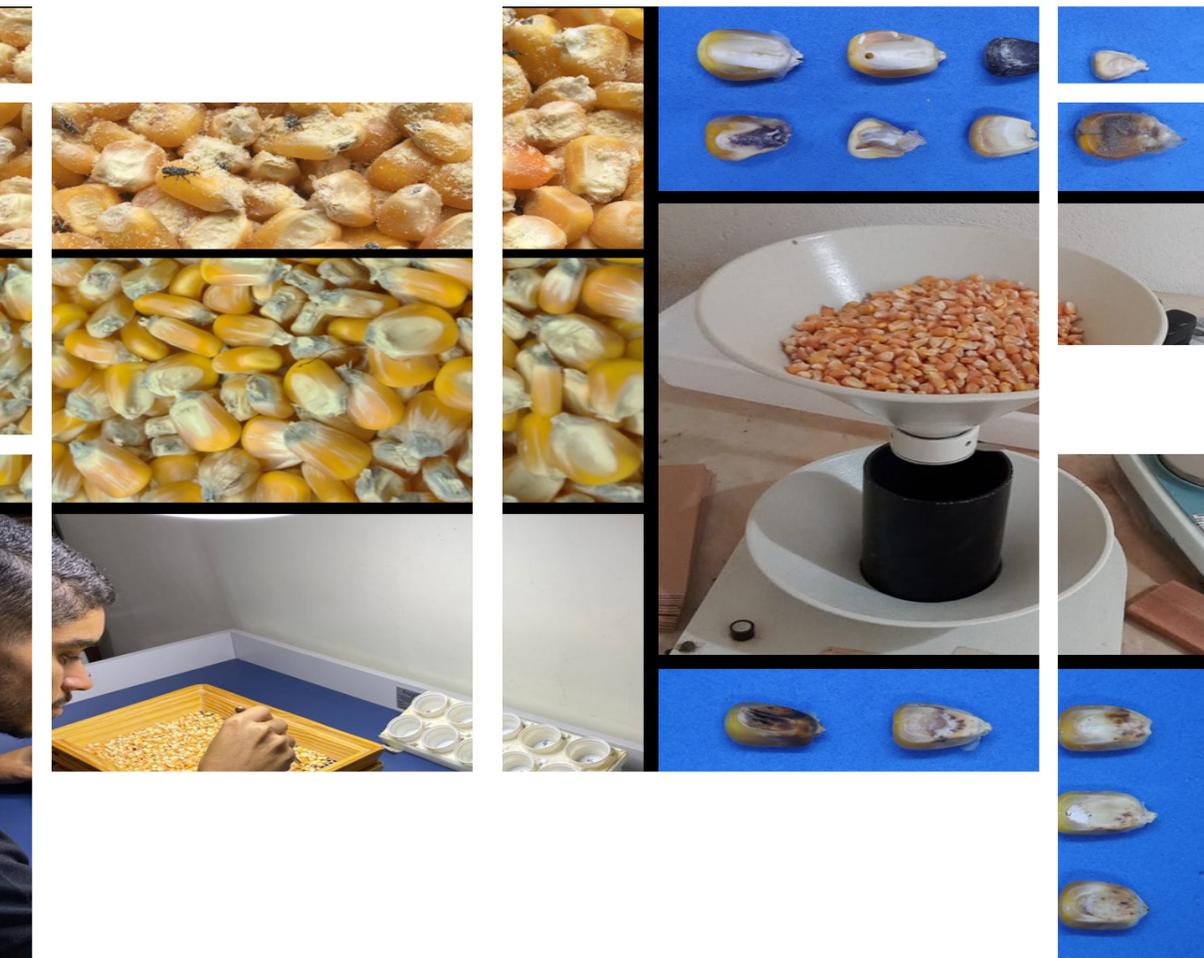


## **Proposta de Metodologia para Estimativa de Risco de Contaminação por Fumonisinas com Base na Composição Física dos Grãos de Milho**



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

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
252**

**Proposta de Metodologia para Estimativa de  
Risco de Contaminação por Fumonisinas com  
Base na Composição Física dos Grãos de Milho**

*Marco Aurélio Guerra Pimentel  
Dagma Dionísia da Silva Araújo  
Maria Lúcia Ferreira Simeone  
Marcus Vinicius Rodrigues Matos  
Artur de Souza Mamedes  
Ezequiel Garcia de Souza  
Thaine Teixeira da Silva  
Camila Alves Normando*

**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,  
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  
*Marco Aurélio Guerra Pimentel*

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

---

Proposta de metodologia para estimativa de risco de contaminação por  
fumonisinas com base na composição física dos grãos de milho / Marco  
Aurélio Guerra Pimentel... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo,  
2023.

PDF (18 p.) : il. color. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa  
Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 252).

1. *Zea mays*. 2. Micotoxina. 3. Contaminação fúngica. I. Pimentel, Marco  
Aurélio Guerra. II. Silva, Dagmar Dionísia da. III. Simeone, Maria Lúcia Ferreira. IV.  
Matos, Marcus Vinícius Rodrigues. V. Mamedes, Artur de Souza. VI. Souza,  
Ezequiel García de. VII. Silva, Thaíne Teixeira da. VIII. Normando, Camila Alves. IX.  
Série.

---

CDD (21.ed.) 633.15

## Sumário

---

Resumo .....	5
Abstract .....	7
Introdução.....	8
Material e Métodos.....	10
Resultados e Discussão .....	13
Conclusões.....	16
Referências.....	17

# Proposta de Metodologia para Estimativa de Risco de Contaminação por Fumonisinias com Base na Composição Física dos Grãos de Milho

*Marco Aurélio Guerra Pimentel*<sup>1</sup>

*Dagma Dionísia da Silva Araújo*<sup>2</sup>

*Maria Lúcia Ferreira Simeone*<sup>3</sup>

*Marcus Vinicius Rodrigues Matos*<sup>4</sup>

*Artur de Souza Mamedes*<sup>5</sup>

*Ezequiel Garcia de Souza*<sup>6</sup>

*Thaíne Teixeira da Silva*<sup>7</sup>

*Camila Alves Normando*<sup>8</sup>

**Resumo** – A classificação e a determinação da massa específica aparente de grãos são análises de qualidade rotineiras e de fácil determinação. A associação entre esses parâmetros com a contaminação fúngica e a presença de micotoxinas é um fenômeno reportado para cereais. O objetivo do trabalho foi estabelecer uma relação entre as características físicas (massa específica aparente e total de grãos avariados) com a contaminação por fumonisinias em milho. A relação entre esses parâmetros pode ser usada para estimar o risco de contaminação por fumonisinias em milho. Foram avaliadas 212 amostras de milho obtidas em quatro safras (42 na safra 2018/2019, 55 em 2019/2018, 54 em 2019/2020 e 61 em 2021/2022), para determinar a massa específica aparente ( $\text{kg m}^{-3}$ ), os grãos avariados (%) e os teores de fumonisinias ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ). O total de avariados apresentou correlação negativa e significativa com a massa específica aparente, demonstrando tendência de redução da massa

<sup>1</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

<sup>2</sup> Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia (Fitopatologia), pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

<sup>3</sup> Química, doutora em Química, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

<sup>4</sup> Estudante de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Sete Lagoas, MG

<sup>5</sup> Estudante de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Sete Lagoas, MG

<sup>6</sup> Estudante de Doutorado em Entomologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG

<sup>7</sup> Engenheira-agrônoma, Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Sete Lagoas, MG

<sup>8</sup> Engenheira-agrônoma, Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Sete Lagoas, MG

específica com o aumento do total de avariados. A massa específica aparente apresentou correlação negativa e significativa com o teor de fumonisinas totais, enquanto o total de avariados apresentou correlação oposta com os teores de fumonisinas. Os resultados demonstram tendência de relação entre as características físicas e a contaminação por fumonisinas em milho.

**Termos para indexação:** *Zea mays*, armazenamento de grãos, micotoxinas, massa específica, classificação de grãos, qualidade de grãos.

## Proposed Methodology for Estimating the Risk of Fumonisin Contamination Based on the Physical Composition of Corn Grains

**Abstract** – Grain classification and bulk density determination are routine quality analyses that are easy to determine. The association between these parameters with fungal contamination and the presence of mycotoxins is a phenomenon reported for cereals. The objective of this study was to establish a relationship between physical characteristics (bulk density and total number of damaged grains) with fumonisin contamination in corn. The relationship between these parameters can be used to estimate the risk of fumonisin contamination in corn. A total of 212 corn samples obtained in four harvests (42 in the 2018/2019 harvest, 55 in the 2019/2020, 54 in the 2019/2020, and 61 in the 2021/2022) were evaluated to determine bulk density ( $\text{kg m}^{-3}$ ), damaged grains (%), and fumonisin levels ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ). The total number of damaged grains showed a negative and significant correlation with bulk density, demonstrating a trend of decreasing density with increasing total number of damaged grains. Apparent density showed a negative and significant correlation with total fumonisin content, while the total number of damaged grains showed an opposite correlation with fumonisin levels. The results demonstrate a trend of relationship between physical characteristics and fumonisin contamination in corn.

**Index terms:** *Zea mays*, stored grains, mycotoxins, bulk density, grain classification, grain quality.

## Introdução

---

O processo de classificação e a avaliação de parâmetros físicos dos grãos são análises de qualidade amplamente adotadas nas etapas de comercialização e pré-processamento das commodities agrícolas, como o milho e a soja (Souza, 2001). A classificação dos grãos e a aferição de parâmetros físicos, como os grãos defeituosos, impurezas, matérias estranhas e a massa específica aparente (MEA), são análises de baixo custo, que demandam equipamentos simples e são de fácil execução na rotina das empresas, o que é muito importante nas curtas janelas de colheita e no processo de recepção dos grãos nos armazéns, nas unidades de beneficiamento e nas indústrias (Silva et al., 2008; Dalpasquale, 2018).

O processo de classificação de grãos, especificamente no caso do milho, é definido por duas Instruções Normativas, a nº 60, de 2011 (Brasil, 2011), e a nº 18, de 2012 (Brasil, 2012), que compõem o Regulamento Técnico do Milho. O padrão oficial de classificação do milho estabelece uma série de normas que definem e orientam os operadores envolvidos na classificação quanto aos procedimentos desse processo, como a posição de coleta das amostras nos veículos de transporte, as características físicas que o produto apresenta, os tipos de classificação e os limites máximos de tolerância de avarias, que são usados para enquadrar a amostra em determinada tipificação (Souza, 2001; Parizzi, 2014).

É por meio da classificação que preços diferenciados, de acordo com a qualidade do produto, são estabelecidos no mercado, exercendo assim uma arbitragem entre compradores e vendedores (Silva et al., 2008; Parizzi, 2014). O padrão oficial de classificação do milho estabelece os principais defeitos que são verificados numa amostra para enquadramento em tipo, sendo as principais avarias os grãos ou pedaços de grãos que se apresentam ardidos, chochos ou imaturos, fermentados, germinados, gessados e mofados (Brasil, 2011, 2012). Dentre essas avarias, os grãos ardidos, fermentados e mofados podem ser originados pela ação de contaminações fúngicas, por diferentes espécies, que podem causar fermentação parcial ou avançada, crescimento micelial nos grãos e até mesmo a produção de micotoxinas (Silva et al., 2015).

A contaminação do milho por fungos é uma preocupação para processadores e consumidores, por causa da associação dos fungos com a

deterioração da qualidade e com a produção de micotoxinas. As micotoxinas produzidas por tais microrganismos, afetam diretamente a qualidade do milho e seus derivados, e conseqüentemente a saúde de humanos e animais que venham a consumir produtos com grãos contaminados. Além disso, as micotoxinas constituem barreiras não tarifárias nos mercados consumidores (Milani; Maleki, 2014; Silva et al., 2015; Prestes et al., 2019). Dentre as principais micotoxinas relatadas em milho, as fumonisinas são amplamente distribuídas e mais frequentemente relatadas. As fumonisinas podem ser produzidas por *Fusarium verticillioides*, *F. proliferatum* e *Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici*. Em aves e suínos, as fumonisinas podem provocar atraso no desenvolvimento, problemas cardíacos, úlcera bucal, imunossupressão, degeneração, síndrome da mortalidade aguda, hepatotoxicidade, aumento do peso dos rins, diarreia, edema pulmonar e disfunção no coração (Silva et al., 2015; Prestes et al., 2019).

Os níveis de contaminação por micotoxinas em grãos e produtos processados devem atender normativas específicas em cada país ou bloco regional ou até mesmo indicações técnicas, a depender da finalidade de uso dos grãos. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) estabeleceu o regulamento técnico sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos, por meio da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 7, de 18 de fevereiro de 2011. A RDC estabelece o LMT de 5.000  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de fumonisinas (B1+B2) para milho em grão para posterior processamento, e LMTs mais restritivos, como de até 1.500  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , para produtos como farinha de milho, creme de milho, fubá, flocos, canjica e canjiquinha; e de até 1.000  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para amido de milho e outros produtos à base de milho (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2011). Na cadeia de proteína animal, dos grãos de milho destinados à produção de rações para aves e suínos, especificamente das matrizes ou em fases mais sensíveis, podem ser exigidos níveis mais restritivos, como até 1.000  $\mu\text{g kg}^{-1}$ .

O processo de deterioração dos grãos desencadeado pelo desenvolvimento fúngico acaba afetando as características nutricionais e por conseqüência as características físicas dos grãos, como a massa específica (Pereira et al., 2008; Batista et al., 2023). Aliada ao processo de classificação, a determinação de propriedades físicas dos grãos, como a massa específica, é importante ferramenta e de fácil mensuração que pode auxiliar no estabelecimento de

padrões de qualidade e comercialização (Corrêa; Silva, 2008; Silva et al., 2008).

A massa específica é uma propriedade intrínseca dos grãos e sementes que, por definição, é a razão entre a massa e o volume que essa massa ocupa. A massa específica de grãos aumenta, geralmente, com a diminuição do conteúdo de água do produto. O incremento ou a redução da massa específica depende da percentagem de grãos danificados, do conteúdo de água, da temperatura alcançada durante a secagem e da cultivar do grão (Brooker et al., 1992; Corrêa; Silva, 2008).

A associação ou correlação da redução de massa específica em grãos e a contaminação fúngica, que gera avarias detectadas no processo de classificação e positividade de amostras para contaminação por micotoxinas, são fenômenos reportados para grãos de milho e outros cereais (Pereira et al., 2008; Batista et al., 2023). A partir dessas correlações relatadas entre as características físicas e a presença de teores de micotoxinas em grãos, este estudo tem por objetivo propor um método para se estimar o risco de contaminação por fumonisinas em milho, com base na aferição de dois parâmetros qualitativos comumente avaliados em grãos, a massa específica aparente e o total de grãos avariados em amostras de milho. Dessa forma, testou-se a hipótese de que amostras de grãos com baixa massa específica aparente e alto percentual de grãos avariados tendem a apresentar teores elevados ( $>5.000 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) de fumonisinas.

## Material e Métodos

---

As amostras de grãos de milho utilizadas nas avaliações qualitativas foram obtidas do campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, e de lavouras comerciais de regiões produtoras no estado. Foram obtidas 212 amostras de milho, em quatro safras (42 amostras na safra 2018/2019, 55 na safra 2019/2018, 54 na safra 2019/2020 e 61 na safra 2021/2022) (Figura 1). As coletas priorizaram amostras recém-colhidas, com até 2 meses entre colheita, armazenamento e coleta, visando ter material mais homogêneo. Esse perfil citado corresponde a 80% das amostras coletadas (ou 169 amostras), sendo apenas 20% (43 amostras) coletadas de armazéns com tempo de armazenagem variável. As amostras coletadas

foram registradas em planilha eletrônica, com dados básicos de coleta, homogeneizadas, quarteadas e reduzidas para obtenção de amostra de trabalho (aproximadamente 1,0 kg), sendo analisadas imediatamente após esses procedimentos, no Laboratório de Grãos Armazenados da Embrapa Milho e Sorgo.

Inicialmente, as amostras de trabalho foram submetidas às avaliações de parâmetros qualitativos, quando foram mensurados o conteúdo de água dos grãos (%), o peso volumétrico ou a massa específica aparente ( $\text{kg m}^{-3}$ ), e foi realizada a classificação física dos grãos. Após a execução dessas análises, as amostras foram novamente homogeneizadas e quarteadas para obtenção de subamostras que foram enviadas para análise de fumonisininas totais (fumonisininas B1 e B2).

O conteúdo de água dos grãos (%) foi determinado pelo método da estufa,  $105 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ , por 24 horas, sendo utilizadas amostras de aproximadamente 30 g, seguindo as recomendações das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). A massa específica aparente (peso volumétrico) foi determinada em cada amostra utilizando-se um kit para determinação do peso volumétrico (densidade) dos grãos (marca Gehaka) com capacidade de um litro de grãos. Os resultados foram expressos em  $\text{kg m}^{-3}$ , conforme recomendações das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

A classificação física dos grãos foi executada seguindo-se o Regulamento Técnico do Milho, estabelecida pelas Instruções Normativas nº 60, de 22 de dezembro de 2011, (Brasil, 2011) e nº 18, de 2012 (Brasil, 2012), que definem o padrão oficial da classificação do milho.

As amostras foram despejadas no conjunto das duas peneiras sobrepostas (5 mm e 3 mm), e peneiradas por 30 segundos. Primeiramente, separaram-se manualmente as matérias estranhas e impurezas (grãos ou sementes de outras espécies vegetais, insetos mortos, colmos, pedaço de sabugo, entre outros) retidas nas peneiras de 5 mm, 3 mm e no fundo. Em seguida, todos os pedaços de grãos contidos na peneira de 3 mm foram classificados como grãos quebrados. Os pedaços de grãos que permaneceram na peneira de 5 mm, quando sadios, foram considerados como grãos normais.

Aferiu-se o peso da amostra que ficou retida na peneira de 5 mm, denominada amostra limpa, e logo após os grãos foram classificados. Para

a determinação dos defeitos do milho, são separados os grãos avariados (ardidos, chochos ou imaturos, fermentados, germinados, gessados e mofados) e os grãos carunchados (Figura 1). Os defeitos foram pesados isoladamente e anotados, depois foram feitas as transformações dos valores em percentual, utilizando-se a fórmula:

$$\text{Defeito (\%)} = \text{Massa do defeito (g)} \times 100 / \text{Massa amostra limpa (g)}$$

Tal conversão se faz necessária para posterior enquadramento em tipo.

Para avaliação da qualidade dos grãos e correlação com os demais parâmetros qualitativos, as classes de defeitos foram agrupadas considerando-se o total de avariados e o somatório das seguintes classes: mofado, ardido, fermentado, germinado, carunchado, chocho ou imaturo e gessado (Brasil, 2011, 2012) (Figura 2).

Os teores de fumonisinas totais (B1+B2) foram quantificados para todas as amostras de milho coletadas em cada safra. As análises de fumonisinas totais (B1+B2) foram realizadas em laboratório acreditado externo à Embrapa, utilizando cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas (LCMS/MS), com os resultados expressos em micrograma ( $\mu\text{g}$ ) de fumonisinas totais por quilograma ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ), o que corresponde a partes por bilhão (ppb). O limite de quantificação do cromatógrafo, para as análises de fumonisinas, foi estabelecido pelo laboratório prestador de serviço em  $125 \mu\text{g kg}^{-1}$ .

Os dados de massa específica (peso volumétrico), total de avariados e fumonisinas totais das 212 amostras avaliadas foram submetidos à análise para identificar as medidas de dispersão e posição, com estimativa de médias, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação para cada parâmetro qualitativo. Os dados foram submetidos à análise de correlação Pearson ( $r$ ) ( $p < 0,05$ ) e cada parâmetro qualitativo foi separado em classes distintas, com estimativa de frequência relativa de ocorrência de amostras em cada classe. A partir da estimativa de frequência de ocorrência de amostras em cada classe, foi realizada análise de estimativa de risco de ocorrência de fumonisinas em cada classe e gerada uma tabela com escala de cores referente a risco de contaminação por fumonisinas muito baixo, baixo, médio, alto ou muito alto.

## Resultados e Discussão

---

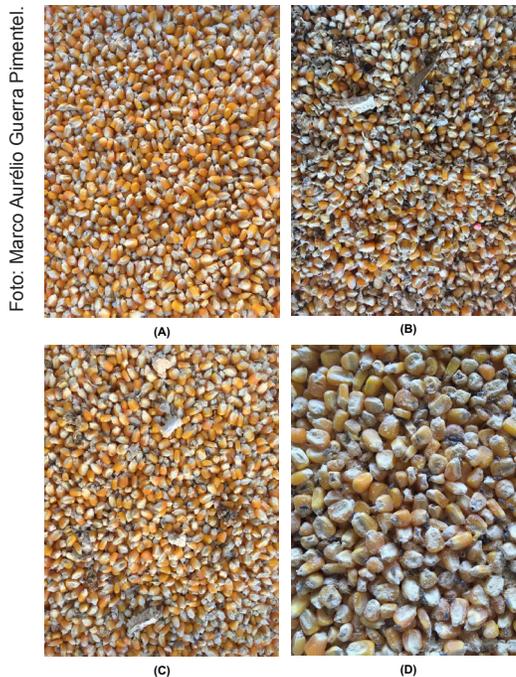
Os parâmetros qualitativos avaliados, o total de avariados, a massa específica aparente e os teores de fumonisin totais nas amostras coletas nas três safras apresentaram variação significativa (Tabela 1). O percentual total de grãos avariados variou de 0,11% a 9,92% nas amostras, com média de 2,77% (Tabela 1). O total de grãos avariados apresenta correlação negativa e significativa com a massa específica aparente, ou seja, há tendência de redução da massa específica com o aumento do total de avariados. Tendência oposta é observada na correlação aos teores de fumonisin, que é positiva e significativa, aumentando a contaminação pelas micotoxinas com o aumento do percentual de avariados nas amostras (Tabela 2). Os dados de grãos avariados foram agrupados em quatro classes distintas, com maior percentual (48,04%) na classe entre 1% e 4% de avariados, seguida pelas amostras com até 1% de avariados, que compreendem 27,45% (Tabela 3).

A massa específica aparente das amostras de grãos de milho apresentou variação entre 647,82 kg m<sup>-3</sup> e 809,00 kg m<sup>-3</sup>, com média de 754,45 kg m<sup>-3</sup> (Tabela 1). A massa específica aparente apresenta correlação negativa e significativa com o teor de fumonisin totais. Dessa forma, amostras com teores elevados de fumonisin totais (>5.000 µg kg<sup>-1</sup>) tendem a apresentar menor massa específica aparente quando comparadas às amostras com teores baixos de fumonisin (<1.000 µg kg<sup>-1</sup>) (Tabela 2). Os dados de massa específica foram agrupados em três classes distintas, com maior percentual de amostras (41,18%) na classe entre 750,1 kg m<sup>-3</sup> e 790,0 kg m<sup>-3</sup>, tendo na sequência o conjunto de amostras com até 750,0 kg m<sup>-3</sup>, com 39,22% das amostras (Tabela 3).

As amostras analisadas quanto aos teores de fumonisin apresentaram ampla variação, com teores entre 125 µg kg<sup>-1</sup> e 23.400 µg kg<sup>-1</sup>, e média entre as amostras de 4.779,49 µg kg<sup>-1</sup> (Tabela 1). Os dados de teores de fumonisin apresentaram correlação significativa com as características físicas estudadas, indicando uma tendência de alta contaminação em amostras com baixa massa específica aparente e alto percentual de avariados (Tabela 2). Essa tendência também foi observada por Pereira et al. (2008) em amostras de grãos de milho, que apresentavam peso volumétrico abaixo de 650 kg m<sup>-3</sup> e teores elevados de micotoxinas e ergosterol, além de menores níveis de

energia. O estudo precisa ser ampliado, com maior número de amostras para ampliar a confiabilidade das correlações observadas, e os dados precisam ser utilizados para o desenvolvimento de sistemas que estimem o risco de contaminação por fumonisinas em amostras de milho.

Os resultados observados neste estudo demonstram a importância da avaliação das características físicas dos grãos de milho, como a massa específica aparente e o total de grãos avariados, que são dois parâmetros que demandam protocolos analíticos e equipamentos simples para sua determinação (Ascheri; Germani, 2004; Batista et al., 2023). A partir dos resultados observados, pode-se verificar uma tendência na relação entre as características físicas e a contaminação por fumonisinas em amostras de milho. No entanto, é importante salientar que a análise de risco perante a avaliação das características físicas dos grãos de milho não substitui as análises de referência para micotoxinas, principalmente via cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas.



**Figura 1.** Exemplo de amostras de milho coletadas com distintos níveis de qualidade, com baixo percentual de avariados (A), alto percentual de avariados (B), médio nível de avariados (C) e amostra com infestação por insetos aparente (D).



Foto: Marco Aurélio Guerra Pimentel.

**Figura 2.** Classes de defeitos em grãos de milho, de acordo com o Regulamento Técnico do Milho, estabelecido pela Instrução Normativa número 60 (Brasil, 2011, 2012). Ordem dos defeitos em sequência da esquerda para a direita: grão normal, carunchado, ardido, chocho ou imaturo, fermentado, germinado, gessado e mofado.

**Tabela 1.** Medidas de posição e estatística descritiva dos parâmetros total de grãos avariados, massa específica aparente e fumonisinas totais em amostras de milho coletadas em três safras.

Medidas de posição	Total de grãos avariados (%)	Massa específica aparente ( $\text{kg m}^{-3}$ )	Fumonisinas totais ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )
Média	2,77	754,45	4.779,49
Erro padrão	0,24	4,54	564,25
Mediana	1,97	765,00	2.158,91
Desvio padrão	2,40	45,82	5.698,69
Variância da amostra	5,74	2.099,59	32.475.052,52
Mínimo	0,11	647,82	125,00
Máximo	9,92	809,00	23.400,00
C.V. (%)	86,47	6,07	119,23

**Tabela 2.** Coeficientes de correlação (r) entre as variáveis total de avariados, massa específica aparente e fumonisinas totais das amostras de milho coletadas em três safras.

Variáveis	Total de grãos avariados	Massa específica aparente	Fumonisinas totais
Total de grãos avariados	1		
Massa específica aparente	-0,7510*	1	
Teores de fumonisinas totais	0,8688*	-0,8008*	1

\* significativo a 5% de probabilidade.

**Tabela 3.** Frequência relativa de ocorrência nas diferentes classes para total de avariados, massa específica aparente e teores de fumonisinas totais das amostras de milho analisadas.

Total de grãos avariados (%)		Massa específica aparente (kg m <sup>-3</sup> )		Fumonisininas totais (µg kg <sup>-1</sup> )	
Classes	Frequência (%)	Classes	Frequência (%)	Classes	Frequência (%)
Até 1,0	27,45	Até 750,0	39,22	Até 1.000	28,43
De 1,01 a 4,0	48,04	De 750,1 a 790,0	41,18	De 1.001 a 5.000	42,16
De 4,01 a 6,0	12,75	De 790,1 a 820,0	19,6	De 5.001 a 20.000	26,47
De 6,01 a 10,0	11,76	-	-	De 20.001 a 25.000	2,94

**Tabela 4.** Diagrama de risco de contaminação por fumonisinas em amostras de milho com base nas características físicas, massa específica aparente (MEA) e total de grãos avariados.

		Total de avariados (%)		
		>4%	1%–4%	<1%
MEA (kg m <sup>-3</sup> )	<750	Muito alto	Alto	Médio
	751-790	Alto	Médio	Baixo
	>800	Médio	Baixo	Muito baixo

## Conclusões

Diante dos dados obtidos, pode-se concluir que houve uma variação significativa entre os parâmetros físicos e teores de fumonisinas nas amostras coletadas. Essa variação permitiu estabelecer correlações significativas entre os três parâmetros avaliados e três classes com níveis distintos de MEA e total de avariados. A partir das classes com os diferentes níveis dos parâmetros qualitativos foi estabelecido um diagrama que indica o risco de uma amostra estar contaminada por fumonisinas. Dessa forma, a proposta metodológica prevê a análise destas duas características físicas – MEA e total de avariados – e partir da obtenção desses dados, o usuário pode utilizar o diagrama para inferir o risco de contaminação por fumonisinas na amostra analisada.

Dessa forma, a análise de risco baseada na avaliação das características físicas dos grãos de milho pode ser uma ferramenta útil para estimar a contaminação por fumonisinas. O banco de dados de amostras precisa ser

ampliado para aumentar a robustez dos resultados obtidos e abranger maior espectro de contaminações. No entanto, é importante ressaltar que esta análise não substitui os métodos de referência, principalmente a cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas, para a obtenção de resultados com precisão, a partir de laboratórios acreditados para esse tipo de análise química.

## Referências

---

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 7, de 18 de fevereiro de 2011. **Regulamento técnico sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos**. Brasília, DF. 2011. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/>. Acesso em: 4 ago. 2023.

ASCHERI, J. L. R.; GERMANI, R. **Protocolo de qualidade de milho**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2004. 23 p. (Embrapa Agroindústria de Alimentos. Documentos, 59).

BATISTA, L. F.; VIANA, E. F.; ARNHOLD, E.; CAFÉ, M. B.; LEITE, C. D. S.; STRINGHINI, J. H. Valores energéticos e coeficientes de metabolizabilidade de grãos de milho com diferentes densidades específicas. **Ciência Animal Brasileira**, v. 24, e-74343E, 2023. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v24e-74343P>.

BRASIL. Instrução Normativa nº 18, de 4 de julho de 2012. Altera os incisos IV e VI do art. 25 e o art. 31, todos da Instrução Normativa nº 60, de 22 de dezembro de 2011. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, n. 129, 5 jul. 2012. Seção 1, p. 10.

BRASIL. Instrução Normativa nº 60, de 22 de dezembro de 2011. Estabelece o Regulamento Técnico do Milho. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, n. 246, 23 dez. 2011. Seção 1, p. 3-5a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 2009. 399 p.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450 p.

CORRÊA, P. C.; SILVA, J. de S. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. In: SILVA, J. de S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2008. p. 19-36.

DALPASQUALE, V. A. Procedimentos essenciais de recepção e limpeza de grãos. In: LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M.; FARONI, L. R. D. (ed.). **Armazenagem de grãos**. Jundiaí: IBG, 2018. p. 149-184.

MILANI, J.; MALEKI, G. Effects of processing on mycotoxin stability in cereals. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 12, p. 2372-2375, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6600>.

PARIZZI, F. C. O processo de classificação e a legislação para a comercialização de grãos. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE PÓS-COLHEITA, 6., 2014, Maringá. **Anais...** Londrina: ABRAPÓS, 2014. p. 36-41.

PEREIRA, C. E.; TYSKA, D.; MARTINS, A. C.; BUTZEN, F. M.; MALLMANN, A. O.; MALLMANN, C. A. Peso específico do milho e sua relação com ergosterol, micotoxinas e energia. **Revista Ciências da Vida**, v. 28, p. 186-188, 2008. Suplemento.

PRESTES, I. D.; ROCHA, L. O.; NUÑEZ, K. V. M; SILVA, N. C. C. Principais fungos e micotoxinas em grãos de milho e suas consequências. **Scientia Agropecuaria**, v. 10, n. 4, p. 559-570, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.13>.

SILVA, D. D. da; COSTA, R. V. da; 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).

SILVA, J. de S.; PARIZZI, F. C.; NOGUEIRA, R. M.; SOBRINHO, J. C. Beneficiamento de grãos. In: SILVA, J. de S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2008. p. 325-341.

SOUZA, I. S. F. **Classificação e padronização de produtos com ênfase na agropecuária**: uma análise histórico conceitual. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 120 p.



---

*Milho e Sorgo*