

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

QUALIDADE DOS GRÃOS DE MILHO SOB  
ARMAZENAMENTO EM SILO-BOLSA

Autor: Raphael Pinheiro Rodrigues Valente  
Orientador: Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale

CERES - GO  
Março – 2026

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

QUALIDADE DOS GRÃOS DE MILHO SOB  
ARMAZENAMENTO EM SILO-BOLSA

Autor: Raphael Pinheiro Rodrigues Valente  
Orientador: Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO, ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres – Área de Concentração Tecnologias de Irrigação.

CERES - GO  
Março – 2026

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)                  | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização)       | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação)                   | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:  
Raphael Pinheiro Rodrigues Valente

Matrícula:  
2024103330640004

Título do trabalho:  
QUALIDADE DOS GRÃOS DE MILHO SOB ARMAZENAMENTO EM SILO-BOLSA

### RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 12 /05 /2026

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente  
 **RAPHAEL PINHEIRO RODRIGUES VALENTE**  
Data: 12/05/2026 12:05:35-0300  
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>


Goiânia - GO  
Local

12 /05 /2026  
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente  
 **LUIS SERGIO RODRIGUES VALE**  
Data: 14/05/2026 14:05:15-0300  
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBI**

V154q Pinheiro Rodrigues Valente, Raphael  
Qualidade dos grãos de milho sob armazenamento em silo-bolsa  
/ Raphael Pinheiro Rodrigues Valente. Ceres 2026.  
42f. il.  
Orientador: Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale.  
Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de  
0333064 - Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado -  
Ceres (Campus Ceres).  
1. Qualidade do milho em grão. 2. Armazenagem. 3. Silo-bolsa.  
4. Qualidade pós-colheita. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Formulário 1/2026 - CCMIC-CE/GPPI/CMPCE/IFGOIANO

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS CERES  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

**Qualidade dos grãos de milho sob armazenamento em silo-bolsa**

Autor: Raphael Pinheiro Rodrigues Valente

Orientador: Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale

TITULAÇÃO: Mestre em Irrigação no Cerrado – Área de Concentração: Irrigação

Ceres, em: 30 de março de 2026.

**Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale**

Presidente da banca

IF Goiano - Campus Ceres

**Prof. Dr. Daniel Emanuel Cabral de Oliveira**

Avaliador Interno

IF Goiano - Campus Rio Verde

Avaliador Externo

Universidade Federal do Mato Grosso

Documento assinado eletronicamente por:

- **Luis Sergio Rodrigues Vale, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 30/03/2026 14:46:34.
- **Daniel Emanuel Cabral de Oliveira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 30/03/2026 14:48:44.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/02/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

**Código Verificador:** 793077

**Código de Autenticação:** 1e3fa94a7e



A Deus, o criador do universo,

**OFEREÇO**

À minha família,

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Arquiteto do Universo, pois sem Ele nada disso teria sido possível. Agradeço também à minha família que sempre me apoiou em minhas decisões, auxiliou no período em que estive no Mestrado e agradeço a meu orientador, Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale, que, durante esses anos de Mestrado, foi um grande orientador. A Cleisi Kelly Cruz Ferreira, pela grande ajuda e apoio nas análises e avaliação do experimento; a Keila Caroline da Silva Dias, que apoiou e ajudou levando as amostras nos laboratórios; ao Mauro Leme Filho, pelo auxílio ao ingresso ao Mestrado e pelo apoio nas hospedagens na casa da sua mãe; ao Sr. Mozar Carvalho de Assis, proprietário da Fazenda Correntão, por disponibilizar o silo-bolsa para a implantação e condução do experimento. Agradeço aos estudantes da Agronomia Heduardo Rodrigues, Ricardo Souza e Lucas Dantas e ao funcionário Sr. Etevaldo de Freitas pelo auxílio na realização da pesquisa de campo. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás - FAPEG, pelo indispensável auxílio financeiro por meio da bolsa de formação em Mestrado; e ao IF Goiano – Campus Ceres e ao PPGIC, pela oportunidade, estrutura e apoio na realização das atividades da Pós-Graduação.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

RAPHAEL PINHEIRO RODRIGUES VALENTE, filho de José Rodrigues Pires e Wilka Pinheiro Valente, nascido em 24 de dezembro de 1987, na cidade de Goiânia – GO. Em 2005, iniciou seus estudos de nível superior no curso em Tecnologia de Irrigação e Drenagem, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Campus Urutaí, concluindo sua primeira graduação em 2008. Em 2008, iniciou o curso de Especialização em Docência Superior, concluindo-o em 2009. Em 2009, ingressou no curso de Bacharelado em Agronomia, no Centro Universitário de Goiás – Uni-Anhanguera, hoje como Uni-Goiás, recebendo em 2012 o título de Bacharel em Agronomia. Em 2015, iniciou o curso de Especialização em Produção de Ruminantes, concluindo-o em 2017. Em 2022, iniciou o Curso de Auditores Técnicos do Sistema Nacional de Certificação de Unidades Armazenadoras e em 2024, iniciou seus estudos no Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado, no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, submetendo-se à defesa em 30 de março de 2026.

## RESUMO

RAPHEL PINHEIRO RODRIGUES VALENTE. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres – GO, março de 2026. **Qualidade de grãos de milho sob armazenamento em silo-bolsa.** Orientador: Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale.

Um dos principais problemas no armazenamento de grãos de milho é o déficit de capacidade estática. Logo, a utilização de silos-bolsa surge como estratégia viável para mitigar o problema das más condições de armazenamento. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física, fisiológica, nutricional e sanitária de grãos de milho armazenado em silo-bolsa por oito meses. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, composto por oito tratamentos (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 e 240 dias de armazenamento) e cinco repetições. Os grãos de milho foram colhidos e armazenados em silos-bolsa com capacidade de 22 kg pelo período de janeiro a setembro de 2025, totalizando 240 dias, com avaliações físicas, fisiológicas e sanitárias a cada 30 dias. As variáveis estudadas no período foram: temperatura interna e externa, e umidade relativa do ar interna e externa do silo-bolsa; germinação, condutividade elétrica, teor de umidade do grão e peso de mil grãos, tipificação dos grãos, análise bromatológica e sanitária. Os resultados mostraram aumento progressivo da temperatura interna e redução acentuada da umidade relativa do ar nos silos-bolsa. Para qualidade dos grãos, a germinação apresentou queda significativa após 120 dias, acompanhada por um aumento linear da condutividade elétrica. A classificação comercial mudou de Tipo I para Tipo II a partir dos 180 dias. A composição nutricional apresentou oscilações, com redução inicial de proteína bruta e extrato etéreo, seguidos de elevação nos últimos períodos de armazenamento. A incidência fúngica variou ao longo do armazenamento, com predominância inicial de *Fusarium* sp. e aumento posterior de *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp. Conclui-se que o armazenamento em silo-bolsa foi eficaz na preservação

da qualidade fisiológica, nutricional e sanitária dos grãos de milho até 120 dias, com posterior deterioração dos grãos.

Palavras-chave: *Zea mays* L. Ambiente hermético. Qualidade física, Qualidade fisiológica. Sanidade.

## ABSTRACT

RAPHEL PINHEIRO RODRIGUES VALENTE. Goiano Federal Institute, Ceres Campus, Goiás State (GO), Brazil, March 2026. **Corn grain quality under storage in silo bags**. Advisor: Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale.

The static capacity deficit is one of the main problems in corn grain storage. Therefore, the use of silo bags emerges as a viable strategy to mitigate the problem of poor storage conditions. This paper aimed to evaluate the physical, physiological, nutritional, and sanitary quality of corn grains stored in silo bags for eight months. The experimental design was in a randomized block, consisting of eight treatments (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, and 240 days of storage) and five replicates. The corn grains were harvested and stored in silo bags with a capacity of 22 kg for a period of 240 days from January to September 2025 and were evaluated on physical, physiological, and sanitary conditions every 30 days. The variables studied in this period were internal and external temperature, internal and external humidity of the silo bag, germination, electrical conductivity, grain moisture content and weight of one thousand grains, and grain classification, bromatological and sanitary analysis were performed during that period. The results showed a progressive increase in internal temperature and a marked reduction in relative humidity in the silo bags. Germination showed a significant decrease in grain quality after 120 days, accompanied by a linear increase in electrical conductivity. The commercial classification changed from Type I to Type II after 180 days. The nutritional composition showed fluctuations with an initial reduction in crude protein and ether extract, followed by an increase in the later storage periods. Fungal incidence varied throughout storage with an initial predominance of *Fusarium* sp. and a subsequent increase in *Aspergillus* sp. and *Penicillium* sp. It is concluded that storage in silo bags was effective in preserving

the physiological, nutritional, and sanitary quality of corn grains up to 120 days, with subsequent grain deterioration.

Keywords: *Zea mays* L. Airtight environment. Health. Physical quality. Physiological quality.

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1	
Análise de variância das variáveis dos grãos de milho armazenados por 240 dias em silo-bolsa. Ceres, GO. 2025. FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação; Germ: germinação; CE: Condutividade elétrica; TU: teor de umidade; PMG: peso de mil grãos; Ca: cálcio; P: fósforo; Umid: umidade dos grãos; PB: proteína bruta; FB: fibra bruta; EE: extrato etéreo; MM: matéria mineral; NDT: nutrientes digestíveis totais; MS: massa seca; FDA: fibra em detergente ácido; FDN: fibra em detergente neutro. *: significativo pelo teste F; NS: não significativo pelo teste F.....	38
Tabela 2	
Peso de mil grãos (g) e tipificação dos milhos armazenados em silo-bolsa por 240 dias. Ceres, GO, 2025.....	39

## LISTA DE FIGURAS

	Página	
Figura 1	Temperatura máxima e mínima (°C) e umidade relativa do ambiente externo (%) ao silo-bolsa com grãos de milho armazenados por 240 dias. Ceres, GO, 2025.....	39
Figura 2	Temperatura (°C) e umidade interna (%) em dois períodos do dia (9h e 15h) do silo-bolsa com grãos de milho armazenados por 240 dias. Ceres, GO, 2025.....	40
Figura 3	Análises físicas e fisiológicas de grãos de milho armazenados em silo-bolsa por 240 dias. (A) Germinação (%), (B) Condutividade ( $\mu S cm^1 g^{-1}$ de sementes) e (C) Umidade (%).....	40
Figura 4	Análise bromatológica dos grãos de milho armazenados em silo-bolsa por 240 dias. (A) Cálcio (%), (B) fósforo (%), (C) umidade (%), (D) proteína bruta (%), (E) fibra bruta (%), (F) extrato etéreo (%), (G) matéria mineral (%), (H) NDT (%), (I) matéria seca (%), (J) FDA (%) e (K) FDN (%). Ceres, GO, 2025.....	41
Figura 5	Análise sanitária (%) dos grãos de milho armazenados em silo-bolsa por 240 dias. Ceres, GO, 2025.....	42

## LISTA DE SÍMBOLOS/SIGLAS

Símbolo /Sigla	Significado	Unidade de Medida
°C	Graus Celsius	-
Ca	Cálcio	%
CE	Condutividade elétrica	$\mu$ S cm <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> de grãos
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono	-
EE	Extrato etéreo	%
FB	Fibra bruta	%
FDA	Fibra em detergente ácido	%
FDN	Fibra em detergente neutro	%
g	Gramas	-
Germ	Germinação	%
h	Horas	-
O <sub>2</sub>	Oxigênio	-
UV	Raios ultravioleta	-
kg	Quilograma	-
MM	Matéria mineral	%
MS	Massa seca	%
NDT	Nutrientes digestíveis totais	%
P	Fósforo	%
PB	Proteína bruta	%
PMG	Peso de mil grãos	g
TU	Teor de umidade	%
Umid	Umidade dos grãos	%

## SUMÁRIO

	Página
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Aspectos socioeconômicos da cultura do milho.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Armazenamento e silo-bolsa.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 Qualidade dos grãos de milho sob armazenamento em silo-bolsa.....</b>	<b>6</b>
<b>3 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>8</b>
<b>4 OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>5 CAPÍTULO I – QUALIDADE DOS GRÃOS DE MILHO SOB ARMAZENAMENTO EM SILO-BOLSA.....</b>	<b>16</b>
<b>5.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
<b>5.3 RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
<b>5.4 DISCUSSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>5.5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>31</b>
<b>5.6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>31</b>
<b>6 CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>37</b>
<b>7 ANEXO –ILUSTRAÇÕES.....</b>	<b>38</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos vegetais de maior importância econômica do país, com o estado de Goiás figurando entre os maiores produtores do cereal (Conab, 2025). Um dos grandes entraves nas regiões produtoras de grãos é o déficit de capacidade estática nas fazendas, demandando a utilização excessiva de transportes, acarretando aumento no custo final (Ziegler; Paraginski; Ferreira, C., 2021). Em diversas propriedades agrícolas, o armazenamento dos grãos de milho ocorre em sacarias, armazenadas em estruturas simples de alvenaria, ambiente que favorece a troca gasosa e intensifica a respiração, comprometendo a qualidade do produto (Cécel; Barbedo, 2021; Raudiene *et al.*, 2017; Valle *et al.*, 2021). Diante desse problema, a logística e a redução de perdas pós-colheita podem ser mitigadas utilizando técnicas de armazenamento como o silo-bolsa (Souza, I. *et al.*, 2022).

O silo-bolsa é uma técnica de armazenamento temporário de grãos feito com sacos plásticos de tamanho variável distribuídos horizontalmente no solo (Bartosik *et al.*, 2023). O material empregado são plásticos impermeáveis de polietileno, com uma parte externa branca e interna preta, características que retardam o escurecimento do tegumento e funcionam como uma barreira de contato entre os grãos e a umidade externa (Freitas *et al.*, 2011). Um dos pontos positivos é que esse tipo de armazenamento propicia uma renda aos agricultores, pois o grão colhido e armazenado nesse tipo de sistema pode ser vendido em épocas diferentes da colheita, aproveitando as variações sazonais de preços (Taher *et al.*, 2019).

No sistema hermético do silo tipo bolsa, a baixa umidade, a redução de O<sub>2</sub> e aumento de CO<sub>2</sub> contribuem para a qualidade dos grãos armazenados, uma vez que inibe o crescimento de fungos e reduz a atividade metabólica dos grãos, aumentando a longevidade do produto, refletindo, simultaneamente, na qualidade (Brito *et al.*, 2022). Pesquisas mostram que a redução do gás O<sub>2</sub> de 16,4% para 2% no milho e de 15,7% para 15,1% no trigo faz com que o conteúdo microbiano e de micotoxinas seja minimizado na

utilização do silo-bolsa (Gregori *et al.*, 2013). No interior deste sistema, a concentração interna dos gases é dependente do equilíbrio entre a respiração e a troca gasosa, fatores influenciados pela cobertura plástica, umidade e temperatura (Bartosik *et al.*, 2023; Taher *et al.*, 2019).

Segundo Abadia e Bartosik (2013), a umidade no interior do silo-bolsa pode comprometer a qualidade fitossanitária, uma vez que o elevado teor de umidade dos grãos, somado à quantidade do produto estocado, pode favorecer a proliferação de microrganismos. Dessa forma, a monitoração da qualidade dos grãos deve ser realizada através de medições indiretas, utilizando sensores que predizem a umidade intergranular e a temperatura, pois o silo hermético não deve ser aberto durante o período de armazenamento (Lutz; Coradi, 2023).

A qualidade de grãos de soja com umidade a 22% e armazenados em silo bolsa mantém a qualidade física e fisiológica por 12 dias (Souza, I.; Campanholi; Ruffato 2022). Sementes de canola secas a 8%, 10% e 14% de umidade podem ser armazenadas em silos-bolsa por até 40, 24 e 4 semanas, respectivamente, sem perder a qualidade (Chelladurai *et al.*, 2016). Em feijão, o armazenamento em silo-bolsa até 120 dias é uma alternativa eficaz para manter a qualidade fisiológica do grão em relação ao teor de água, germinação, condutividade elétrica e massa específica, bem como para diminuir a infestação de insetos praga (Magalhães; Sousa, 2020).

Diante do exposto, torna-se necessário estabelecer o tempo de armazenamento necessário para que os grãos de milho não percam sua qualidade e cheguem até o consumidor aptos para o consumo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aspectos socioeconômicos da cultura do milho

A cultura do milho (*Zea mays* L.) desempenha papel estratégico na segurança alimentar e na economia global, consolidando-se como um dos cereais de maior importância econômica para o Brasil, ultrapassando a marca de um bilhão de toneladas de produção nas últimas décadas (Pinheiro *et al.*, 2021). O Brasil mantém-se entre os principais exportadores mundiais do cereal, e o estado de Goiás figura entre os maiores produtores nacionais (Conab, 2025). Esta posição de destaque é resultado de décadas de investimento em biotecnologia, genética e na expansão do cultivo de segunda safra, o que permitiu ao país uma oferta constante de grãos para suprir tanto o mercado interno de proteína animal quanto a demanda internacional por commodities agrícolas (Ziegler; Paraginski; Ferreira, C., 2021).

Além de sua relevância produtiva, a cultura do milho exerce papel fundamental na geração de emprego e renda no meio rural, especialmente em regiões de agricultura empresarial e familiar. O cultivo do cereal demanda mão de obra em diferentes etapas da cadeia produtiva, desde o preparo do solo e manejo da lavoura até as atividades de colheita, transporte, armazenamento e beneficiamento, contribuindo para a dinamização econômica de municípios dependentes do agronegócio (Artuzo *et al.*, 2019). Em pequenas e médias propriedades, o milho também se destaca como alternativa estratégica para a diversificação produtiva, reduzindo riscos econômicos e garantindo maior estabilidade financeira ao produtor rural (Mango *et al.*, 2018).

Sob a ótica do mercado, a volatilidade dos preços do milho, influenciada por fatores climáticos, custos de produção e logística, impacta diretamente a rentabilidade do setor e o planejamento econômico dos produtores (Sanchez *et al.*, 2024). Nesse contexto,

investimentos em tecnologia, armazenamento eficiente e organização da cadeia produtiva tornam-se essenciais para mitigar riscos, fortalecer a competitividade do milho brasileiro e assegurar sua sustentabilidade socioeconômica a longo prazo (Rosa; Brisola; Reis, 2023).

No cenário goiano, a produção de milho é um dos pilares do desenvolvimento agroindustrial, nas áreas de integração com a pecuária e a indústria de biocombustíveis, para produção de etanol (Sampaio; Assis, 2023). A produtividade do milho no estado está associada a diversos fatores como a adoção de sistemas tecnificados de cultivo, que aproveitam as janelas climáticas do Cerrado (Melo, 2024). Entretanto, alguns problemas de armazenamento da produção geram um escoamento de grãos deficitário e comprometem a capacidade de escoamento estadual. Esse cenário mostra que o setor produtivo precisa estabelecer estratégias de escoamento para evitar gargalos que comprometam a produtividade (Schalch, 2016).

O milho é insumo base para cadeias sensíveis à alimentação humana, como a avicultura, a suinocultura e a bovinocultura (Contini *et al.*, 2019). Problemas na cadeia produtiva ou no armazenamento deste cereal têm impacto direto no custo da produção de alimentos processados e ultraprocessados. O resultado econômico da cultura depende da capacidade de o produtor gerenciar o estoque diante de um mercado dinâmico e exigente em termos de sanidade (Mendes, 2022).

## **2.2 Armazenamento e silo-bolsa**

Um dos grandes entraves enfrentados nas regiões produtoras de grãos no Brasil, como o milho, é o déficit da capacidade estática de armazenamento nas propriedades rurais (Silva, N. *et al.*, 2024). A infraestrutura de estocagem insuficiente de grãos de milho obriga muitos agricultores a dependerem de sistemas de transporte após a colheita, o que eleva os custos logísticos e reduz as margens de lucro (Carvalho; Bigeli; Miranda, 2024). Diante disso, torna-se comum o uso de estruturas de alvenaria ou o acondicionamento em sacarias em ambientes que não oferecem condições ideais para a preservação das propriedades e das características biológicas do grão.

Em condições inadequadas de armazenamento, a troca gasosa entre o grão e o ambiente externo é intensificada, aumentando as taxas respiratórias, o que ocasiona a deterioração do grão de milho (Coradi *et al.*, 2014). Quando o milho é mantido em

ambientes sem controle de temperatura e umidade, ocorre uma perda acelerada da qualidade física, fisiológica e nutricional, tornando o grão vulnerável à infecção de fungos e bactérias. Esta degradação não se aplica somente à parte visual do grão, mas também a alterações químicas que diminuem o valor nutricional e a segurança sanitária do cereal destinado à alimentação (Mabasso *et al.*, 2024).

A busca por técnicas de armazenamento de grãos de milho que permitam a conservação temporária com custos reduzidos torna-se, portanto, uma necessidade para o produtor, que visa a escapar da venda imediata sob preços desfavoráveis (Brito *et al.*, 2022). A logística pós-colheita de grãos de milho é uma extensão do processo produtivo e reduzir as perdas nesta etapa impacta positivamente nos lucros (Mabasso *et al.*, 2024).

O silo-bolsa é uma alternativa estratégica de armazenamento temporário de grãos, capaz de reduzir as perdas pós-colheita através de um sistema de baixo custo e de baixa manutenção (Barbosa *et al.*, 2020). A técnica de silo-bolsa utiliza bolsas de material plástico impermeável, geralmente polietileno de multicamadas, com uma face externa branca para proteção contra raios UV e uma interna preta para garantir a proteção contra luminosidade, além de estabilidade térmica (Bartosik *et al.*, 2023). A disposição horizontal dos compartimentos dos silos-bolsa no solo permite que o produtor armazene grandes volumes de cereal diretamente na propriedade, funcionando como uma barreira de contato entre os grãos de milho e o ambiente externo (Ziegler *et al.*, 2016).

A eficácia do sistema silo-bolsa consiste no princípio da hermeticidade, em que o ambiente interno atua inibindo a atividade metabólica indesejada (Costa *et al.*, 2010). No interior do silo-bolsa, a redução gradativa dos níveis de oxigênio (O<sub>2</sub>) e o aumento concomitante do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), resultantes da respiração dos próprios grãos e da microbiota, criam uma atmosfera modificada, desfavorável ao crescimento de fungos e à sobrevivência de insetos (Bartosik *et al.*, 2023). Esse equilíbrio gasoso é determinante para aumentar a longevidade do produto, pois reduz drasticamente as taxas de oxidação e o consumo das reservas energéticas do cereal durante o período de estocagem, garantindo um grão de qualidade (Brito *et al.*, 2022). No interior do silo-bolsa, a concentração interna dos gases é dependente do equilíbrio entre a respiração e a troca gasosa, fatores influenciados pela cobertura plástica, umidade e temperatura do grão (Taher *et al.*, 2019).

Além disso, o uso do silo-bolsa proporciona uma melhor gestão da renda dos agricultores, permitindo que a safra seja comercializada em momentos de maior valorização de preços (Barbosa *et al.*, 2020). A possibilidade de armazenar o grão colhido

por períodos que variam de alguns meses até quase um ano, sem perdas significativas de qualidade, confere ao produtor um poder de negociação que antes era restrito a grandes cooperativas ou indústrias (Bartosik *et al.*, 2023). Assim, a tecnologia apresenta-se como uma solução que une viabilidade técnica e estratégica, transformando o manejo da pós-colheita em um diferencial competitivo para a agricultura moderna.

### **2.3 Qualidade dos grãos de milho sob armazenamento em silo-bolsa**

A manutenção da qualidade do milho armazenado é influenciada diretamente pelas condições climáticas locais e pelo microclima estabelecido no interior do silo-bolsa, interferindo diretamente no metabolismo (Paraginski *et al.*, 2015). A composição atmosférica, principalmente os gases  $O_2$  e  $CO_2$ , influenciam na respiração dos grãos (Valle *et al.*, 2021). Em condições elevadas ou satisfatórias do oxigênio no ambiente, há um aumento na taxa respiratória dos grãos com a consequente síntese de  $CO_2$  e aumento das atividades metabólicas (Raudiene *et al.*, 2017). Baixos níveis de  $O_2$  têm efeito direto na respiração, interferindo no processo dos ácidos tricarbóxicos e na cadeia transportadora de elétrons, além de afetar a síntese e a atividade de enzimas (Cécel; Barbedo, 2021).

Além disso, o alto teor de umidade dos grãos favorece a atividade respiratória e, junto com a liberação do vapor d'água e calor, contribui para a fermentação da massa armazenada por processos anaeróbicos. Esse ambiente favorece a proliferação de fungos e insetos, causando deterioração dos produtos armazenados (Souza, I. *et al.*, 2022). Em trigo, esse comportamento também é observado à medida que a temperatura de armazenamento é elevada (Kibar, 2021).

O teor de umidade dos grãos, somado à alta umidade relativa e à temperatura do ambiente de armazenamento, influencia negativamente a qualidade dos produtos. Grãos com umidades acima de 14% armazenados em altas temperaturas favorecem o crescimento de fungos, produzindo micotoxinas, favorecendo também o ataque de insetos, causando perda de massa (Likhayo *et al.*, 2018).

Assim, o silo-bolsa tem a característica de ser hermético, portanto a baixa umidade, a redução de  $O_2$  e o aumento de  $CO_2$  contribuem para uma boa qualidade dos grãos armazenados, uma vez que inibem o crescimento de fungos e reduzem a atividade metabólica dos grãos, aumentando a longevidade do produto, refletindo,

simultaneamente, na sua qualidade (Brito *et al.*, 2022). No armazenamento em sistema hermético, o CO<sub>2</sub> produzido tem efeito paralisante do processo de respiração, em virtude da diminuição da relação O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>, com efeito significativo na redução da produção de água e calor, contribuindo ainda para uma menor atividade de microrganismos (Ferreira Filho *et al.*, 2012).

Com o aumento do CO<sub>2</sub>, a atividade do citocromo *c* oxidase e succinato desidrogenase (complexos proteicos que participam do transporte de elétrons) de mitocôndrias é reduzida, conseqüentemente, refletindo-se na redução do processo respiratório (González-Meler *et al.*, 1996). Em um sistema hermético, o metabolismo incompleto dos carboidratos nos grãos mediante o processo oxidativo e de organismos associados em condições aeróbicas e/ou anaeróbicas leva a uma conservação secundária pela formação de álcool etílico, ácido acético, ácido lático e ácido butírico (Ziegler; Paraginski; Ferreira, C., 2021). Estudo realizado por Mezzalira, Souza, I. e Ruffato (2023) demonstram que o ambiente hermético do silo-bolsa é fundamental para diminuir a concentração de O<sub>2</sub> no ambiente de armazenamento e para propiciar uma longevidade de até 330 dias dos grãos de soja.

Do ponto de vista sanitário, observa-se uma dinâmica de sucessão fúngica que altera o perfil de qualidade do cereal. Inicialmente, predominam fungos de campo, como o *Fusarium* sp., cuja incidência tende a diminuir com o tempo de armazenamento e a redução do oxigênio (Brito *et al.*, 2022). Entretanto, se a hermeticidade for comprometida ou o período de estocagem for excessivo, surgem os fungos de armazenamento, como o *Aspergillus* sp. e o *Penicillium* sp., que podem comprometer a tipificação comercial do grão, alterando sua classificação, além de causar alterações nutricionais (Somda *et al.*, 2023).

Os grãos de milho têm sua qualidade nutricional afetada no armazenamento, com os teores de proteína, cinzas e lipídeos variando ao longo do tempo (Tiecker Junior *et al.*, 2014). Os grãos de milho podem apresentar aumento de acidez da gordura em ambientes não herméticos e altas temperaturas de armazenamento em razão da hidrólise de triglicerídeos, que ocorre pela atividade fúngica, que libera enzimas degradantes de gordura e ácidos graxos livres (Odjo *et al.*, 2022; Paraginski *et al.*, 2014). As alterações químicas que ocorrem nos grãos armazenados são causadas pelo metabolismo e pela ocorrência de microrganismos deletérios (Ziegler; Paraginski; Ferreira, C., 2021).

A concentração de gases, somada ao teor de umidade dos grãos, contribui para a atividade de microrganismos. Estudos conduzidos por Ngwenyama *et al.* (2023) com

grãos de milho demonstram que, em um armazenamento inadequado, os fungos podem consumir carboidratos e gordura dos grãos para obter energia, diminuindo a qualidade nutricional do cereal. Além do mais, a produção de micotoxinas e de metabólitos secundários também ocorre no ataque dos microrganismos.

### 3 REFERÊNCIAS

ABADIA, B.; BARTOSIK, R. **Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos:** hacia el agregado de valor en origen. Buenos Aires: Ediciones INTA, 2013. 194p.:il. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/282878383\\_Manual\\_de\\_Buenas\\_Practicas\\_en\\_Poscosecha\\_de\\_Granos](https://www.researchgate.net/publication/282878383_Manual_de_Buenas_Practicas_en_Poscosecha_de_Granos) Acesso em: 17 abr. 2025.

ARTUZO, F. D. *et al.* O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.12, n.2, p.515-540, 2019. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p515-540> Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/5327> Acesso em: 26 mar. 2025.

BARBOSA, E. J. A. *et al.* Armazenamento de soja na propriedade rural em silo tipo bolsa: custos e viabilidade econômica. **Research, Society and Development**, v.9, n.10, p.e9929109355, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.9355> Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/9355> Acesso em: 18 mai. 2025.

BARTOSIK, R. *et al.* Silo-bag system for storage of grains, seeds and by-products: A review and research agenda. **Journal of Stored Products Research**, v.100, p.e102061, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.102061> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022474X22001357?via%3Dihub> Acesso em: 19 mai. 2025.

BRITO, V. D. *et al.* Fungal diversity and mycotoxins detected in maize stored in silo-bags: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.102, n.7, p.2640-2650, 2022. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11756> Disponível em: <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.11756> Acesso em: 25 abr. 2025.

CÉCEL, A. T., BARBEDO, C. J. Taxas respiratórias de sementes de *Eugenia brasiliensis* Lam. (Myrtaceae) sob atmosferas modificadas. **Hoehnea**, v.48, p.e052020, 2021. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-05/2020> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hoehnea/a/Jd8cdVVgMxpz9psky7KcvMh/?lang=pt> Acesso em: 30 mar. 2025.

CHELLADURAI, V. *et al.* Feasibility of storing canola at different moisture contents in silo bags under Canadian Prairie conditions. **Canadian Biosystems Engineering**, v.58, n.1, p.3.9-3.20, 2016. <http://dx.doi.org/10.7451/CBE.2016.58.3.9> Disponível em: <https://library.csbe-scgab.ca/docs/journal/58/C16277.pdf> Acesso em: 30 mar. 2025.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2024/25**. 12º levantamento. Conab: Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safra/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/12o-levantamento-safra-2024-25/12o-levantamento-safra-2024-25> Acesso em: 14 fev. 2025.

CONTINI, E. *et al.* Milho: caracterização e desafios tecnológicos. Brasília: Embrapa; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. Série Desafios do Agronegócio Brasileiro, **Nota Técnica 2**. 45p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195075/1/Milho-caracterizacao.pdf> Acesso em: 9 jan. 2025.

CORADI, P. C. *et al.* Quality of stored grain of corn in different conditions. **Científica**, v.42, n.2, p.118-133, 2014. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2014v42n2p118-133> Disponível em: <https://cientifica.dracena.unesp.br/index.php/cientifica/article/view/535> Acesso em: 5 jul. 2025.

COSTA, A. R. da *et al.* Qualidade de grãos de milho armazenados em silos bolsa. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.2, p.200-207, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000200005> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/WVPWqzVnVpTGSSQdnf7XJhm/?lang=pt> Acesso em: 7 ago. 2025.

CARVALHO, G. P. de; BIGELI, B. C. M. N.; MIRANDA, J. F. B. Desafios da logística no agronegócio Tocantinense: avaliação da infraestrutura de transporte e armazenagem, com foco nos gargalos que afetam o setor. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, v.7, n.15, p.e151562, 2024. <https://doi.org/10.55892/jrg.v7i15.1562> Disponível em: <https://revistajrg.com/index.php/jrg/article/view/1562> Acesso em: 6 out. 2025.

FERREIRA FILHO, E. *et al.* Qualidade de grãos de trigo submetidos a diferentes condições de armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.18, n.1, p.25-35, 2012. Disponível em: [http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1398776248\\_arquivo\\_completo\\_pag\\_v.18\\_n.01.pdf](http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1398776248_arquivo_completo_pag_v.18_n.01.pdf) Acesso em: 6 out. 2025.

FREITAS, R. da S. *et al.* Quality of beans stored under hermetic conditions. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.6, p.1136-1149, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/DkXnBhxMfMwXcCkB9ySV5My/?format=pdf&lang=en> Acesso em: 13 out. 2025.

GONZÁLEZ-MELER, M. A. *et al.* Direct inhibition of plant mitochondrial respiration by elevated CO<sub>2</sub>. **Plant Physiology**, v.112, n.3, p.1349-1355, 1996. <https://doi.org/10.1104/pp.112.3.1349> Disponível em: <https://academic.oup.com/plphys/article-abstract/112/3/1349/6070449> Acesso em: 13 mai. 2025.

GREGORI, R. *et al.* Dynamics of fungi and related mycotoxins during cereal storage in silo bags. **Food Control**, v.30, n.1, p.280-287, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.06.033> Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713512003659?via%3Dihub> Acesso em: 13 mar. 2025.

KIBAR, H. CO<sub>2</sub> respiration rates of einkorn wheat at different temperature and moisture contents. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.45, n.2, article 6, p.179-190, 2021. <https://doi.org/10.3906/tar-2005-38> Disponível em: <https://journals.tubitak.gov.tr/cgi/viewcontent.cgi?article=1055&context=agriculture> Acesso em: 4 abr. 2025.

LIKHAYO, P. *et al.* Mayze grain stored in hermetic bags: effect of moisture and pest infestation on grain quality. **Journal of Food Quality**, v.2018, n.3, Article ID 251569, 9p., 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2515698> Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2018/2515698> Acesso em: 4 abr. 2025.

LUTZ, E.; CORADI, P. C. Equilibrium moisture content and dioxide carbon monitoring in real-time to predict the quality of corn grain stored in silo bags using artificial neural networks. **Food Analytical Methods**, v.16, n.1, p.1079-1098, 2023. <https://doi.org/10.1007/s12161-023-02497-2> Disponível em: [https://link.springer.com/article/10.1007/s12161-023-02497-2?utm\\_source=researchgate.net&utm\\_medium=article](https://link.springer.com/article/10.1007/s12161-023-02497-2?utm_source=researchgate.net&utm_medium=article) Acesso em: 9 fev. 2025.

MABASSO, G. A. *et al.* Physical properties and quality of corn grains stored at different initial moisture contents under hermetic and non-hermetic conditions. **Journal of Stored Products Research**, v.109, p.e102463, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102463> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022474X24002200?via%3Dihub> Acesso em: 3 jan. 2025.

MAGALHÃES, V. B.; SOUSA, A. H. de. Qualidade de grãos de feijão crioulo Gurgutuba branco armazenados em silo bolsa e garrafa pet. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.12, n.3, p.195-208, 2020. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v12n320201465> Disponível em: [https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1465/pdf\\_1](https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1465/pdf_1) Acesso em: 4 jan. 2025.

MANGO, N. *et al.* The role of crop diversification in improving household food security in central Malawi. **Agriculture & Food Security**, v.7, n.7, 2018. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0160-x> Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40066-018-0160-x> Acesso em: 4 jan. 2025.

MELO, A. C. de A. **Fatores climáticos e os custos de produção do milho**: um estudo nas principais regiões produtoras brasileiras. 2024. 124f. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. 2024. <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.123>. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/41250/1/FatoresClim%c3%a1ticosCustos.pdf> Acesso em: 24 mar. 2025.

MENDES, J. C. Revisão bibliográfica sobre a área de refúgio para milho Bt. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, Ano 7, 12ed. v.3, p.20-31, dez. 2022. [DOI:10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/agronomia/milho-bt](https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/agronomia/milho-bt) Disponível

em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/agronomia/milho-bt> Acesso em: 10 maio 2025.

MEZZALIRA, D.; SOUZA, I. P. de; RUFFATO, S. Qualidade de grãos de soja armazenados em silo bolsa. **Research, Society and Development**, v.12, n.9, p.e9612943199, 2023. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i9.43199> Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/43199> Acesso em: 15 abr. 2025.

NGWENYAMA, P. *et al.* Determinants of smallholder farmers' maize grain storage protection practices and understanding of the nutritional aspects of grain postharvest losses. **Food Security**, v.15, p.937-951, 2023. <https://doi.org/10.1007/s12571-023-01349-5> Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12571-023-01349-5> Acesso em: 25 fev. 2025.

ODJO, S. *et al.* Hermetic storage technologies preserve maize seed quality and minimize grain quality loss in smallholder farming systems in Mexico. **Journal of Stored Products Research**, v.96, p.e101954, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.101954> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022474X22000273?via%3Dihub> Acesso em: 1 fev. 2025.

PARAGINSKI, R. T. *et al.* Physicochemical and pasting properties of maize as affected by storage temperature. **Journal of Stored Products Research**, v.59, p.209-214, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.02.010> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022474X14000241?via%3Dihub> Acesso em: 9 fev. 2025.

PARAGINSKI, R. T. *et al.* Qualidade dos grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p.358-363, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p358-363> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/VpMDpzMPscz34JVpfGBDryN/?lang=pt> Acesso em: 9 fev. 2025.

PINHEIRO, L. da S. *et al.* Características agro econômicas do milho: uma revisão. **Natural Resources**, v.11, n.2, p.13-21, mar.-jun. 2021. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/naturalresources/article/view/CBPC2237-9290.2021.002.0003> Acesso em: 6 mar. 2025.

RAUDIENE, E. *et al.* Carbon dioxide respiration rates in wheat at various temperatures and moisture contents. **MAPAN**, v.32, p.51-58, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12647-016-0202-4> Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12647-016-0202-4> Acesso em: 7 mar. 2025.

ROSA, D. F. M. e; BRISOLA, M. V.; REIS, S. A. dos. Um estudo prospectivo da cadeia produtiva do milho no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.40, p.e27368, jan./dez. 2023. <https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2023.v40.27368> Disponível em: <https://apct.sede.embrapa.br/cct/article/view/27368> Acesso em: 6 mar. 2025.

SAMPAIO, C.; ASSIS, D. R. de. Etanol de milho: novas perspectivas no mercado brasileiro. **Revista Interface Tecnológica**, v.20, n.2, p.751-761, 2023.  
<https://doi.org/10.31510/infa.v20i2.1746> Disponível em:  
[https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/pt\\_BR/article/view/1746](https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/pt_BR/article/view/1746) Acesso em: 7 mar. 2025.

SANCHES, A. L. R. *et al.* Os impactos dos preços do milho ao longo das cadeias consumidoras. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.62, n.3, p.e274483, 2024.  
<https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.274483> Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/resr/a/RdRjMft4gYZ4GsdghvqXWTN/?lang=pt> Acesso em: 8 mar. 2025.

SCHALCH, E. J. **Os gargalos logísticos das principais rotas de escoamento de grãos de soja do estado do Mato Grosso: um estudo de caso do complexo portuário Miritituba-Barcarena no Pará.** 2016. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.  
<https://doi.org/10.11606/D.74.2017.tde-15032017-153136> Disponível em:  
<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74134/tde-15032017-153136/publico/ME4462160COR.pdf> Acesso em: 29 abr. 2026.

SILVA, N. L. O. da *et al.* Déficit de armazenagem de grãos no Brasil. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v.2, n.1, p.1-13, 2024.  
[doi:10.61164/rmm.v2i1.2119](https://doi.org/10.61164/rmm.v2i1.2119) Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/publication/378631222\\_DEFICIT\\_DE\\_ARMAZENAGEM\\_DE\\_GRAOS\\_NO\\_BRASIL](https://www.researchgate.net/publication/378631222_DEFICIT_DE_ARMAZENAGEM_DE_GRAOS_NO_BRASIL) Acesso em: 8 mar. 2025.

SOMDA, M. K. *et al.* Assessment of maize contamination by aflatoxin in Burkina Faso: a review of methods of control. **Food and Nutrition Sciences**, v.14, p.135-147, 2023.  
Disponível em: [https://www.scirp.org/pdf/fns\\_2023022715040456.pdf](https://www.scirp.org/pdf/fns_2023022715040456.pdf) Acesso em: 8 mar. 2025.

SOUZA, I. P. de; CAMPANHOLI, W.; RUFFATO, S. Silo bolsa como solução logística para armazenagem temporária de soja úmida na colheita. **Conjecturas**, v.22, n.16, p.931-945, 2022. Doi: [10.53660/CONJ-1992-MP29](https://doi.org/10.53660/CONJ-1992-MP29) Disponível em:  
<https://scispace.com/pdf/silo-bolsa-como-solucao-logistica-para-armazenagem-3oxpjwq0.pdf> Acesso em: 10 abr. 2025.

SOUZA, I. P. de *et al.* Qualidade de grãos de soja úmida armazenados temporariamente em silo bolsa. **Revista de Ciências Agroambientais**, v.20, n.1, p.35-43, 2022.  
Disponível em: <https://periodicos.unemat.br/index.php/rcaa/article/view/5462> Acesso em: 10 abr. 2025.

TAHER, H. I. *et al.* Predicting soybean losses using carbon dioxide monitoring during storage in silo bags. **Journal of Stored Products Research**, v.82, p.1-8, 2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.03.002> Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022474X18303916> Acesso em: 8 mar. 2025.

TIECKER JUNIOR, A. *et al.* Qualidade físico-química de grãos de milho armazenados com diferentes umidades em ambientes hermético e não hermético. **Revista Brasileira**

**de Milho e Sorgo**, v.13, n.2, p.174-186, 2014. Disponível em:  
<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/256576/000994427.pdf;jsessionid=C7CF0C416B9CFA6959845A28C3E89936?sequence=1> Acesso em: 10 abr. 2025.

VALLE, F. J. M. *et al.* Evolution of grain microbiota during hermetic storage of corn (*Zea mays* L.). **Journal of Stored Products Research**, v.92, n.4, p.e101788, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101788> Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022474X21000278?via%3Dihub> Acesso em: 10 abr. 2025.

ZIEGLER, V., PARAGINSKI, R. T., FERREIRA, C. D. Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality - a review. **Journal of Stored Products Research**, v.91, p.e101770, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101770> Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022474X21000096?via%3Dihub> Acesso em: 15 mar. 2025.

ZIEGLER, V. *et al.* Effects of temperature and moisture during semi-hermetic storage on the quality evaluation parameters of soybean grain and oil. **Semina: Ciências Agrárias**, v.37, n.1, p.131-144, 2016. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n1p131> Disponível em:  
<https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/20410> Acesso em: 28 fev. 2025.

## 4 OBJETIVOS

Este trabalho tem como **Objetivo Geral** avaliar a qualidade física, fisiológica, nutricional e sanitária de grãos de milho armazenado em silo-bolsa por oito meses.

Tem como **Objetivos específicos**:

- a) mensurar a temperatura e a umidade interna e externa do silo-bolsa;
- b) certificar a germinação, condutividade elétrica, teor de umidade dos grãos e peso de mil grãos;
- c) determinar a tipificação dos grãos de milho (I, II, III e fora de tipo);
- d) analisar a bromatologia dos grãos (umidade, proteína bruta, fibra bruta, extrato etéreo, matéria mineral, nutrientes digestíveis totais, matéria seca, fibra em detergente ácido e fibra em detergente neutro, teores de fósforo e cálcio); e
- e) verificar a sanidade dos grãos de milho.

## **5      CAPÍTULO I**

### **Qualidade dos grãos de milho sob armazenamento em silo-bolsa**

(Normas de acordo com a revista Scientia Agricola)

**Resumo:** Um dos principais problemas no armazenamento de grãos de milho é o déficit de capacidade estática. Logo, a utilização de silos-bolsa surge como estratégia viável para mitigar o problema das más condições de armazenamento. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física, fisiológica, nutricional e sanitária de grãos de milho armazenado em silos-bolsa por oito meses. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, composto por oito tratamentos (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 e 240 dias de armazenamento) e cinco repetições. Os grãos de milho foram colhidos e armazenados em silos-bolsa com capacidade de 22 kg, por um período de 240 dias, com avaliações físicas, fisiológicas e sanitárias a cada 30 dias. Os resultados mostraram aumento progressivo da temperatura interna e redução acentuada da umidade relativa nos silos-bolsa. Para qualidade dos grãos, a germinação apresentou queda significativa após 120 dias, acompanhada por um aumento linear da condutividade elétrica. A classificação comercial mudou de Tipo I para Tipo II a partir de 180 dias. A composição nutricional apresentou oscilações, com redução inicial de proteína bruta e de extrato etéreo, seguidas de elevação nos últimos períodos de armazenamento. A incidência fúngica variou ao

longo do armazenamento, com predominância inicial de *Fusarium* sp. e aumento posterior de *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp. Conclui-se que o armazenamento em silo-bolsa foi eficaz na preservação da qualidade fisiológica, nutricional e sanitária dos grãos de milho até 120 dias, com posterior deterioração dos grãos.

Palavras-chave: *Zea mays* L. Ambiente hermético. Qualidade física. Qualidade fisiológica. Sanidade.

## 5 CHAPTER I

### **Quality of corn grain under storage in silo bags**

(Standards according to the Journal Scientia Agricola)

**Abstract:** The static capacity deficit is one of the main problems in corn grain storage. Therefore, the use of silo bags emerges as a viable strategy to mitigate the problem of poor storage conditions. This paper aimed to evaluate the physical, physiological, nutritional, and sanitary quality of corn grains stored in silo bags for eight months. The experimental design was in a randomized block, consisting of eight treatments (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, and 240 days of storage) and five replicates. The corn grains were harvested and stored in silo bags with a capacity of 22 kg for a period of 240 days and the physical, physiological, and sanitary conditions were evaluated every 30 days. The results showed a progressive increase in internal temperature and a marked reduction in relative humidity in the silo bags. Germination showed a significant decrease in grain quality after 120 days, accompanied by a linear increase in electrical conductivity. The commercial classification changed from Type I to Type II after 180 days. The nutritional composition

showed fluctuations with an initial reduction in crude protein and ether extract, followed by an increase in the later storage periods. Fungal incidence varied throughout storage with an initial predominance of *Fusarium* sp. and a subsequent increase in *Aspergillus* sp. and *Penicillium* sp. It is concluded that storage in silo bags was effective in preserving the physiological, nutritional, and sanitary quality of corn grains up to 120 days, with subsequent grain deterioration.

Keywords: *Zea mays* L. Airtight environment. Health. Physical quality, Physiological quality.

## 5.1 Introdução

O milho (*Zea mays* L.) destaca-se como uma das culturas de maior relevância econômica no Brasil. O país está entre os principais exportadores do grão, com o estado de Goiás ocupando posição de destaque entre os maiores produtores nacionais (Conab, 2025). Contudo, um dos entraves enfrentados nas regiões produtoras é o déficit de capacidade estática de armazenamento nas propriedades rurais, o que eleva o aumento dos custos de comercialização (Ziegler *et al.*, 2021).

Em diversas propriedades, os grãos ainda são acondicionados em sacarias e armazenados em estruturas simples de alvenaria, prática que favorece a troca gasosa e intensifica a respiração, comprometendo a qualidade do produto (Cécel e Barbedo, 2021; Raudiene *et al.*, 2017; Valle *et al.*, 2021a). Assim, condições inadequadas de armazenamento diminuem a qualidade física, fisiológica, nutricional e sanitária dos grãos (Coradi *et al.*, 2021; Likhayo *et al.*, 2018; Muller *et al.*, 2022; Ngwenyama *et al.*, 2023; Odjo *et al.*, 2022; Paraginski *et al.*, 2014; D. Souza *et al.*, 2024; Stathers *et al.*, 2020).

O silo-bolsa constitui uma alternativa de armazenamento temporário de grãos,

capaz de minimizar as perdas pós-colheita (Bartosik *et al.*, 2023; I. Souza *et al.*, 2022; Ziegler *et al.*, 2021). Seu sistema hermético, caracterizado pela baixa umidade, redução do O<sub>2</sub> e aumento do CO<sub>2</sub>, contribui para a preservação da qualidade dos grãos, pois inibe o desenvolvimento de fungos e reduz a atividade metabólica, aumentando a longevidade do produto (Brito *et al.*, 2022; Gregori *et al.*, 2013).

No interior do silo-bolsa a concentração dos gases resulta do equilíbrio entre a respiração e a troca gasosa, processo influenciado pela cobertura plástica, pela umidade e pela temperatura dos grãos (Bartosik *et al.*, 2023; Taher *et al.*, 2019).

Estudos evidenciam efeitos positivos do uso do silo-bolsa no aumento da longevidade de diferentes culturas agrícolas. Sementes de canola podem ser armazenadas por até 40 semanas sem perdas significativas de qualidade (Chelladurai *et al.*, 2016). Grãos de milho têm danos próximos a zero e mantêm o retorno econômico até cinco meses após o armazenamento em sacos herméticos (Dijkink *et al.*, 2022). Os grãos de trigo podem ser armazenados por até 210 dias, mantendo sua qualidade sanitária e nutricional (El-Kholy e Kamel, 2021).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade física, fisiológica, nutricional e sanitária de grãos de milho armazenados em silo-bolsa por oito meses.

## **5.2 Material e Métodos**

Os grãos de milho foram colhidos no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Ceres, e armazenados em silo graneleiro de janeiro a setembro de 2025 com a média de temperatura máxima e mínima de 34 °C e 18 °C, respectivamente, e umidade relativa de 33%, ambas com oscilações durante o período

(Figura 1). Para a realização do experimento, foi utilizada bolsa de material impermeável de polietileno de alta densidade (PEAD) a céu aberto, composta por cinco camadas, com resistência mecânica, proteção contra raios UV e espessura de 230 micra, confeccionada e vedada com seladora. Cada bolsa teve a dimensão de 60 cm de comprimento x 50 cm de largura x 20 cm de altura e capacidade para armazenamento de 22 kg de grãos.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, composto por oito tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos corresponderam aos diferentes períodos de armazenamento: 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 e 240 dias. As variáveis estudadas no período foram: temperatura interna e externa e umidade relativa interna e externa do silo-bolsa; germinação, condutividade elétrica, teor de umidade do grão e peso de mil grãos, tipificação dos grãos, análises bromatológica e sanitária.

A medição das temperaturas interna e externa dos silos-bolsa, assim como da umidade relativa do ar, foi feita diariamente por meio de termo-higrômetros FEPRO-MUT600S- Exbom instalados em cada silo-bolsa. As leituras diárias no campo foram efetuadas em dois horários: 9h00 e 15h00.

O teste de germinação dos grãos de milho foi feito a cada 30 dias com oito repetições de 50 grãos, com uso de papel germitest a 25 °C em câmara tipo B.O.D. A primeira contagem foi feita aos quatro dias e a final aos sete dias, considerando as plântulas normais. Os resultados foram expressos em percentagem média de germinação (Brasil, 2025). Essa análise foi feita no LabSem do IF Goiano – Campus Ceres.

A determinação da condutividade elétrica (CE) dos grãos de milho foi feita a cada 30 dias, com quatro repetições de 25 grãos. Os grãos foram pesados em balança analítica e embebidos durante 24h00 a 25 °C com 75 mL de água destilada. Os resultados foram expressos em  $\mu S cm^{-1} g^{-1}$  de sementes (AOSA, 2002; Vidigal *et al.*, 2008). Essa

análise foi feita no LabSem do IF Goiano – Campus Ceres, com o uso de um condutivímetro de bancada (DDS-120 W).

O teor de umidade do grão foi medido de acordo com o método da estufa a 105 °C com quatro repetições de 50 g por amostra (Brasil, 2025). Para determinar o peso de mil grãos (PMG), foram utilizadas oito repetições de 100 grãos, pesados em balança analítica, e os resultados expressos em gramas (Brasil, 2025). Essas duas análises foram feitas no LabSem, tendo sido necessário o uso de uma estufa de secagem e de uma balança digital.

A tipificação dos grãos de milho foi feita de acordo com os tipos I, II, III, seguindo as normas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2011). Essa análise foi feita no LabSem do IF Goiano - Campus Ceres.

Para umidade, proteína bruta, fibra bruta, extrato etéreo, matéria mineral, nutrientes digestíveis totais, matéria seca, fibra em detergente ácido e fibra em detergente neutro, adotou-se a metodologia proposta por Sindirações (2023), com os resultados expressos em porcentagem. A análise bromatológica foi feita no Laboratório Terra Análises para Agropecuária, Goiânia – GO.

A determinação dos teores de fósforo e cálcio nos grãos de milho foi feita conforme as normas estabelecidas por Brasil (2023). O fósforo foi quantificado pelo método espectrofotométrico do ácido molibdovanadofosfórico, enquanto o cálcio foi determinado por espectrometria de absorção atômica. As análises foram feitas no Laboratório Terra Análises para Agropecuária, Goiânia – GO.

A sanidade dos grãos de milho foi feita pela metodologia do Blotter Test (Brasil, 2025). Foram utilizadas três repetições de 200 sementes para cada tratamento. As sementes foram dispostas sobre três folhas de papel filtro previamente umedecidas, em

caixas plásticas do tipo Gerbox, tendo sido utilizadas 20 sementes por caixa. Em seguida, as amostras foram incubadas a uma temperatura de  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  por um período de sete dias. Ao término desse período, as sementes foram analisadas individualmente com o auxílio de um microscópio. Esta análise foi feita no Laboratório JEM Análise Agrícola, Goiânia – GO.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, foi feita a análise de regressão. Para as variáveis que não apresentaram diferença significativa, foi feito o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Para a análise dos dados, foi utilizado o software R 3.5.1.

### **5.3 Resultados**

A análise de variância demonstra que as variáveis físicas, fisiológicas, bromatológicas e sanitárias apresentam diferença significativa ( $p < 0,05$ ), com exceção do peso de mil grãos ( $p\text{-valor}=0,43$ ). Entretanto, não houve diferença entre os blocos em nenhuma das variáveis analisadas (Tabela 1).

O monitoramento das condições ambientais externas e na área experimental de armazenamento ao longo de 240 dias mostrou aumento da temperatura e diminuição da umidade relativa do ar. Nos primeiros 90 dias, a umidade relativa teve início com 54%, atingindo um máximo de 63% aos 60 dias, com posterior declínio, registrando níveis baixos (10%) aos 210 dias. Paralelamente, a temperatura máxima aumentou progressivamente de cerca de  $31\text{ }^{\circ}\text{C}$  no início do armazenamento para  $39\text{ }^{\circ}\text{C}$  ao final. A temperatura mínima registrou diminuição após os 150 dias ( $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), atingindo seu ponto mais baixo aos 180 e 210 dias (ambos com  $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (Figura 1).

A condição climática interna do silo-bolsa apresentou comportamento distinto

de temperatura e umidade entre 9h00 e 15h00 ao longo dos 240 dias, com a época chuvosa ocorrendo dos 30 aos 120 dias de armazenamento, após esse período até o final do armazenamento (240 dias), ocorreu a época seca. A temperatura média foi mais elevada às 15h00 (variando entre 35 °C e 39 °C) do que às 9h00 (variando entre 26 °C e 31 °C), no período do armazenamento. A umidade relativa do ar medida às 9h, teve início com 62% e permaneceu relativamente estável, com 58%, aos 150 dias, com declínio mais acentuado ao final do período (atingindo 31% aos 240 dias). Por outro lado, a umidade medida às 15 h mostrou declínio mais rápido e drástico, (de 69% aos 60 dias para 17%) a partir dos 210 dias, coincidindo com o período da seca (Figura 2).

Na germinação, os resultados mostraram que os grãos de milho tiveram um decréscimo à medida que aumentava o período de armazenamento. A germinação inicial, que foi de 79,6%, diminuiu ao longo do período avaliado, com redução mais acentuada observada a partir dos 120 dias, que foi de 53,2%, atingindo 23% aos 150 dias, registrando 14% aos 240 dias de armazenamento (Figura 3A). Essa diminuição na viabilidade foi acompanhada por um aumento linear da Condutividade Elétrica dos grãos. Os grãos apresentaram condutividade elétrica inicial de  $73.150,56 \mu S cm^{-1} g^{-1}$  de grãos que quase dobrou ao longo dos 240 dias, com resultados próximos a  $127.000 \mu S cm^{-1} g^{-1}$  de sementes no último período de avaliação (Figura 3B).

A umidade inicial dos grãos foi de 4,5% e se manteve relativamente estável, apresentando pequenas oscilações, variando entre 4,02% (com 60 dias) e 5,21% (com 210 dias), sendo este o máximo do resultado obtido, com posterior declínio aos 240 dias (4,74%) (Figura 3C). Já para o PMG, não houve diferença entre o período de armazenamento, com resultados entre 227,02g (240 dias) e 237,19g (30 dias) (Tabela 2).

Na tipificação dos grãos de milho, observa-se que, até os 150 dias, o cereal foi classificado predominantemente como do Tipo I, com posterior mudança de categoria a partir de 180 dias. A partir desse período de armazenamento, houve predomínio do Tipo II, com aumento de grãos ardidos e avariados, indicando diminuição da qualidade após 180 dias até o fim do armazenamento (Tabela 2).

O conteúdo de cálcio (Ca) nos grãos foi superior nos meses iniciais de armazenamento, variando de 0,34% a 0,36%, entre 0 e 90 dias. A partir dos três meses, houve diminuição acentuada no conteúdo de Ca nos grãos, registrando 0,04%, com posterior aumento até os 240 dias (0,15%) (Figura 4A). Já para o fósforo, houve aumento desde o período inicial de armazenamento, com resultados entre 0,16% (0 dia) até 0,26 (240 dias) (Figura 4B).

A análise bromatológica mostrou padrões distintos de variação dos componentes nutricionais dos grãos ao longo dos 240 dias de armazenamento, com a Proteína Bruta e o Extrato Etéreo apresentando aumento, com posterior diminuição. Os grãos de milho apresentaram 8,8% de proteína bruta inicialmente, com diminuição de até, 8,0% aos 90 dias, e aumento no último mês de armazenamento (9,4%) (Figura 4D). O Extrato Etéreo também apresentou ligeira diminuição do período inicial (2,8%) até os 120 dias (2,14%), com aumento a partir dos 150 dias (2,84%), atingindo o máximo aos 180 dias (3,48%) (Figura 4F).

Na Matéria Mineral, os maiores resultados foram observados aos 90 dias (1,52%) e 120 dias (1,5%) (Figura 4G). É possível observar que não houve grandes variações na matéria seca dos grãos de milho, com médias entre 89,24% e 90% em todo o período de armazenamento (Figura 4I).

A Fibra Bruta dos grãos apresentou maiores resultados até os 60 dias de

armazenamento (2,48%), com diminuição a partir dos 90 dias (1,28%), mantendo menores médias nos dias subsequentes de armazenamento em relação aos dias iniciais (Figura 4E). Os componentes da fibra, como a Fibra em Detergente Neutro (FDN) e a Fibra em Detergente Ácido (FDA), apresentaram oscilação no período do armazenamento. Foi observado alto percentual de FDN e FDA até os 60 dias (10,96% e 3,58%, respectivamente), com diminuição no período de 90 a 180 dias e posterior aumento até os 240 dias (Figuras 4J e 4K). Os Nutrientes Digestíveis Totais (NDT) seguiram o inverso das fibras, com menores resultados até os 60 dias (80%, 78%) e aumento aos 90 (86%, 42%), 120 (85%, 86%) e 240 dias (86%, 58%) (Figura 4H).

Aos 30 e 60 dias, houve maior incidência de *Fusarium* spp. nos grãos, com 47% e 45,5%, respectivamente. Nos dias posteriores, houve incidência menor do fungo aos 90 dias (10,5%), chegando a 2,7% aos 240 dias de armazenamento (Figura 5A). Por outro lado, o *Aspergillus flavus* apresentou incidência somente a partir dos 90 dias (40,6%) até os 210 dias (31%) (Figura 5B), e o *Aspergillus* spp. aparece apenas no dia zero (30%) e aos 240 dias (28,5%) (Figura 5C).

O fungo do gênero *Rhizopus* spp. mostrou incidência inicial, atingindo maior resultado aos 60 dias (51%) e 210 dias (46,5%) (Figura 5E). Para o *Penicillium* spp., não houve incidência até os 120 dias, entretanto esse grupo surge após 150 dias (13,9%) com um aumento aos 210 dias (23,9%) e posterior redução (3%) (Figura 5H). Os fungos do gênero *Trichoderma* spp. e *Curvularia* spp. somente apresentaram incidência aos 30 dias de armazenamento (33,5% e 24%, respectivamente) (Figura 5D e 5F), enquanto o *Cladosporium* spp., aos 60 dias (32%) (Figura 5G).

## 5.4 Discussão

As condições ambientais observadas no armazenamento indicam a importância do silo-bolsa na diminuição da temperatura e umidade em relação ao ambiente externo. Temperatura elevada às 15h00 mostra que a radiação solar incidente exerce forte influência sobre a temperatura interna do sistema, sobretudo após 120 dias, quando os resultados se aproximaram daqueles registrados no ambiente externo na época seca, sendo prejudicial para a qualidade dos grãos. O filme plástico do silo-bolsa pode ter sofrido influência das condições climáticas tropicais, diminuindo a camada de proteção contra a incidência da radiação solar e do ar (Bernardes *et al.*, 2018; Paillat e Gaillard, 2001).

A umidade relativa interna também apresentou diminuição mais pronunciada no período vespertino, o que é relacionado ao comportamento higroscópico dos grãos, que tendem a perder água para o ar quando expostos a altas temperaturas e a baixa umidade relativa (Angelović *et al.*, 2018; Ziegler *et al.*, 2021). A combinação de temperaturas elevadas e baixa umidade relativa, ao longo do tempo, pode acelerar processos fisiológicos e bioquímicos associados à deterioração, mesmo em ambientes herméticos (Coradi *et al.*, 2020).

Ainda que o ambiente hermético reduza a respiração e o metabolismo dos grãos (Taher *et al.*, 2019), os resultados indicam que, após 120 dias, as temperaturas e a baixa umidade relativa se intensificaram, obtendo níveis capazes de afetar a qualidade fisiológica dos grãos, possivelmente em razão da época seca que predominava no período. Estudos demonstram que a elevação da temperatura, mesmo em sistemas herméticos, reduz a longevidade de grãos, devido ao aumento da respiração basal e ao estresse por temperatura (Odjo *et al.*, 2022; Sharma *et al.*, 2022; Valle *et al.*, 2021b).

Assim, a evolução do microclima interno do silo-bolsa ao longo do período analisado evidencia que o armazenamento prolongado aumenta a exposição dos grãos a condições potencialmente danosas, principalmente pela maior amplitude térmica e pelo declínio da umidade relativa no período vespertino. Resultado semelhante foi observado por Seifu *et al.* (2023), que mostraram que as sementes de fava podem ser armazenadas em sacos herméticos principalmente até os seis primeiros meses.

A germinação dos grãos de milho apresentou diminuição acentuada ao longo dos 240 dias de armazenamento, especialmente após 120 dias, o que pode interferir negativamente na emergência e estabelecimento da cultura, no caso, quando for utilizado como semente. Temperaturas superiores a 30 °C e a época seca aceleram a deterioração fisiológica, comprometendo processos metabólicos essenciais, reduzindo a viabilidade dos grãos (Gu *et al.*, 2024; Kibar e Yücesan, 2021). Esse comportamento foi observado neste estudo, em que o aumento das temperaturas internas às 15h00 coincidiu com o período de maior diminuição da germinação. Além disso, a baixa germinação pode ter tido influência da baixa umidade relativa do ambiente. Capilheira *et al.* (2024), em trabalho conduzido com grãos de milho, observaram menos de 80% de germinação após 90 dias de armazenamento em umidade relativa do ar de 40%

O aumento da condutividade elétrica dos grãos de milho (CE) reforça a perda da integridade das membranas celulares. A CE é reconhecida como um indicativo fisiológico de deterioração, pois grãos danificados apresentam maior extravasamento de solutos (Matthews e Powell, 2006), podendo, neste caso, diminuir a qualidade de grãos ou de sementes. O aumento da CE mostra que, mesmo com umidade relativamente baixa e estável, a integridade das membranas foi afetada pelo estresse térmico acumulado, diminuindo a germinação (D. Souza *et al.*, 2024).

Alguns trabalhos relatam comportamento semelhante associando temperaturas elevadas à perda de viabilidade e ao incremento dos resultados de CE (Costa *et al.*, 2010; Haeberlin *et al.*, 2020; Vieira *et al.*, 2008). Temperaturas elevadas diminuem a atividade de água nos grãos, resultando na aceleração das oxidações químicas (Ranganathan e Groot, 2023). A baixa umidade relativa no armazenamento de grãos também contribui para danos celulares por provocar desidratação excessiva, resultando em alterações estruturais irreversíveis na membrana plasmática (D. Souza *et al.*, 2024).

Embora a umidade dos grãos de milho não tenha variado de maneira significativa, em ambientes de baixa umidade relativa, os grãos tendem a perder água rapidamente no início do armazenamento, o que pode desnaturar proteínas e favorecer a peroxidação lipídica, além de produzir espécies reativas de oxigênio, comprometendo a reativação metabólica durante a germinação (Corbineau, 2024; Ranganathan e Groot, 2023).

O silo-bolsa foi fundamental para manter a estabilidade do peso de mil grãos ao longo dos 240 dias. Esse resultado indica que a massa dos grãos não foi comprometida, o que é esperado em ambientes com baixa umidade do grão, nos quais a perda de água não ocorre de forma acentuada por atingir rapidamente o equilíbrio higroscópico (Capilheira *et al.*, 2024). O silo-bolsa tem efeito de vedação do filme plástico, o que impede a condensação de umidade na superfície do silo, mantendo o teor de umidade dos grãos (El-Kholy e Kamel, 2021).

A tipificação dos grãos de milho é importante no padrão de qualidade e infere no menor percentual de injúria. A alteração na classificação dos grãos observada no presente estudo indica uma deterioração qualitativa acumulada, resultante mais dos danos fisiológicos e microbiológicos do que da perda de água ou massa. A mudança do Tipo I

para o Tipo II ocorreu a partir dos 180 dias de armazenamento, coincidindo com o período de maior seca, como também observado por Paraginski *et al.* (2015). Essa mudança está diretamente associada ao aumento de defeitos, como ardidos e avariados, os quais são classicamente relacionados ao estresse térmico e à deterioração oxidativa durante o armazenamento (Costa *et al.*, 2010). De acordo com Pinto *et al.* (2021), grãos classificados em Tipo I podem ser consumidos frescos.

A análise bromatológica dos grãos é importante para avaliar sua qualidade nutricional, além de relacionar possíveis ataques por microrganismos. Os resultados deste estudo mostram variações ao longo do armazenamento, especialmente em componentes susceptíveis à oxidação e à degradação metabólica, como proteína bruta e extrato etéreo. As flutuações nesses constituintes podem se refletir tanto nos processos metabólicos dos grãos quanto na atividade microbiana, já que os fungos consomem parte dos carboidratos e dos lipídios disponíveis, alterando o perfil nutricional (Reed *et al.*, 2007; Rupollo *et al.*, 2004; Ziegler *et al.*, 2021).

Estudos conduzidos por Ngwenyama *et al.* (2023) com grãos de milho demonstraram que, em armazenamento inadequado, os fungos podem consumir carboidratos e gordura dos grãos para obter energia, diminuindo a qualidade nutricional do cereal, aumentando a produção de micotoxinas e metabólitos secundários.

No presente trabalho houve menor teor de proteína bruta no início do armazenamento, seguida pelo aumento até os 240 dias, ressaltando a influência dos microrganismos. Inicialmente, pode ter havido consumo de proteína dos grãos pelos fungos de armazenamento e o posterior aumento pode ser justificado pela fração de proteína fúngica aderida aos grãos (Tiecker Jr. *et al.*, 2014). Esse comportamento também pode estar associado ao estresse metabólico devido à temperatura, que favorece a

atividade microbiana (Xin *et al.*, 2023; Ziegler *et al.*, 2021). Altas temperaturas degradam as proteínas em pequenos peptídeos e aminoácidos (Lee e Cho, 2012), além de causar redução no teor de água do grão, afetando os teores de proteínas, lipídios e cinzas (Muller *et al.*, 2022).

Houve variações nos conteúdos de FDN, FDA e NDT nos grãos de milho ao longo do armazenamento, com diminuição seguida de aumento. Essas variações refletem mudanças estruturais dos grãos e o possível consumo de reservas energéticas por microrganismos (Huo *et al.*, 2024), o que é consistente com o aumento de *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp. na fase final do presente estudo.

O microclima registrado às 15h00 com temperaturas próximas de 39 °C e umidade relativa em torno de 17% nos últimos meses constitui ambiente ideal para o estabelecimento dessas espécies. No armazenamento dos grãos de milho houve maior incidência de *Fusarium* spp. nos períodos iniciais, além do aumento expressivo de *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. nos períodos finais de armazenamento. Fungos do gênero *Fusarium* são considerados “fungos de campo”, predominando em grãos recém-colhidos e diminuindo no armazenamento, reflexo da baixa umidade relativa do ambiente ou da competição com outros fungos, como *Aspergillus* spp. (Di Domenico *et al.*, 2016). Já o *Aspergillus* spp. e o *Penicillium* spp. são “fungos de armazenamento”, favorecidos por ambientes quentes e de baixa a alta umidade relativa (Liu *et al.*, 2017; Mannaa e Kim, 2018; Somda *et al.*, 2023).

Além disso, a redução da integridade celular, evidenciada pelo aumento da CE, facilita a colonização fúngica, pois disponibiliza nutrientes na superfície dos grãos (Lins *et al.*, 2014). Fungos como *Trichoderma* sp., *Curvularia* sp. e *Cladosporium* sp. apresentaram menor incidência com o avanço do armazenamento, possivelmente pelo

esgotamento de O<sub>2</sub> (Valle *et al.*, 2021a). A redução do O<sub>2</sub> de 16,4% para 2% no milho e de 15,7% para 15,1% no trigo faz com que o conteúdo microbiano e de micotoxinas seja minimizado na utilização do silo-bolsa (Gregori *et al.*, 2013).

## 5.5 Conclusões

O armazenamento de grãos de milho em silo-bolsa foi eficaz na preservação da qualidade fisiológica, nutricional e sanitária até os 120 dias.

Após esse período, há aumento da temperatura interna e redução da umidade relativa, desencadeando deterioração progressiva, com diminuição da qualidade dos grãos.

## 5.6 Referências

Angelović M, Kristof K, Jobbágy J, Findura P, Krizan M. 2018. The effect of conditions and storage time on course of moisture and temperature of maize grains. BIO Web of Conferences 10:02001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20181002001>

Association of Official Seed Analysts [AOSA]. 2002. Seed Vigor Testing Handbook. AOSA. Lincoln NE, USA.

Bartosik R, Urcola H, Cardoso L, Maciel G, Busato P. 2023. Silo-bag system for storage of grains, seeds and by-products: a review and research agenda. Journal of Stored Products Research 100:e102061. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.102061>

Bernardes TF, Daniel JLP, Adesogan AT, McAllister TA, Drouin P, Nussio LG, *et al.* 2018. Silage review: unique challenges of silages made in hot and cold regions. Journal of Dairy Science 101:4001-4019. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13703>

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA]. 2011. Instrução Normativa nº 60, de 22 de dezembro de 2011. D.O.U., 23/12/2011 - Seção 1. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1739574738> [Acessado em 29 set. 2025].

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA]. 2023. Manual de métodos analíticos oficiais de fertilizantes, corretivos, substratos, condicionadores e remineralizadores de solo. MAPA, Brasília, BR. Disponível em:

[https://www.gov.br/agricultura/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/consultas-publicas/2023/arquivos-das-consultas-publicas/copy2\\_of MANUALDEMTODOS\\_minuta.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/consultas-publicas/2023/arquivos-das-consultas-publicas/copy2_of_MANUALDEMTODOS_minuta.pdf) [Acessado em 10 ago. 2025].

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA]. 2025. Regras para análise de sementes (RAS 2025). MAPA, Brasília, BR.

Brito VD, Achimón F, Zunino MP, Zygodlo JÁ, Pizzolitto RP. 2022. Fungal diversity and mycotoxins detected in maize stored in silo-bags: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 102: 2640-2650. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11756>

Capilheira AF, Silva JGda, Pinto KVA, Gadotti GI, Carvalho IRde. 2024. Corn seeds stored under varying storage conditions. *Engenharia Agrícola* 44:20220136. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v44e20220136/2024>

Cécel AT, Barbedo CJ. 2021. Taxas respiratórias de sementes de *Eugenia brasiliensis* Lam. (Myrtaceae) sob atmosferas modificadas. *Hoehnea* 48:e052020. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-05/2020>

Chelladurai V, Jian F, Jayas DS, White NDG, Field PG; Manickavasagan, A. 2016. Feasibility of storing canola at different moisture contents in silo bags under Canadian Prairie conditions. *Canadian Biosystems Engineering* 58:3.9-3.20.

Companhia Nacional de Abastecimento, Brasil [Conab]. 2025. Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2024/25. 12º levantamento. Conab, Brasília, BR.  
Corbineau, F. 2024. The effects of storage conditions on seed deterioration and ageing: how to improve seed longevity. *Seeds* 3:56-75. <https://doi.org/10.3390/seeds3010005>

Coradi PC, Maldaner V, Lutz É, Daí PVdaS; Teodoro PE. 2020. Influences of drying temperature and storage conditions for preserving the quality of maize postharvest on laboratory and field scales. *Scientific Reports* 10:22006. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78914-x>

Coradi PC, Nunes MT, Bellochio SDC, Camilo LJ, Teodoro PE. 2021. Effects of drying temperatures and storage conditions on the levels of lipids and starches in corn grains for yield ethanol industry. *Biofuels* 13:745-754. <https://doi.org/10.1080/17597269.2021.1904674>

Costa ARda, Faroni LRD'A, Alencar ERde, Carvalho MCS, Ferreira LG. 2010. Quality of corn grain stored in silo bags. *Revista Ciência Agronômica* 41:200-207. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000200005>

Di Domenico AS, Busso C, Hashimoto EH, Frata MT, Christ D, Coelho SRM. 2016. Occurrence of *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., and aflatoxins in corn hybrids with different systems of storage. *Acta Scientiarum. Agronomy* 38:111-121. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i1.25621>

Dijkink B, Broeze J, Vollebregt M. 2022. Hermetic bags for the storage of maize:

perspectives on economics, food security and greenhouse gas emissions in different Sub-Saharan African Countries. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.767089>

El-Kholy MM, Kamel RM. 2021. Performance analysis and quality evaluation of wheat storage in horizontal silo bags. *International Journal of Food Science* 2021: e1248391. <https://doi.org/10.1155/2021/1248391>

Gregori R, Meriggi P, Pietri A, Formenti, S, Baccarini, G, Battilani P. 2013. Dynamics of fungi and related mycotoxins during cereal storage in silo bags. *Food Control* 30(1):280-287. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.06.033>

Gu D-E, Han S-H, Kang K-S. 2024. Viability and integrity of *Pinus densiflora* seeds stored for 20 years at three different temperatures. *Conservation Physiology* 12(1):coaeo46. <https://doi.org/10.1093/conphys/coae046>

Haerberlin L, Nunes CF, Medeiros EP, Jaques LBA, Paraginski RT. 2020. Physiological behaviour of canola seeds stored under different conditions of water content and temperature. *Research, Society and Development* 9(7):e12973711. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3711>

Huo C, Guo Y, Zhao Y. 2024. Enhancing quality of ruminant feed through fungal treatment: usage of bamboo shoot residues. *Plos One* 19(5):e0302185. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302185>

Kibar H, Yücesan B. 2021. Effects of storage durations at different temperatures on various physiological parameters of einkorn seed (*Triticum monuocum* L.) germination. *Journal of Stored Products Research* 93:101851. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101851>

Lee JH, Cho KM. 2012. Changes occurring in compositional components of black soybeans maintained at room temperature for different storage periods. *Food Chemistry* 131(1):161-169. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.052>

Likhayo P, Bruce AY, Tefera T, Mueke J. 2018. Maize grain stored in hermetic bags: effect of moisture and pest infestation on grain quality. *Journal of Food Quality* 2018(1):2515698. <https://doi.org/10.1155/2018/2515698>

Lins SRdeO, Carvalho MLMde, Cardoso MDG, Miranda DH, Andrade Jde. 2014. Physiological, enzymatic, and microstructural analyses of sunflower seeds during storage. *Australian Journal of Crop Science* 8(7):1038-1048.

Liu X, Guan X, Xing F, Lv C, Dai, X, Liu Y. 2017. Effect of water activity and temperature on the growth of *Aspergillus flavus*, the expression of aflatoxin biosynthetic genes and aflatoxin production in shelled peanuts. *Food Control* 82:325-332. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.07.012>

Mannaa M, Kim KD. 2018. Effect of temperature and relative humidity on growth of

*Aspergillus* and *Penicillium* spp. and biocontrol activity of *Pseudomonas protegens* AS15 against aflatoxigenic *Aspergillus flavus* in stored rice grains. *Mycobiology* 46(3):287-295. <https://doi.org/10.1080/12298093.2018.1505247>

Matthews S, Powell AA. 2006. Electrical conductivity vigour test: physiological basis and use. *Seed Testing International*, 131:32-35.

Muller A, Nunes MT, Maldaner V, Coradi PC, Moraes RSde, Martens S, *et al.* 2022. Rice drying, storage and processing: effects of post-harvest operations on grain quality. *Rice Science* 29(1):16-30. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2021.12.002>

Ngwenyama P, Siziba S, Nyanga LK, Stathers TE, Mubayiwa McD, Mlambo S, *et al.* 2023. Determinants of smallholder farmers' maize grain storage protection practices and understanding of the nutritional aspects of grain postharvest losses. *Food Security* 15:937-951. <https://doi.org/10.1007/s12571-023-01349-5>

Odjo S, Palacios-Rojas N, Burgueño J, Corrado M, Ortner T, Verhulst N. 2022. Hermetic storage technologies preserve maize seed quality and minimize grain quality loss in smallholder farming systems in Mexico. *Journal of Stored Products Research* 96:e101954. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.101954>

Paillat J-M, Gaillard F. 2001. PA-Precision Agriculture: air-tightness of wrapped bales and resistance of polythene stretch film under tropical and temperate conditions. *Journal of Agricultural Engineering Research* 79(1):15-22. <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0666>

Paraginski RT, Rockenbach BA, Santos RFdos, Elias MC, Oliveira Mde. 2015. Quality of maize grains stored at different temperatures. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19(4):358-363. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p358-363>

Paraginski RT, Vanier NL, Berrios JdeJ, Oliveira Mde, Elias MC. 2014. Physicochemical and pasting properties of maize as affected by storage temperature. *Journal of Stored Products Research* 59:209-214. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.02.010>

Pinto VD, Dias LM, Hoscher RH, Gomes FR, Oliveira MAde, Schoeninger V. 2021. Quality of soy bean grain stored in bag silo. *Revista Engenharia na Agricultura* 29(Continua):1-10. <https://doi.org/10.13083/reveng.v29i1.9939>

Ranganathan U, Groot SPC. 2023. Seed Longevity and Deterioration. *In: Dadlani M, Yadava KY (eds.). Seed Science and Technology – Biology, Production, Quality.* Springer, Singapore. Online ISBN: 978-981-19-5888-5. 440p. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_5)

Raudienė E, Rušinskas D, Balčiūnas G, Juodeikienė G, Gailius D. 2017. Carbon dioxide respiration rates in wheat at various temperatures and moisture contents. *MAPAN* 32:51-58. <https://doi.org/10.1007/s12647-016-0202-4>

- Reed C, Doyungan S, Ioerger B, Getchell A. 2007. Response of storage molds to different initial moisture contents of maize (corn) stored at 25 °C, and effect on respiration rate and nutrient composition. *Journal of Stored Products Research* 43(4):443-458. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2006.12.006>
- Rupollo G, Gutkoski LC, Marini LJ, Elias MC. 2004. Hermetic and conventional storage systems in oat grains conservation. *Ciência Rural* 34(6):1715-1722. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000600008>
- Seifu AE, Kalsa KK, Aweke HS, Dibaba GD. 2023. Comparison of hermetic bags with polyethylene-lined polypropylene bags for prolonged storage of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds in Ethiopia. *Legume Science* 5(4):e190. <https://doi.org/10.1002/leg3.190>
- Sharma S, Singh V, Tanwar H, Mor VS, Kumar M, Punia RC, *et al.* 2022. Impact of high temperature on germination, seedling growth and enzymatic activity of wheat. *Agriculture* 12(9):1500. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091500>
- Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal (Brasil) (Sindirações). 2023. *Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal*. Sindirações, São Paulo, BR.
- Somda MK, Dabire Y, Mogmenga I, Ouattara A, Nikiema M, Mihin HB, *et al.* 2023. Assessment of maize contamination by aflatoxin in Burkina Faso: a review of methods of control. *Food and Nutrition Sciences* 14(2):135-147. <https://doi.org/10.4236/fns.2023.142010>
- Souza DG, Resende O, Zuchi J, Mabasso GA. 2024. CO<sub>2</sub> levels, technical breakage and quality of maize grains stored under different conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 28(8):e279894. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n8e279894>
- Souza IPde, Ruffato S, Prado PMC; Zandonadi RS. 2022. Qualidade de grãos de soja úmida armazenados temporariamente em silo bolsa. *Revista de Ciências Agroambientais* 20(1):35-43.
- Stathers TE, Arnold SEJ, Rumney CJ, Hopson C. 2020. Measuring the nutritional cost of insect infestation of stored maize and cowpea. *Food Security* 12:285-308. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00997-w>
- Taher HI, Urcola HÁ, Cendoya MG, Bartosik RE. 2019. Predicting soybean losses using carbon dioxide monitoring during storage in silo bags. *Journal of Stored Products Research* 82:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.03.002>
- Tiecker Jr. A, Antunes LEG, Ferrari Filho E, Castro Bde, Del Ponte EM, Dionello RG. 2014. Physicochemical quality of maize grain stored with different moisture contents in airtight and non-airtight environments. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo (Sete Lagoas)* 13(2):174-186
- Valle FJM, Castellari C, Yommi A, Pereyra MA, Bartosik R. 2021. (2021a). Evolution of grain microbiota during hermetic storage of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Stored*

Products Research 92:e101788. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101788>

Valle FJM, Gastón A, Abalone RM, Torre Dade, Castellari, CC, Bartosik, RE. 2021. (2021b). Study and modelling the respiration of corn seeds (*Zea mays* L.) during hermetic storage. *Biosystems Engineering* 208:45-57. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.05.009>

Vidigal DdeS, Lima JdaS, Bhering MC, Dias DCFS. 2008. Teste de condutividade elétrica para semente de pimenta. *Revista Brasileira de Sementes* 30(1):168-174. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222008000100021>

Vieira RD, TeKrony DM, Egli DB, Bruenning WP, Panobianco M. 2008. Temperature during soybean seed storage and the amount of electrolytes of soaked seeds solution. *Scientia Agricola (Piracicaba)* 65(5):496-501. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000500008>

Xin Y, Chen C, Zhong Y, Bu X, Huang S, Tahir M, *et al.* 2023. Effect of storage time on the silage quality and microbial community of mixed maize and faba bean in the Qinghai-Tibet Plateau. *Frontiers in Microbiology* 19:1090401. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1090401>

Ziegler V, Paraginski RT, Ferreira CD. 2021. Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality - a review. *Journal of Stored Products Research* 91:e101770. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101770>

## **6 CONCLUSÃO GERAL**

O armazenamento em silo-bolsa é uma alternativa viável, temporária e de custo reduzido para o armazenamento dos grãos de milho até 120 dias sem perder a qualidade física, fisiológica, nutricional e sanitária. Entretanto, maior atenção deve ser dada à temperatura e umidade externa do silo, pois altas temperaturas podem tornar inviável o armazenamento a longo prazo.

## ANEXO – ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 - Análise de variância das variáveis dos grãos de milho armazenados por 240 dias em silo-bolsa. Ceres, GO. 2025. FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação; Germ: germinação; CE: Condutividade elétrica; TU: teor de umidade; PMG: peso de mil grãos; Ca: cálcio; P: fósforo; Umid: umidade do grão; PB: proteína bruta; FB: fibra bruta; EE: extrato etéreo; MM: matéria mineral; NDT: nutrientes digestíveis totais; MS: massa seca; FDA: fibra em detergente ácido; FDN: fibra em detergente neutro. \*: significativo pelo teste F; NS: não significativo pelo teste F.

FV	GL	Análises físicas e fisiológicas										
		Germ	CE	TU	PMG	-	-	-	-	-	-	-
		QM										
Dias de armazen.	8	2805.07*	5.23E+17*	0.59*	43.93 <sup>NS</sup>	-	-	-	-	-	-	-
Bloco	4	197.19 <sup>NS</sup>	2.15E+17 <sup>NS</sup>	0.004 <sup>NS</sup>	42.52 <sup>NS</sup>	-	-	-	-	-	-	-
Erro	32	138.8	1.10E+17	0.191	37.3	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	23.76	4.10E+01	9.34	2.64	-	-	-	-	-	-	-
		Análise bromatológica										
		Ca	P	Umid	PB	FB	EE	MM	NDT	MS	FDA	FDN
		QM										
Dias de armazen.	8	0.1*	0.01*	0.34*	1.13*	1.62*	1.01*	0.14*	36.61*	0.34*	2.28*	14,26*
Bloco	4	0.001 <sup>NS</sup>	0 <sup>NS</sup>	0.02 <sup>NS</sup>	0.01 <sup>NS</sup>	0.01 <sup>NS</sup>	0.00 <sup>NS</sup>	0.0 <sup>NS</sup>	0.2 <sup>N</sup>	0.02 <sup>NS</sup>	0.04 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>N</sup> <sub>s</sub>
Erro	32	0.002	0	0.04	0.01	0.01	0.01	0.004	0.23	0.04	0.02	0,03
CV (%)	-	25.88	9.6	1.86	1.15	4.76	3,86	5.53	0.58	0.22	4.41	1,65
		Análise sanitária										
		<i>Fusarium</i> spp.	<i>Aspergillus</i> <i>flavus</i>	<i>Aspergillus</i> spp.	<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Rhizopus</i> spp.	<i>Curvularia</i> spp.	<i>Cladosporium</i> spp.	<i>Penicillium</i> spp.	-	-	-
Dias de armazen.	8	1454.33*	1914.99*	832.5*	623.47*	1442.9*	320.0*	568.89*	376.09*	-	-	-
Bloco	4	15.46 <sup>NS</sup>	47.11 <sup>NS</sup>	27.64 <sup>NS</sup>	38.75 <sup>NS</sup>	287.28 <sup>NS</sup>	26.94 <sup>NS</sup>	7.78 <sup>NS</sup>	37.09 <sup>NS</sup>	-	-	-
Erro	32	14.4	57.67	27.63	38.75	164.27	26.94	7.78	45.08	-	-	-
CV (%)	-	19.98	38.99	80.88	167.24	44.97	194.66	78.44	115.54	-	-	-

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

Tabela 2 - Peso de mil grãos (g) e tipificação dos milhos armazenados em silo-bolsa por 240 dias. Ceres, GO, 2025

Dias de armazenamento	PMG	Tipo
0	227.62 a	1
30	237.19 a	1
60	230.15 a	1
90	231.11 a	2
120	232.79 a	1
150	231.77 a	1
180	230.73 a	2
210	231.44 a	2
240	227.02 a	2
CV (%)	2.64	-

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

MÉDIAS SEGUIDAS PELA MESMA LETRA NÃO DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE DE TUKEY (P<0,05). CV=COEFICIENTE DE VARIAÇÃO.

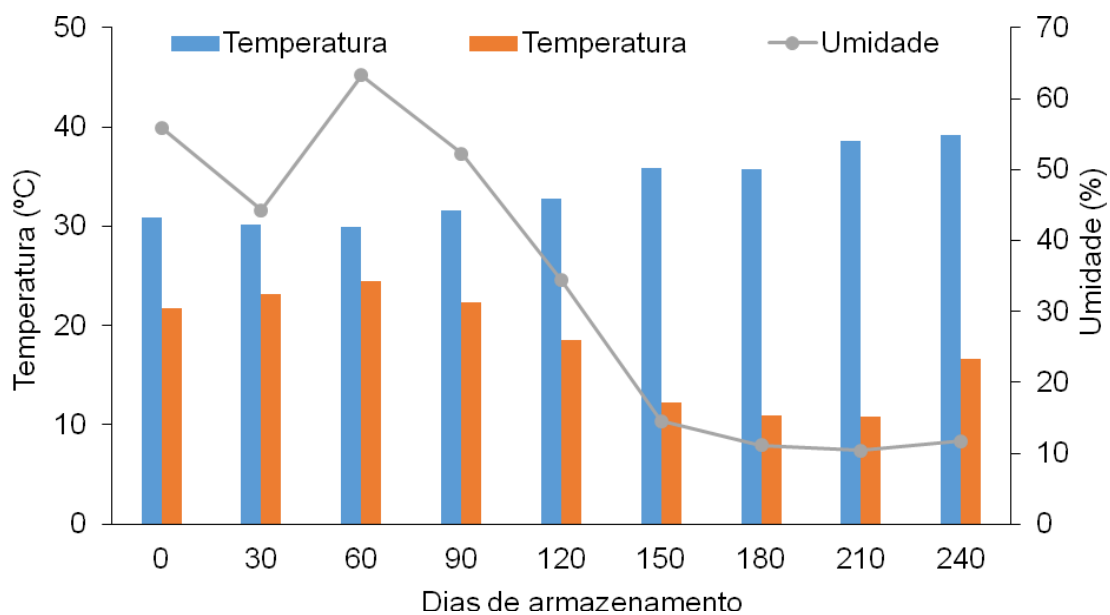


Figura 1 - Temperatura máxima e mínima (°C) e umidade relativa (%) do ambiente externo ao silo-bolsa com grãos de milho armazenados por 240 dias. Ceres, GO, 2025

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

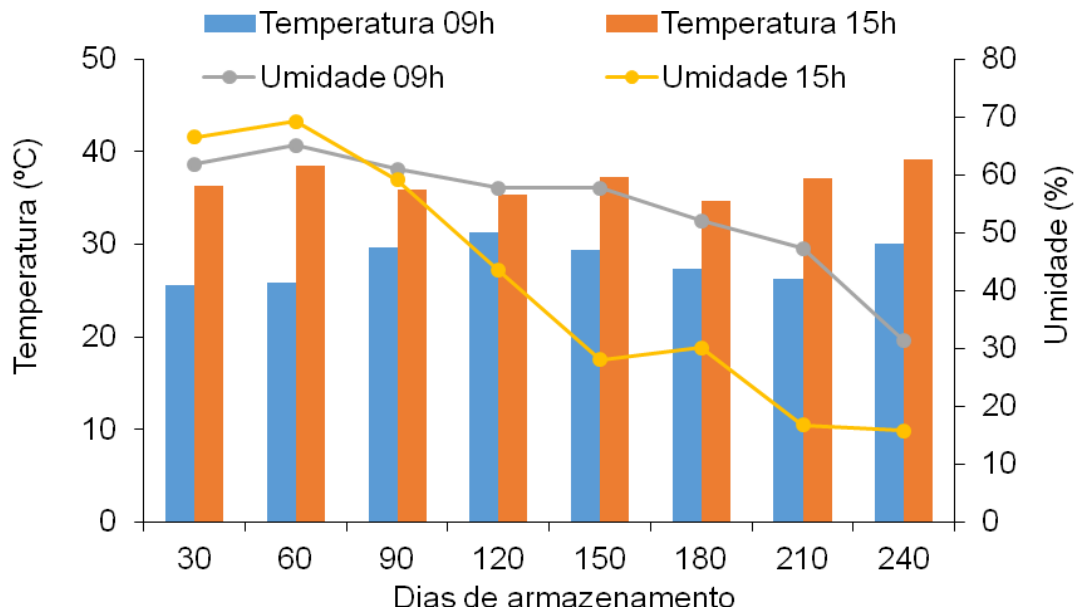


Figura 2 - Temperatura (°C) e umidade interna (%) em dois períodos do dia (9h00 e 15h00) do silo-bolsa com grãos de milho armazenados por 240 dias. Ceres, GO, 2025

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

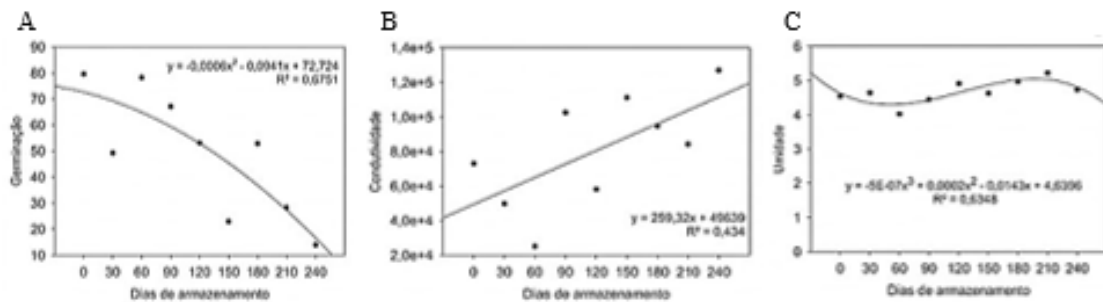


Figura 3 - Análises físicas e fisiológicas de grãos de milho armazenados em silo-bolsa por 240 dias. (A) Germinação (%), (B) Condutividade ( $\mu S cm^{-1} g^{-1}$  de sementes) e (C) Umidade (%)

Fonte: Software R 3.5.1 (2025).

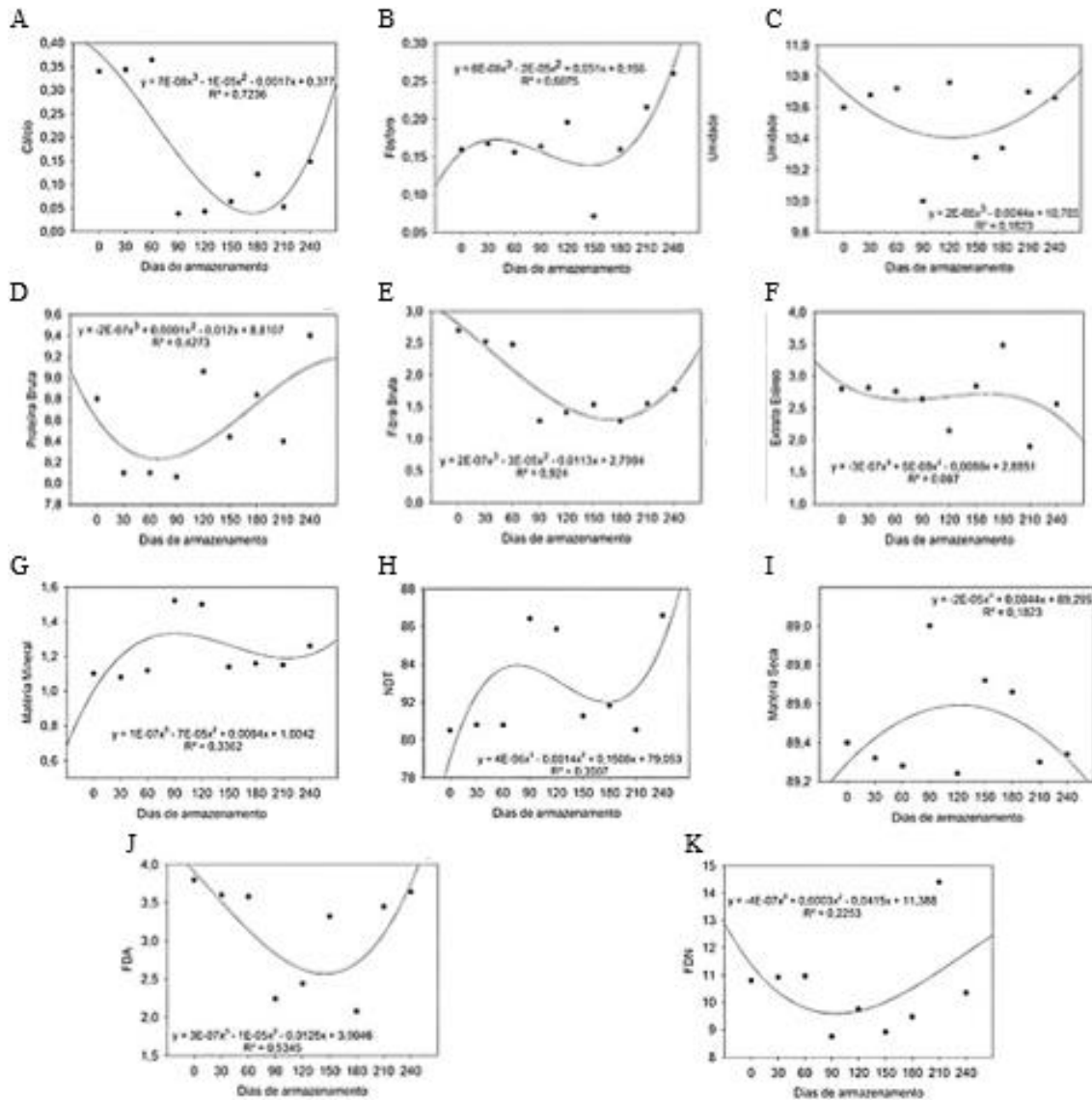


Figura 4 - Análise bromatológica dos grãos de milho armazenados em silo-bolsa por 240 dias. (A) Cálcio (%), (B) fósforo (%), (C) umidade (%), (D) proteína bruta (%), (E) fibra bruta (%), (F) extrato etéreo (%), (G) matéria mineral (%), (H) NDT (%), (I) matéria seca (%), (J) FDA (%) e (K) FDN (%). Ceres, GO, 2025

Fonte: Software R 3.5.1 (2025).

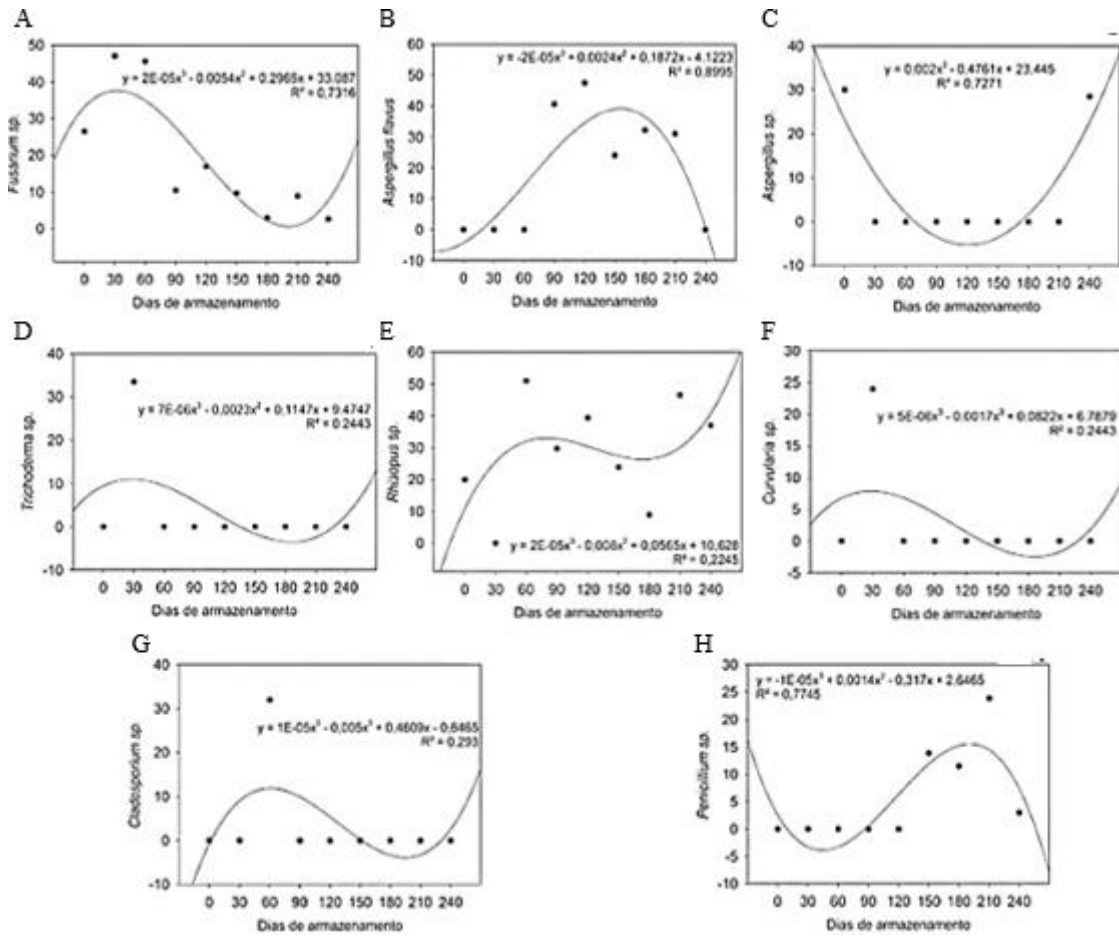


Figura 5 - Análise sanitária (%) dos grãos de milho armazenados em silo-bolsa por 240 dias. Ceres, GO, 2025

Fonte: Software R 3.5.1 (2025).