

TECNOLOGIA PARA REDUÇÃO DE FUMONISINAS EM MILHO POR MEIO DA APLICAÇÃO DE GÁS OZÔNIO EM BIOREATOR

Marcus V. R. Matos¹; Dagma D. da S. Araújo²; Maria L. F. Simeone²; Valéria A. V. Queiroz²; Rafael A. Miguel³; Leonardo V. L. Tusch⁴; Marco A. G. Pimentel^{2,5}

¹Estudante de Engenharia Agrônoma, Universidade Federal de São João Del Rey (UFSJ), Sete Lagoas, MG, Brasil;

²Pesquisadora Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brasil;

³Técnico em Química, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brasil;

⁴Diretor Nascente e NCT Biorreatores, São Paulo, SP, Brasil;

⁵Pesquisador(a) Embrapa Milho e Sorgo e orientador bolsista, Sete Lagoas, MG, Brasil.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the efficacy of ozone gas application in a bioreactor for reducing total fumonisin levels in naturally contaminated corn grains. Corn samples were subjected to ozonation for varying durations (1.0, 1.5, 2.0, 3.0, and 4.0 hours) and analyzed for total fumonisin (B1+B2) content. The results demonstrated a remarkable reduction in fumonisin levels, with a maximum decrease of 94.4% achieved after 4 hours of ozone treatment. This reduction effectively brought the corn samples within the most stringent acceptable standards (<1000 µg kg⁻¹) for feed production. The findings highlight the potential of ozone as an eco-friendly and efficient method for mitigating fumonisin contamination in corn grains.

PALAVRAS-CHAVES: Micotoxinas, detoxificação, ozonização.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de fumonisinias em milho é frequentemente relatada no Brasil (Franco et al., 2019; Palumbo et al., 2020), podendo gerar grandes riscos a produção animal e a segurança alimentar. A presença de teores elevados de fumonisinias está associado a diversos efeitos adversos na saúde animal, gerando prejuízos e reduzindo índices zootécnicos. Nos suínos, o consumo de alimentos contaminados pode acarretar anorexia, edema pulmonar e até mesmo a morte (Referências). No Brasil, o limite máximo de tolerância (LMT) para fumonisinias em milho em grão para posterior processamento é de 5000 µg kg⁻¹ (Brasil, 2011). Apesar da regulamentação governamental, os padrões adotados na produção de rações, podem ser mais restritivos, considerando as diferentes fases dos animais, quando são relatados LMT de até 1000 µg kg⁻¹, para alimentação de matrizes em fases de gestação ou lactação, por exemplo.

O controle de micotoxinas deve ser realizado de forma integrada, desde o plantio e condução da lavoura até as fases pós-colheita (Carvajal-Moreno et al., 2022). Nas etapas de pré-processamento dos grãos, como na armazenagem, ou mesmo na fabricação de rações, existem poucas tecnologias eficientes na redução de teores de micotoxinas. A ozonização é uma tecnologia emergente e tem ação sobre agentes contaminantes químicos e biológicos, como as micotoxinas, insetos, fungos e moléculas de compostos orgânicos (Ribeiro et al., 2022). A eficiência do gás ozônio na detoxificação de micotoxinas é amplamente relatada na literatura técnico científica, no entanto, a aplicação de gás ozônio, por via seca em grandes volumes de grãos ainda é restrita. A aplicação de gás ozônio por meio de um biorreator pode acarretar eficiência ao processo de tratamento dos grãos, garantindo segurança na aplicação aos operadores, e flexibilidade na instalação, adequando-se ao processo

produtivo da indústria. O objetivo do trabalho foi avaliar o processo de aplicação de gás ozônio no bioreator e sua eficiência na redução de teores de fumonisinas totais em grãos de milho.

MATERIAIS E METÓDOS

O experimento foi conduzido na Embrapa Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas, MG. Os grãos de milho utilizados nos experimentos de aplicação de gás ozônio no biorreator foram obtidos de plantios no campo experimental da unidade, com conteúdo de água médio de 13,0% e massa específica aparente média de 748,7 kg m⁻³. Este lote de milho homogêneo (840 kg) foi analisado previamente e apresentava contaminação natural de fumonisinas totais, com média de 5287,3 µg kg⁻¹. O lote de milho foi dividido em quatro sub-lotes, de aproximadamente 210 kg cada, que foram submetidos a aplicação de ozônio, constituindo-se quatro repetições do processo de aplicação de gás ozônio no biorreator. Os grãos foram submetidos a aplicação de ozônio por cinco períodos distintos, sendo 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 e 4,0 h. O biorreator protótipo desenvolvido pela empresa Nascente, foi construído em aço inoxidável com volume útil interno de 0,5 m³. O reator é equipado com rosca helicoidal central posicionado de forma vertical, para realizar a mistura do produto agrícola dentro do reator. Nos ensaios o helicoidal foi mantido girando ininterruptamente a aproximadamente 47 rotações por minuto (rpm). Acoplado ao reator foi utilizado um gerador de ozônio com capacidade de produção de até 60 g de ozônio (O₃) h⁻¹, que utilizou com insumo para produção de ozônio o oxigênio industrial. O gás ozônio produzido pelo gerador foi introduzido no reator por meio de 4 injetores localizados na parte inferior, a um fluxo de 10 L min⁻¹. Antes de cada aplicação foi verificada a produção de ozônio, por meio de determinações iodométricas por titulação. Uma amostra inicial (antes do início da aplicação) e após cada período de exposição (2,5 kg cada amostra), foram coletadas com auxílio de um calador, moídas, homogeneizadas e reduzidas para envio para as análises de micotoxinas. As análises de fumonisinas totais (B1 + B2) foram realizadas utilizando cromatografia líquida de alta eficiência acoplada a espectrometria

de massas (LCMS/MS), com os resultados expressos em micrograma (µg) de fumonisinas totais por quilograma (µg kg⁻¹) e limite de quantificação de 125 µg kg⁻¹. O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado com 4 repetições. A partir dos resultados das análises foi calculada a média dos teores de fumonisinas totais e o desvio padrão da média para cada tratamento. Os dados de teores de fumonisinas totais foram submetidos a análise de variância e ao teste Tukey (p<0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de fumonisinas totais variaram significativamente entre os tratamentos com aplicação de gás ozônio no bioreator em grãos de milho (P<0,0012). No experimento com aplicação de ozônio em grãos de milho, o lote selecionado apresentava teor inicial médio de fumonisinas totais de 5287,3 µg kg⁻¹. Após 4 horas de aplicação de gás ozônio no bioreator, o teor de fumonisinas totais verificado foi reduzido para 297,2 µg kg⁻¹, uma redução relativa de 94,4% quando comparado ao teor médio inicial (Tabela 1). Os dados obtidos de teores de fumonisinas totais demonstram uma tendência de redução linear com o aumento do período de aplicação de gás ozônio. Ribeiro et al. (2022) verificaram redução de 81,2% e 86,2% nas concentrações de fumonisina B1 e fumonisina B2, respectivamente, com a aplicação de uma concentração de 13,5 mg L⁻¹ ao longo de 24 horas de tratamento. As reduções de teores de fumonisinas totais observadas permitem o enquadramento do lote de milho utilizado, que inicialmente estariam fora de conformidade, abaixo do LMT para milho em grão para posterior processamento (até 5000 µg kg⁻¹), de acordo com a ANVISA, ou com o padrão adotado pelo mercado e recomendado por especialista em saúde e nutrição animal (até 1000 µg kg⁻¹). Dessa forma, e de acordo com os resultados obtidos no ensaio 3, verifica-se que a aplicação de ozônio no reator, é eficiente na redução de teores de fumonisinas totais em lotes de milho contaminados, acima dos teores permitidos ou estabelecidos por órgãos de controle ou pelo mercado, tornando o produto agrícola passível de uso na indústria processadora.

Tabela 1. Teores de fumonisinas totais em um lote de grãos de milho submetidos a ozonização no bioreator

Período de exposição ao ozônio (h)	Teores de fumonisinas totais ($\mu\text{g kg}^{-1}$)		E.P.M.*	Redução relativa (%)
Condição inicial (t0)	5287,3	a	2449,3	-
1,0	3162,4	ab	97,6	40,2
1,5	2654,7	ab	282,7	49,8
2,0	1689,8	b	176,9	68,0
3,0	893,0	b	78,1	83,1
4,0	297,2	b	36,5	94,4

*E.P.M. = Erro padrão da média. Coeficiente de Variação (%) = 47,66. As médias seguidas de uma mesma letra na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

CONCLUSÃO

A aplicação de ozônio no reator foi eficiente na redução de teores iniciais do lote de milho selecionado, com contaminação natural, com redução relativa de até 94,4% em grãos de milho, após 4 horas de aplicação. A aplicação de ozônio permitiu reduzir os teores de fumonisinas totais em grãos de milho, enquadrando o lote dentro dos padrões aceitáveis mais restritivos (<1000 $\mu\text{g kg}^{-1}$) para produção de rações.

BIBLIOGRAFIA

Brasil. 2011. Resolução RDC nº 7/2011. “Dispõe Sobre Limites Máximos Tolerados (LMT) Para Micotoxinas Em Alimentos”. http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/res0007_18_02_2011_rep.html.

CARVAJAL-MORENO, Magda. Mycotoxin challenges in maize production and possible control methods in the 21st century. *Journal of Cereal Science*, v. 103, p. 103293, 2022.

FRANCO, Larissa T. et al. Co-occurrence of mycotoxins in maize food and maize-based feed from small-scale farms in Brazil: A pilot study. *Mycotoxin research*, v. 35, p. 65-73, 2019.

PALUMBO, Roberta et al. Mycotoxins in maize. *Phytopathologia Mediterranea*, v. 59, n. 1, p. 5-28, 2020.

RIBEIRO, Daniel Francis et al. Ozone as a fungicidal and detoxifying agent to maize contaminated with fumonisins. *Ozone: Science & Engineering*, v. 44, n. 1, p. 38-49, 2022.