
- 299 Egal, S., Hounsa, A., Gong, Y. Y., Turner, P. C., Wild, C. P., Hall, A. J., Hell, K., & Cardwell, K. F.
300 (2005). Dietary exposure to aflatoxin from maize and groundnut in young children from Benin and
301 Togo, West Africa. *International Journal of Food Microbiology*, 104(2), 215–224.
302 <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.03.004>.
- 303 Eugui, E. M., Almquist, S. J., Muller, C. D., & Allison, A. C. (1991). Lymphocyte-selective cytostatic and
304 immunosuppressive effects of mycophenolic acid in vitro: role of deoxyguanosine nucleotide depletion.
305 *Scandinavian Journal of Immunology*, 33(2), 161–173. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3083.1991.tb03746.x>.
- 306 Fink-Gremmels, J. (2008). Mycotoxins in cattle feeds and carry-over to dairy milk: A review. *Food*
307 *Additives and Contaminants*, 25(2), 172–180. <https://doi.org/10.1080/02652030701823142>.
- 308 Freimund, S., Sauter, M., & Rys, P. (2003). Efficient adsorption of the mycotoxins zearalenone and T-
309 2 toxin on a modified yeast glucan. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 38(3),
310 243–255. <https://doi.org/10.1081/pfc-120019892>.
- 311 Gallo, A., Giuberti, G., Frisvad, J. C., Bertuzzi, T., & Nielsen, K. F. (2015). Review on mycotoxin issues
312 in ruminants: occurrence in forages, effects of mycotoxin ingestion on health status and animal
313 performance and practical strategies to counteract their negative effects. *Toxins*, 7(8), 3057–3111.
- 314 Häggblom, P. (1990). Isolation of roquefortine C from feed grain. *Applied and Environmental*
315 *Microbiology*, 56(9), 2924–2926. <https://doi.org/10.1128/aem.56.9.2924-2926.1990>.
- 316 Jensen, T., De Boevre, M., De Saeger, S., Preußke, N., Sönnichsen, F. D., Kramer, E., Klink, H., Verreet,
317 J.-A., & Birr, T. (2020). Effect of ensiling duration on the fate of deoxynivalenol, zearalenone and
318 their derivatives in maize silage. *Mycotoxin Research*, 36(2), 127–136.
319 <https://doi.org/10.1007/s12550-019-00378-4>.
- 320 Jiang, Y., Ogunade, I. M., Kim, D. H., Li, X., Pech-Cervantes, A. A., Arriola, K. G., Oliveira, A. S.,
321 Driver, J. P., Ferraretto, L. F., & Staples, C. R. (2018). Effect of adding clay with or without a
322 *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on the health and performance of lactating dairy
323 cows challenged with dietary aflatoxin B1. *Journal of Dairy Science*, 101(4), 3008–3020.
324 <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13678>.
- 325 Jouany, J. P. (2007). Methods for preventing, decontaminating and minimizing the toxicity of
326 mycotoxins in feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 137(3–4), 342–362.
327 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.009>.
- 328 Jovaisiene, J., Bakutis, B., Baliukoniene, V., & Gerulis, G. (2016). *Fusarium* and *Aspergillus*
329 mycotoxins effects on dairy cow health, performance and the efficacy of anti-mycotoxin additive.
330 *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 19(1), 79–87. <https://doi.org/10.1515/pjvs-2016-0011>.
- 331 Keller, L. A. M., Pereyra, M. L. G., Keller, K. M., Alonso, V. A., Oliveira, A. A., Almeida, T. X.,
332 Barbosa, T. S., Nunes, L. M. T., Cavaglieri, L. R., & Rosa, C. A. R. (2013). Fungal and mycotoxins
333 contamination in corn silage: Monitoring risk before and after fermentation. *Journal of Stored*
334 *Products Research*, 52, 42–47. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2012.09.001>.
- 335 Keller, L., Abrunhosa, L., Keller, K., Rosa, C. A., Cavaglieri, L., & Venâncio, A. (2015). Zearalenone
336 and its derivatives α -zearalenol and β -zearalenol decontamination by *Saccharomyces cerevisiae*
337 strains isolated from bovine forage. *Toxins*, 7(8), 3297–3308. <https://doi.org/10.3390/toxins7083297>.
- 338 Kennedy, D. G., Hewitt, S. A., McEvoy, J. D. G., Currie, J. W., Cannavan, A., Blanchflower, W. J., &
339 Elliot, C. T. (1998). Zeranone is formed from *Fusarium* spp. toxins in cattle in vivo. *Food Additives &*
340 *Contaminants*, 15(4), 393–400. <https://doi.org/10.1080/02652039809374658>.
- 341 Korosteleva, S. N., Smith, T. K., & Boermans, H. J. (2009). Effects of feed naturally contaminated with *Fusarium*
342 mycotoxins on metabolism and immunity of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(4), 1585–1593.

- Kosicki, R., Błajet-Kosicka, A., Grajewski, J., & Twarużek, M. (2016). Multiannual mycotoxin survey in feed materials and feedingstuffs. *Animal Feed Science and Technology*, 215, 165–180. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.03.012>.
- Kutz, R. E., Sampson, J. D., Pompeu, L. B., Ledoux, D. R., Spain, J. N., Vazquez-Anon, M., & Rottinghaus, G. E. (2009). Efficacy of Solis, NovasilPlus, and MTB-100 to reduce aflatoxin M1 levels in milk of early to mid lactation dairy cows fed aflatoxin B1. *Journal of Dairy Science*, 92(8), 3959–3963. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2031>.
- Maki, C. R., Thomas, A. D., Elmore, S. E., Romoser, A. A., Harvey, R. B., Ramirez-Ramirez, H. A., & Phillips, T. D. (2016). Effects of calcium montmorillonite clay and aflatoxin exposure on dry matter intake, milk production, and milk composition. *Journal of Dairy Science*, 99(2), 1039–1046. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10242>.
- Marczuk, J., Obremski, K., Lutnicki, K., Gajecka, M., & Gajecki, M. (2012). Zearalenone and deoxynivalenol mycotoxicosis in dairy cattle herds. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 15(2), 365–372. <https://doi.org/10.2478/V10181-012-0055-X>.
- McDonald, P. (1981). *The biochemistry of silage*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Muck, R. E. (2010). Silage microbiology and its control through additives. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(Supl), 183–191. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010001300021>.
- Munkvold, G. P. (2014). Crop management practices to minimize the risk of mycotoxins contamination in temperate-zone maize. *Mycotoxin Reduction in Grain Chains*, 59–75. <https://doi.org/10.1002/9781118832790.ch5>.
- Nevarez, L., Vasseur, V., Le Madec, A., Le Bras, M. A., Coroller, L., Leguérinel, I., & Barbier, G. (2009). Physiological traits of *Penicillium glabrum* strain LCP 08.5568, a filamentous fungus isolated from bottled aromatised mineral water. *International Journal of Food Microbiology*, 130(3), 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.01.013>.
- Niderkorn, V., Boudra, H., & Morgavi, D. P. (2006). Binding of *Fusarium* mycotoxins by fermentative bacteria in vitro. *Journal of Applied Microbiology*, 101(4), 849–856. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02958.x>.
- Niderkorn, V., Morgavi, D. P., Pujos, E., Tissandier, A., & Boudra, H. (2007). Screening of fermentative bacteria for their ability to bind and biotransform deoxynivalenol, zearalenone and fumonisins in an in vitro simulated corn silage model. *Food Additives and Contaminants*, 24(4), 406–415. <https://doi.org/10.1080/02652030601101110>.
- Ogunade, I. M., Arriola, K. G., Jiang, Y., Driver, J. P., Staples, C. R., & Adesogan, A. T. (2016). Effects of 3 sequestering agents on milk aflatoxin M1 concentration and the performance and immune status of dairy cows fed diets artificially contaminated with aflatoxin B1. *Journal of Dairy Science*, 99(8), 6263–6273. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10905>.
- Ogunade, I. M., Martinez-Tupia, C., Queiroz, O. C. M., Jiang, Y., Drouin, P., Wu, F., Vyas, D., & Adesogan, A. T. (2018). Silage review: Mycotoxins in silage: Occurrence, effects, prevention, and mitigation. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4034–4059. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13788>.
- Pfliegler, W., Pusztahelyi, T., & Pócsi, I. (2015). Mycotoxins-Prevention and decontamination by yeasts. *Journal of Basic Microbiology*, 55(7), 805–818. <https://doi.org/10.1002/jobm.201400833>.
- Phillips, T. D., Lemke, S. L., & Grant, P. G. (2002). Characterization of clay-based enterosorbents for the prevention of aflatoxicosis. *Mycotoxins and Food Safety*, 504, 157–171. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0629-4_16.
- Ponts, N. (2015). Mycotoxins are a component of *Fusarium graminearum* stress-response system. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1234. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01234>.
- Qi, Y., Zhang, J., Pan, X., Pei, J., & Zhang, B. (2011). Binding of benzo (a) pyrene by *Lactobacilli* strains. *Acta Microbiologica Sinica*, 51(7), 956–964.
- Queiroz, O. C. M., Han, J. H., Staples, C. R., & Adesogan, A. T. (2012). Effect of adding a mycotoxin-sequestering agent on milk aflatoxin M1 concentration and the performance and immune response of dairy cattle fed an aflatoxin B1-contaminated diet. *Journal of Dairy Science*, 95(10), 5901–5908. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5287>.

- Rodrigues, I., & Naehrer, K. (2012). A three-year survey on the worldwide occurrence of mycotoxins in feedstuffs and feed. *Toxins*, 4(9), 663–675. <https://doi.org/10.3390%2Ftoxins4090663>.
- Saeger, S., Sibanda, L., & Van Peteghem, C. (2003). Analysis of zearalenone and α -zearalenol in animal feed using high-performance liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta*, 487(2), 137–143. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(03\)00555-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(03)00555-5).
- Santos, R. R., & Fink-Gremmels, J. (2014). Mycotoxin syndrome in dairy cattle: Characterisation and intervention results. *World Mycotoxin Journal*, 7(3), 357–366. <https://doi.org/10.3920/WMJ2013.1577>.
- Scott, P. M., Delgado, T., Prelusky, D. B., Trenholm, H. L., & Miller, J. D. (1994). Determination of fumonisins in milk. *Journal of Environmental Science & Health Part B*, 29(5), 989–998. <https://doi.org/10.1080/03601239409372913>.
- Squire, R. A. (1981). Ranking animal carcinogens: a proposed regulatory approach. *Science*, 214(4523), 877–880. <https://doi.org/10.1126/science.7302565>.
- Sulzberger, S. A., Melnichenko, S., & Cardoso, F. C. (2017). Effects of clay after an aflatoxin challenge on aflatoxin clearance, milk production, and metabolism of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 100(3), 1856–1869. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11612>.
- Sweeney, M. J., & Dobson, A. D. W. (1998). Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. *International Journal of Food Microbiology*, 43(3), 141–158. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(98\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(98)00112-3).
- Topcu, A., Bulat, T., Wishah, R., & Boyacı, I. H. (2010). Detoxification of aflatoxin B1 and patulin by *Enterococcus faecium* strains. *International Journal of Food Microbiology*, 139(3), 202–205. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.03.006>.
- Tsitsigiannis, D. I., Dimakopoulou, M., Antoniou, P. P., & Tjamos, E. C. (2012). Biological control strategies of mycotoxigenic fungi and associated mycotoxins in Mediterranean basin crops. *Phytopathologia Mediterranea*, 51(1), 158–174. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-9497.
- Uegaki, R., Tsukiboshi, T., & Tohno, M. (2013). Changes in the concentrations of fumonisin, deoxynivalenol and zearalenone in corn silage during ensilage. *Animal Science Journal*, 84(9), 656–662. <https://doi.org/10.1111/asj.12053>.
- Velde, B. B., & Meunier, A. (2008). *The origin of clay minerals in soils and weathered rocks*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-75634-7>.
- Weaver, G. A., Kurtz, H. J., Behrens, J. C., Robison, T. S., Seguin, B. E., Bates, F. Y., & Mirocha, C. J. (1986). Effect of zearalenone on the fertility of virgin dairy heifers. *American Journal of Veterinary Research*, 47(6), 1395–1397.
- Whitlow, L. W., & Hagler, W. M. (2005). Mycotoxins in dairy cattle: Occurrence, toxicity, prevention and treatment. *Proceeding Southwest Nutrition Conference*, 124–138.
- Woolford, M. K., & Pahlow, G. (1998). *The silage fermentation*. Springer.
- Xiong, J. L., Wang, Y. M., Nennich, T. D., Li, Y., & Liu, J. X. (2015). Transfer of dietary aflatoxin B1 to milk aflatoxin M1 and effect of inclusion of adsorbent in the diet of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(4), 2545–2554. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7842>.
- Zhao, H., Wang, X., Zhang, J., Zhang, J., & Zhang, B. (2016). The mechanism of *Lactobacillus* strains for their ability to remove fumonisins B1 and B2. *Food and Chemical Toxicology*, 97, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.08.028>.

Histórico do artigo:**Recebido:** 6 de outubro de 2021**Aprovado:** 14 de novembro de 2021**Disponível online:** 31 de dezembro de 2021**Licenciamento:** Este artigo é publicado na modalidade Acesso Aberto sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 (CC-BY 4.0), a qual permite uso irrestrito, distribuição, reprodução em qualquer meio, desde que o autor e a fonte sejam devidamente creditados.