

Relação Entre o Teor de Amido e a Concentração de Fumonisinas Totais em Milho Cultivado em Três Sistemas de Produção



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura e Pecuária**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
257**

**Relação Entre o Teor de Amido e a
Concentração de Fumonisinhas Totais em Milho
Cultivado em Três Sistemas de Produção**

*Dagma Dionísia da Silva Araújo
Valeria Aparecida Vieira Queiroz
Maria Lucia Ferreira Simeone
Luciano Viana Cota
Rodrigo Veras da Costa
Álvaro Vilela de Resende
Emerson Borghi*

Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2023

Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG 424, Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente
Maria Marta Pastina

Secretária-Executiva
Elena Charlotte Landau

Membros
Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso Campanha, Roberto dos Santos Trindade e Maria Cristina Dias Paes.

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro (CRB-6/2749)

Tratamento das ilustrações
Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Foto da capa
Dagma Dionísia da Silva Araújo

1ª edição
Publicação digital (2023): PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Milho e Sorgo

Relação entre o teor de amido e a concentração de fumonisinas totais em milho cultivado em três sistemas de produção / Dagma Dionísia da Silva Araújo... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2023.

PDF (20 p.) : il. color. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 257).

1. *Zea mays*. 2. Contaminação fúngica. 3. Micotoxina. 4. Sistema de produção. I. Araújo, Dagma Dionísia da Silva. II. Queiroz, Valéria Aparecida Vieira. III. Simeone, Maria Lúcia Ferreira. IV. Cota, Luciano Viana. V. Costa, Rodrigo Veras da. VI. Resende, Álvaro Vilela de. VII. Borghi, Emerson. VIII. Sêrie.

CDD (21.ed.) 633.15

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução.....	8
Material e Métodos.....	9
Experimento de campo.....	9
Análise de teor de amido nos grãos.....	11
Análise de micotoxinas.....	11
Análise de dados.....	12
Resultados e Discussão	13
Conclusões.....	16
Referências.....	16

Relação Entre o Teor de Amido e a Concentração de Fumonisinhas Totais em Milho Cultivado em Três Sistemas de Produção

Dagma Dionísia da Silva Araújo¹

Valeria Aparecida Vieira Queiroz²

Maria Lucia Ferreira Simeone³

Rodrigo Veras da Costa⁴

Álvaro Vilela de Resende⁵

Emerson Borghi⁶

Resumo — O amido é uma importante fonte de energia para o milho, sendo o carboidrato mais comum na alimentação humana. A presença de amido favorece a infecção por fungos, entre eles, os produtores de fumonisinhas, um metabólito tóxico a humanos e animais. O milho é um componente importantes em sistemas produtivos diversificados, como aqueles em que a soja e braquiárias fazem parte. Entretanto, existem dúvidas se o teor de amido pode ser afetado pelos sistemas de produção e se há relação com as concentrações de fumonisinhas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a relação do teor de amido com a concentração de fumonisinhas em milho cultivado em três sistemas de produção: a) Sucessão milho no verão/pousio, correspondendo a uma condição de monocultura. b) Sucessão soja no verão/pousio/milho no verão. c) Soja + braquiária no verão/braquiária na entressafra/milho + braquiária no verão. Foram analisados os teores de amido

¹ Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia (Fitopatologia), pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG;

² Nutricionista, doutora em Nutrição, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG;

³ Química, doutora em Química, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG;

⁴ Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Fitopatologia), pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG;

⁵ Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG;

⁶ Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Agricultura), pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

e de fumonisinas totais nos grãos de milho. Houve diferença significativa entre os sistemas de cultivo de milho para o teor de fumonisinas totais e de amido. Sistemas de cultivo menos intensificados (milho monocultura e sucessão soja/milho) apresentaram teores maiores de amido e menores de fumonisinas que o sistema rotação soja/braquiária/milho/braquiária. O teor de amido teve relação com a concentração de fumonisinas e foi afetado pela composição de plantas no sistema de produção.

Termos para indexação: fumonisinas, amido, sistemas de produção de milho.

Relationship Between Starch Content and Total Fumonisin Concentration in Maize Grown in Three Production Systems

Abstract — Starch is an important source of energy for maize and is the most common carbohydrate in human food. The presence of starch allows infection by fungi, including those that produce fumonisins, a metabolite that is toxic to humans and animals. Maize is an important component in diversified growing systems, such as those in which soybean and brachiaria are components. However, there are doubts as to whether starch content can be affected by growing systems and whether there is a relationship with fumonisin concentrations. The aim of this study was to assess the relationship between starch content and fumonisin concentration in maize grown in three production systems: a) Summer maize succession/fallow, corresponding to a monoculture condition. b) Summer soybean succession/fallow/Summer maize. c) Summer soybean + brachiaria/brachiaria at off-season/Summer maize + brachiaria. The starch content and total fumonisins in the maize grains were analyzed. There was a significant difference between the maize growing systems in terms of total fumonisins and starch content. Less intensified cultivation systems (monoculture maize and soybean/maize succession) had higher starch and lower fumonisin contents than the soybean/brachiaria/maize/brachiaria rotation system. The starch content was related to the concentration of fumonisins and it was affected by the composition of plants in the growing system.

Index terms: fumonisins, starch, maize farming systems.

Introdução

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, superado apenas pelos Estados Unidos e pela China, sendo o milho a segunda cultura em valor econômico para o nosso País, atrás apenas da soja. A Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) prevê uma produção acima de 127 milhões de toneladas nas três safras brasileiras, para o período 2022/2023 (Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, 2023).

Um dos principais problemas para a cultura do milho é a contaminação de grãos por patógenos, especialmente os fungos. Por ser rico em nutrientes e tendo como componente principal o amido, os grãos de milho se tornam um substrato perfeito para os fungos (Marín et al., 1998; Bankole; Adebajo, 2003; Marques et al., 2009). A colonização de grãos por fungos altera a qualidade nutricional e afeta a produção por causa da redução no peso, o que causa prejuízos para a economia brasileira. Além disso, vários fungos que contaminam os grãos são produtores de micotoxinas, metabólitos tóxicos a humanos e animais, produzidos em pré e pós-colheita (Hermanns et al., 2006; Berthiller et al., 2007; Silva et al., 2015). No Brasil, as fumonisinas são as mais comuns entre as micotoxinas do milho, sendo o fungo *Fusarium verticillioides* seu principal produtor, detectado em mais de 90% das amostras (Lanza et al., 2014). Nos Estados Unidos, no Brasil, na Itália, na China e no continente africano, o consumo de milho com fumonisinas foi associado a câncer de esôfago e/ou hepático. Outra micotoxina importante é a zearalenona (ZEA), produzida por *Fusarium graminearum* (Bennett; Klich, 2003). Análogo ao estrógeno, a ZEA afeta a reprodução, causando hiperestrogenismo em suínos, afeta a produção de leite, altera a tireoide e as glândulas mamárias, reduz o peso dos testículos e a produção de testosterona nesses animais. Para os humanos, essa micotoxina é carcinogênica (Iamanaka et al., 2010; Peraica et al., 2014).

As micotoxinas são repassadas na cadeia alimentar por meio da carne, dos ovos, do leite e derivados, das rações e outros, mesmo após o processamento, levando a problemas crônicos de saúde (Ferreira et al., 2013; Alim et al., 2018; Oueslati et al., 2018). A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) estima que, no mundo, cerca de 25% dos alimentos estejam contaminados com micotoxinas (Pereira et al., 2014). Já no Brasil,

Scussel (2002) relata cerca de 45% do milho contaminado com micotoxinas. Esses dados justificam a preocupação com a contaminação do milho no País.

Em relação à contaminação por micotoxinas, fatores bióticos e abióticos podem resultar em aumento ou redução delas. Entre eles, estão a suscetibilidade dos híbridos aos fungos toxigênicos, fatores climáticos (temperatura, umidade, estresse hídrico, injúrias por insetos e pássaros) e o manejo da cultura (data de plantio, de colheita, práticas de cultivo, fertilização, rotação de culturas, irrigação) (Bhuiyan et al., 2010; Borràs-Vallverdú et al., 2022). Esses fatores podem afetar a composição dos grãos, com aumento ou redução deles. Entre os principais componentes dos grãos, o amido, um polissacarídeo, destaca-se por sua função de reserva de energia para as plantas, sendo estratégico para o desenvolvimento de fungos (Stelato et al., 2010). Faltam informações sobre quais componentes do milho podem afetar a produção de padrões de fumonisinias, portanto, Lazzaro et al. (2013) avaliaram o papel da farinha de milho e do amido de milho como únicas fontes de nutrição na dinâmica de produção de fumonisinias por diferentes isolados de *Fusarium verticillioides* e de *Fusarium proliferatum*. Foi observado que a produção de fumonisinias foi mais elevada no meio à base de farinha de milho do que no meio à base de amido em ambas as espécies de *Fusarium*.

Apesar de haver estudos que associem teores de amido à síntese de micotoxinas, faltam informações sobre a influência dos sistemas de produção em que o milho está inserido no aumento ou na redução de amido e as consequências em concentrações de micotoxinas. Dessa forma, como o teor de amido nos grãos pode ser afetado pelos sistemas produtivos de grãos e pode influenciar a síntese de micotoxinas, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de sistemas de cultivo no teor de amido e de fumonisinias em grãos de milho.

Material e Métodos

Experimento de campo

O experimento foi conduzido a partir da safra 2014/2015, na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG (latitude 19° 28' 36" S, longitude 44° 11' 53" W, e altitude 732 m). As avaliações relacionadas a micotoxinas foram

realizadas nos grãos colhidos na safra 2018/2019. A região possui clima tipo Cwa segundo, segundo Köppen (1948), em que prevalecem inverno seco e verão quente, com temperatura média anual de 21,8 °C e precipitação média anual de 1.345 mm (Simão, 2020).

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso (660 g kg⁻¹ de argila). Anteriormente, o solo foi cultivado em sistema de semeadura direta com cultivos anteriores alternados entre milho e soja, com pousio na entressafra.

Antes do início do experimento no ano agrícola 2014/2015, o solo foi corrigido escarificado a cerca de 25 cm de profundidade, seguido da aplicação de calcário dolomítico (4,0 t ha⁻¹) incorporado com arado de aiveca e grade aradora. Em seguida, foram aplicados gesso agrícola (3,0 t ha⁻¹), superfosfato simples (1,0 t ha⁻¹), cloreto de potássio (300 kg ha⁻¹) e FTE (90 kg ha⁻¹), incorporados com grade niveladora a 10 cm de profundidade. Esses procedimentos visaram à correção da acidez e construção da fertilidade no perfil do solo, para então se reiniciar o manejo em semeadura direta. Tais operações foram definidas com base nas indicações de manejo propostas por Sousa e Lobato (2004) para solos de Cerrado (Simão, 2020) e pela análise de amostras de solo coletadas previamente à implantação da área experimental.

A área do experimento foi de 1,8 hectare, dividida em três tratamentos, com dez repetições, representadas por pontos fixos previamente georreferenciados aleatoriamente em cada tratamento, onde foram realizadas as avaliações de produtividade das culturas em três linhas de 3 m de comprimento. Os tratamentos foram constituídos de modalidades de cultivo envolvendo milho em rotação com soja, com ou sem inserção de braquiária em consórcio com o milho, sendo eles: a) Sucessão milho no verão/pousio, correspondendo a uma condição de monocultura (Tratamento 1). b) Sucessão soja no verão/pousio/milho no verão (Tratamento 2). c) Soja + braquiária no verão/braquiária na entressafra/milho + braquiária no verão (Tratamento 3). Os cultivos de soja foram conduzidos com espaçamento de 0,5 m entre linhas; os de milho, com espaçamento de 0,7 m. A semeadura da braquiária (*Urochloa ruziziensis*) foi feita misturando-se as sementes do capim junto ao adubo distribuído no sulco de semeadura do milho. Já no caso da soja, a braquiária foi semeada a lanço quando a soja se encontrava no estágio fenológico R₅. Em todos os

anos, para as culturas da soja e do milho, as práticas culturais seguiram os princípios das boas práticas agrícolas e as recomendações de aplicações de defensivos, conforme as recomendações indicadas na bula, após levantamento de informações em campo para indicação da necessidade de intervenções agronômicas.

As avaliações de produtividade foram realizadas em cada ponto georreferenciado, totalizando dez repetições dentro de cada um dos tratamentos. Os grãos de milho utilizados para as avaliações qualitativas (micotoxinas) foram coletados por ocasião da colheita, após a maturidade fisiológica, na safra 2018/2019. Assim, as análises dos grãos foram realizadas após 4 anos agrícolas de implantação do experimento, para que, nos casos dos tratamentos 2 e 3, estivessem sob o cultivo de milho verão, seguindo os esquemas de rotação de culturas previstos inicialmente.

O experimento procurou reproduzir ambientes de lavouras comerciais, requerendo parcelas de grandes dimensões para melhor expressão do efeito de diferentes condições derivadas dos sistemas/tratamentos. Isso exigiu o uso de maquinário de grande porte, impondo limitações que não permitiram a utilização de delineamento experimental clássico, com repetições estatísticas verdadeiras. Assim, os dados de avaliações dos cultivos foram obtidos como pseudorrepetições (Simão, 2020), por meio de amostras independentes em dez pontos aleatórios, previamente georreferenciados dentro da área de cada sistema.

Análise de teor de amido nos grãos

Após a colheita, amostras dos grãos de cada parcela foram separadas e enviadas para laboratório privado para análise do teor de amido pelo método enzimático.

Análise de micotoxinas

Para as análises de fumonisinias, amostras de 500 g de grãos de cada parcela foram enviados para o laboratório de Segurança Alimentar da Embrapa Milho e Sorgo.

A determinação do teor de fumonisinas B1 (FB1) + Fumonissina B2 (FB2) nas amostras de milho foi realizada pelo método de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), com utilização de colunas de imunoafinidade para separação da micotoxina de interesse e posterior detecção em detector de fluorescência (FLN) acoplado ao cromatógrafo. As etapas envolvidas no processo foram homogeneização e moagem das amostras, extração por solvente com posterior purificação, e, por fim, quantificação no CLAE.

Para a análise dos teores de Fumonissinas B1 e B2 e total, 10 g de amostra moída foram extraídos com 50 mL de solução de extração água:metanol:acetonitrila (50:25:25 v/v), e levados para agitação a 200 rpm por 40 min. Logo após, os extratos foram centrifugados a 3.000 rpm por 10 min, e 5 mL do sobrenadante foram retirados e diluídos em 20 mL de solução PBS (tampão fosfato). A solução foi filtrada em filtro de microfibras de vidro, e 10 mL e foram transferidos para coluna de imunoafinidade Fumonitest. A coluna foi lavada com 10 mL de solução tampão PBS e, em seguida, 2,5 mL de metanol (grau HPLC) foram eluídos pela coluna. As amostras foram coletadas e levadas para secagem a 50 °C sob fluxo de ar comprimido seco. Posteriormente, elas foram ressuspensas em solução acetonitrila:água (1:1, v/v). A uma alíquota de 50 µL dessa última solução, adicionaram-se 50 µL da solução de O-ftaldialdeído com 2-mercaptoetanol (OPA).

A quantificação dos teores de fumonissina foi realizada injetando a amostra em HPLC, acoplado com uma coluna de fase reversa C18 de 150 mm x 4,6 mm com (5 µm) e detector de fluorescência (FLR) com 335 nm excitação e 440 nm emissão. A eluição foi realizada com fase móvel em gradiente de solução de MeOH:NaH₂PO₄ 0,1M (77:23, v/v), com vazão de 1,0 mL min⁻¹. O tempo de retenção foi de 4 min, e de 9 min para FB1 e FB2, respectivamente. A quantificação dos teores foi realizada utilizando uma curva analítica com referência de fumonisinas marca Trilogy Analytical Laboratory, com teor de fumonisinas totais de 4,3 mg kg⁻¹.

Análise de dados

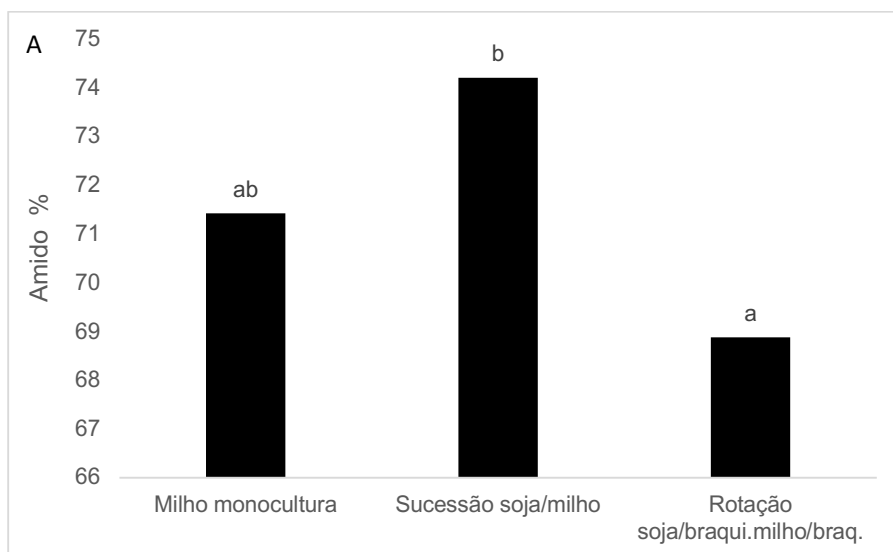
Os teores de amido e de fumonisinas totais foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, no software Sisvar (Ferreira, 2011). Análises de regressão

e correlação foram usadas para avaliar a relação entre o teor de amido e a ocorrência de fumonisinias.

Resultados e Discussão

Houve diferença significativa entre os sistemas de cultivo de milho para o teor de fumonisinias totais (P -valor=0,000; $F=11,15$; $CV=28,17\%$) e de amido (P -valor=0,005, $F=75,02$; $CV=2,5\%$) (Figura 1). As médias de amido foram de 68,88%; 71,43% e 74,22% para a rotação soja/capim/milho/capim, para milho monocultura e para a sucessão soja/milho, respectivamente (Figura 1A). As médias de fumonisinias totais foram de $247,69 \mu\text{g kg}^{-1}$; $304,07 \mu\text{g kg}^{-1}$ e $1.682,37 \mu\text{g kg}^{-1}$ para milho monocultura, sucessão soja/milho e rotação soja/capim/milho/capim, respectivamente (Figura 1B).

Sistemas de cultivo menos intensificados como o milho monocultura e sucessão soja/milho apresentaram teores de amido maiores e diferiram do sistema mais diversificado, rotação soja/braquiária/milho/braquiária. De forma inversa, o teor de fumonisinias totais foi maior no sistema intensificado, diferindo dos outros dois (Figura 1, A e B).



Continua...

Continuação...

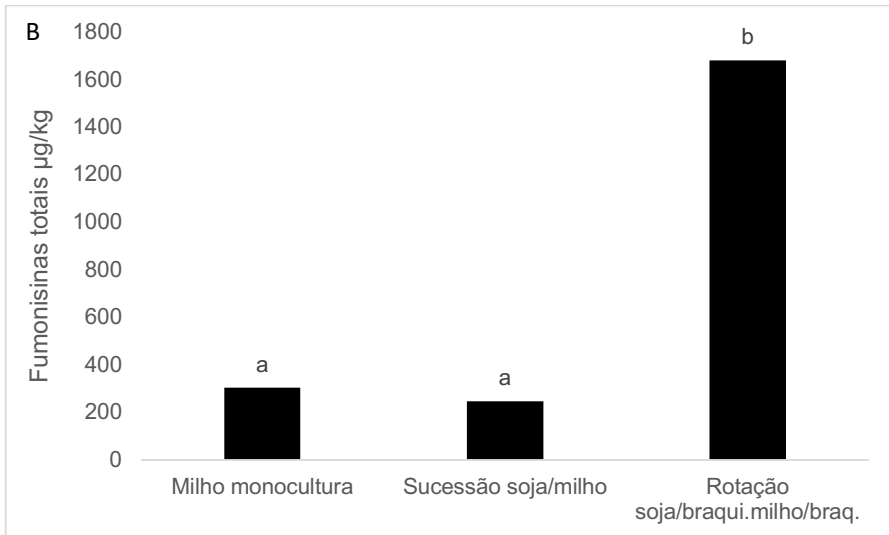


Figura 1. Teores médios de amido (A) e de fumonisinas totais (B) em três sistemas de produção de milho. Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise de regressão foi significativa a 5% de probabilidade (P-valor = 0,002, F=15,75). A correlação entre o amido dos grãos e as fumonisinas totais foi alta e inversa ($r = -0,74$), ou seja, com a redução no teor de amido houve aumento de fumonisinas totais. (Figura 2).

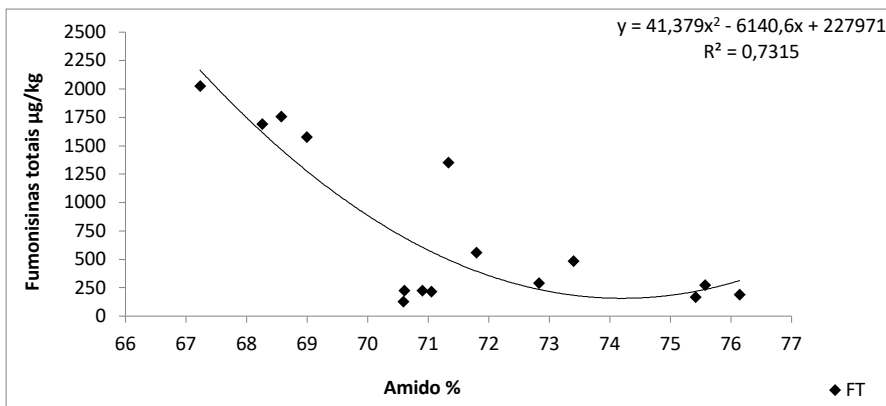


Figura 2. Relação dos teores de amido na concentração de fumonisin total em milho.

Nos três sistemas produtivos avaliados, o teor de fumonisinas totais ficou abaixo dos limites máximos tolerados no Brasil, que é de 5.000 $\mu\text{g kg}^{-1}$ para grãos de milho não processados, conforme a Resolução RDC nº 7, de 18 de fevereiro de 2011 (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2023).

Suwarno et al. (2019) avaliaram a correlação entre o milho enriquecido com provitamina A e o teor de aflatoxinas, verificando que grãos com maior concentração de beta caroteno, beta cryptoxantina e maior provitamina A total tiveram menor contaminação com aflatoxinas. Trabalhos sobre a composição dos grãos de milho mostram que predominam carboidratos (amido), proteínas e lipídeos, sendo que o uso adequado do grão depende de sua composição química (Stelato et al., 2017). A produção de micotoxina e o grau de contaminação de alimentos são regulados por fatores ambientais, composição, textura do substrato, umidade e temperatura (Minami et al., 2004). Os carboidratos são estratégicos para o crescimento de fungos, pois propiciam pressão osmótica elevada, que inibe o crescimento bacteriano (Stelato et al., 2010). A produção de FB1 é afetada pelo conteúdo de água, amilase e amido nos grãos, situações que variam do começo ao final do ciclo da cultura, com a maturação (Oldenburg et al., 2017). Apesar de *F. verticillioides*, principal fungo produtor de fumonisinas, ser encontrado em grãos sem amido, a amilopectina foi descrita como desencadeante na síntese de micotoxinas, com pico na fase de grão dentado (Picot et al., 2011; Lazzaro et al., 2013).

Uma mudança marcante durante o desenvolvimento de espigas é o rápido acúmulo de amido em espigas maduras, sendo o endosperma, nessa fase, rico em amido e associado a níveis maiores de fumonisinas produzidas por *F. verticillioides* (Bluhm; Woloshuk, 2005). O resultado deste trabalho foi inverso e mostra que, apesar de haver relação entre o teor de amido e a concentração de fumonisinas em milho, é necessário aprimorar as pesquisas sobre o tema. No presente estudo, o milho produzido em sistema de rotação com soja e intensificado pela inclusão da braquiária *ruziziensis* apresentou menor teor de amido e presença de nível mais elevado de fumonisinas nos grãos, comparativamente à rotação simples com soja ou à monocultura de milho. Os efeitos de sistemas produtivos na composição química de grãos e a consequência na sanidade de grãos e predisposição à síntese de micotoxinas podem ser mais aprofundados e gerar recomendações técnicas de manejo visando à redução de micotoxinas em grãos. Uma das aplicações deste

conhecimento é que o teor de amido pode ser uma alternativa de predição à síntese de fumonisinas e outras micotoxinas por equipes de melhoramento genético de milho, visando ao desenvolvimento de cultivares mais resistentes.

Conclusões

O teor de amido nos grãos pode ser uma alternativa de predição à síntese de fumonisinas e outras micotoxinas por equipes de melhoramento.

O sistema de produção tem relação direta com o teor de amido e a concentração de fumonisinas em grãos. Sistemas intensificados apresentaram menor concentração de amido e teores mais elevados de fumonisinas em milho.

Referências

ACOMPANHAMENTO da Safra Brasileira [de] Grãos: safra 2022/23: 10º levantamento, v. 10, n. 10, ago. 2023. Brasília, DF: Conab, 2023. 111 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 7 ago. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 7, de 18 de fevereiro de 2011. Dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 9 mar. 2011. Seção 1, p. 66-67. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/res0007_18_02_2011_rep.html. Acesso em: 31 ago. 2023.

ALIM, M.; IQBAL, S. Z.; MEHMOOD, Z.; ASI, M. R.; ZIKAR, H.; CHANDA, H.; MALIK, N. Survey of mycotoxins in retail market cereals, derived products and evaluation of their dietary intake. **Food Control**, v. 84, p. 471-477, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.08.034>.

BANKOLE, S. A.; ADEBANJO, A. Mycotoxins in food in West Africa: current situation and possibilities of controlling it. **African Journal of Biotechnology**, v. 2, n. 9, p. 254-263, 2003. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB2003.000-1053>.

- BENNET, J. W.; KLICH, M. Mycotoxins. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 16, p. 497-516, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1128/CMR.16.3.497-516.2003>.
- BERTHILLER, F.; SULYOK, M.; KRŠKA, R.; SCHUHMACHER, R. Chromatographic methods for the simultaneous determination of mycotoxins and their conjugates in cereals. **International Journal of Food Microbiology**, v. 119, n. 1/2, p. 33-37, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.022>.
- BHUIYAN, M. M.; ISLAM, A. F.; IJI, P. A. Variation in nutrient composition and structure of high-moisture maize dried at different temperatures. **South African Journal of Animal Science**, v. 40, n. 3, p. 190-197, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.4314%2Fsajas.v40i3.12>.
- BLUHM, B. H.; WOLOSHUK, C. P. Amylopectin induces fumonisin B1 production by *Fusarium verticillioides* during colonization of maize kernels. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 18, n. 12, p. 1333-1339, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1094/MPMI-18-1333>.
- BORRÀS-VALLVERDÚ, B.; RAMOS, A. J.; CANTERO-MARTÍNEZ, C.; MARÍN, S.; SANCHIS, V.; FERNÁNDEZ-ORTEGA, J. Influence of agronomic factors on mycotoxin contamination in maize and changes during a 10-day harvest-till-drying simulation period: a different perspective. **Toxins**, v. 14, n. 9, 620, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins14090620>.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.
- FERREIRA, P.; QUEIROZ, V. A. V.; CONCEIÇÃO, R. R. P. da; MIGUEL, R. de A. Incidência de aflatoxinas e fumonisinhas em produtos de milho consumidos no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 1, p. 54-60, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n1p54-60>.
- HERMANN, G.; PINTO, F. T.; KITAZAWA, S. E. Fungos e fumonisinhas no período pré-colheita do milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 7-10, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000100002>.

IAMANAKA, B. T.; OLIVEIRA, I. S.; TANIWAKI, M. T. Micotoxinas em alimentos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 7, p. 138-161, 2010.

LANZA, F. B.; ZAMBOLIM, L.; COSTA, R. V.; QUEIROZ, V. A. V.; COTA, L. V.; SILVA, D. D.; SOUZA, A. G. C.; FIGUEIREDO, J. E. F. Prevalence of fumonisin-producing *Fusarium* species in Brazilian corn grains. **Crop Protection**, v. 65, p. 232-237, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.08.003>.

LAZZARO, I.; FALAVIGNA, C.; GALAVERNA, G.; DALL'ASTA, C.; BATTILANI, P. Corn meal starch influence the dynamic of fumonisin B, A and C production and masking in *Fusarium verticillioides* and *F. proliferatum*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 166, n. 1, p. 21-27, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.011>.

MARÍN, S.; COMPANYS, E.; SANCHIS, V.; RAMOS, A. J.; MAGAN, N. Effect of water activity and temperature on competing abilities of common maize fungi. **Mycological Research**, v. 102, n. 8, p. 959-964, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0953756297005613>.

MARQUES, O. J.; VIDIGAL FILHO, P. S.; DALPASQUALE, V. A.; SCAPIM, C. A.; PRICINOTTO, L. F.; MACHINSKI JÚNIOR, M. Incidência fúngica e contaminações por micotoxinas em grãos de híbridos comerciais de milho em função da umidade de colheita. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 667-675, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagrnon.v31i4.5690>.

MINAMI, L.; MEIRELLES, G. P.; HIROOKA, E. Y.; ONO, E. Y. S. Fumonisin: efeitos toxicológicos, mecanismo de ação e biomarcadores para avaliação da exposição. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 25, n. 3, p. 207-224, 2004.

OLDENBURG, E.; HÖPPNER, F.; ELLNER, F.; WEINERT, J. *Fusarium* diseases of maize associated with mycotoxin contamination of agricultural products intended to be used for food and feed. **Mycotoxin Research**, v. 33, n. 3, p. 167-182, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12550-017-0277-y>.

OUESLATI, S.; BERRADA, H.; MANES, J.; JUAN, C. Presence of mycotoxins in Tunisian infant foods samples and subsequent risk assessment. **Food Control**, v. 84, p. 362-369, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.08.021>.

PERAICA, M.; RICHTER, D.; RAŠIĆ, D. Mycotoxicoses in children.

Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju, v. 65, n. 4, p. 347-363, 2014.

DOI: <https://doi.org/10.2478/10004-1254-65-2014-2557>.

PEREIRA, V. L.; FERNANDES, J. O.; CUNHA, S. C. Mycotoxins in cereals and related foodstuffs: a review on occurrence and recent methods of analysis.

Trends Food Science & Technology, v. 36, n. 2, p. 96-136, 2014.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.01.005>.

PICOT, A.; BARREAU, C.; PINSON-GADAIS, L.; PIRAUX, F.; CARON, D.;

LANNOU, C.; RICHARD-FORGET, F. The dent stage of maize kernels is the most conducive for fumonisin biosynthesis under field conditions.

Applied and Environmental Microbiology, v. 77, n. 23, p. 8382-8390, 2011.

DOI: <https://doi.org/10.1128%2FAEM.05216-11>.

SCUSSEL, V. M. Fungos em grãos armazenados. In: LORINI, I.; MILKE, L.

H.; SCUSSEL, V. M. **Armazenagem de grãos**. Campinas: IBG, 2002. p.

675-804.

SILVA, D. D.; COSTA, R. V.; COTA, L. V.; LANZA, F. E.; GUIMARÃES, E. A.

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

SIMÃO, E. P. **Desempenho produtivo e econômico de sistemas**

intensificados de cultivo de soja e milho na região central de Minas

Gerais. 2020. 71 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal

de Viçosa, Viçosa, MG.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e**

adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina,

DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

SOUZA, E. de A.; COELHO, L. F. D.; SIMEONE, M. L. F. Uso da

espectroscopia no infravermelho próximo para avaliar os teores de proteína

e óleo em milho. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/CNPq,

11., 2016, Sete Lagoas. [**Trabalhos apresentados**]. Sete Lagoas: Embrapa

Milho e Sorgo, 2016.

STELATO, M. M.; CONCON, M. M.; SHIMADA, D.; SREBERNICH, S. M. Contaminação fúngica em barras de cereais comercializadas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 3, p. 285-290, 2010.

SUWARNO, W. B.; HANNOK, P.; PALACIOS-ROJAS, WINDHAM, G. W.; CROSSA, J.; PIXLEY, K. V. Provitamin A carotenoids in grain reduce aflatoxin contamination of maize while combating vitamin a deficiency. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, article 30, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00030>.

Embrapa

Milho e Sorgo

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

CGPE 018402