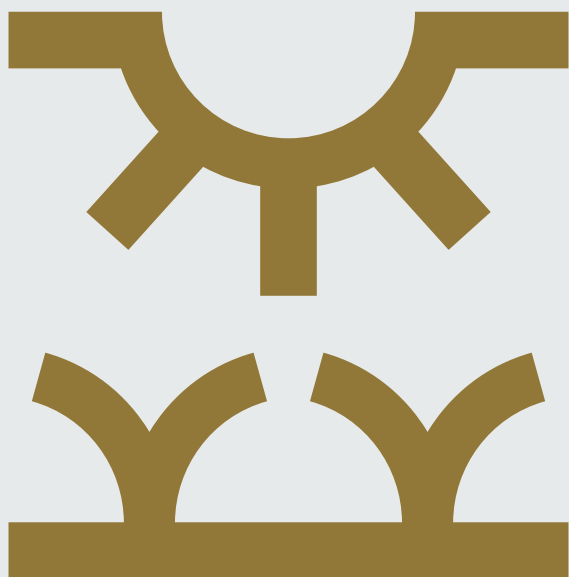


Manual de Boas Práticas Agrícolas

Controlo de Fungos e Micotoxinas em Cereais e Grãos



MYCOTOX-PALOP

Multi-actor partnership for the risk assessment of mycotoxins along the food chain in African Portuguese-speaking countries (PALOP)

Título

Manual de Boas Práticas Agrícolas

Controlo de Fungos e Micotoxinas em Cereais e Grãos.

Projecto

MYCOTOX-PALOP

Multi-actor partnership for the risk assessment of mycotoxins along the food chain in African Portuguese-speaking countries (PALOP)

Parceiros

IPB – Instituto Politécnico de Bragança

- **CIMO** – Centro de Investigação de Montanha

- **SusTEC** – Associate Laboratory for Sustainability and Technology in Mountains Regions

UM – Universidade do Minho

- **CEB** – Centro de Engenharia Biológica
- **LABELLS** – Laboratório Associado

UEM – Universidade Eduardo Mondlane

ISP-Cuanza Sul – Instituto Superior Politécnico do Kwanza Sul

—

Bragança

Outubro, 2025

Autores:

João Bila

Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal
Centro de Excelência em Sistemas Agro-Alimentares e Nutrição
Universidade Eduardo Mondlane
Maputo, 1102, Moçambique

Aguinaldo Manhiça

Faculdade de Veterinária
Universidade Eduardo Mondlane
Maputo, 1102, Moçambique

Cláudio Matusse

Escola Superior de Negócios e Empreendedorismo de Chibuto
Universidade Eduardo Mondlane
Gaza, 1200, Moçambique

Custódia Macuamule

Faculdade de Veterinária
Universidade Eduardo Mondlane
Maputo, 1102, Moçambique

Paula Rodrigues

CIMO / LA SusTEC
Instituto Politécnico de Bragança
Campus de Santa Apolónia
5300-253, Bragança, Portugal

Armando Venâncio

CEB – Centro de Engenharia Biológica
Universidade do Minho
4710-057, Braga, Portugal
LABELLS – Laboratório Associado
4800-058, Guimarães, Portugal



PARCEIROS

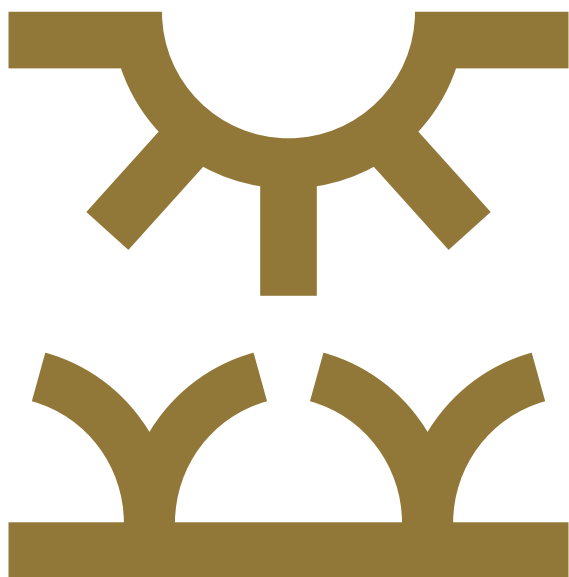


FINANCIAMENTO



Manual de Boas Práticas Agrícolas

Controlo de Fungos e Micotoxinas em Cereais e Grãos



Índice

P.

- 3 Glossário
- 4 Contextualização e objetivos do manual
- 5 Introdução

9 Boas práticas agrícolas para controlo de fungos e micotoxinas

10 1. Boas práticas de cultivo (aplicadas no campo)

- 11 1.1 Rotação de culturas
 - 13 1.2 Controlo Biológico
 - 16 1.3 Uso de Variedades Resistentes
-

18 2. Boas práticas de colheita

- 19 2.1 Colheita na fase de maturação fisiológica
 - 21 2.2 Monitorização do teor de humidade do grão
 - 22 2.3 Procedimentos corretos de colheita
-

23 3. Boas práticas de secagem

- 24 3.1 Secagem rápida e eficiente
 - 25 3.2 Tipos de secagem
-

27 4. Boas práticas de armazenamento

- 29 4.2 Controlo de humidade
 - 29 4.3 Controlo de temperatura
 - 30 4.4 Limpeza e inspeção regular dos locais e materiais de armazenamento
-

32 5. Transporte

33 6. Indústria

- 34 6.1 Controlo de qualidade da matéria-prima
- 34 6.2 Seleção de grãos pela cor
- 34 6.3 Processamentos adequados
- 35 6.4 Controlo de qualidade do produto final

36 Referências Bibliográficas

Glossário

TERMO	DESCRIÇÃO DO TERMO
FITOPATÓGENO	Microrganismo que causa doenças em plantas
HEPATOTOXICIDADE	Lesão no fígado causada por substâncias tóxicas
MICOTOXICOLOGIA	Ramo da micologia que estuda as toxinas produzidas por fungos
MICOTOXICOSES	Doenças causadas por intoxicação por micotoxinas
MICOTOXINAS	Toxinas produzidas por fungos filamentosos
NEFROTOXICIDADE	Lesão nos rins causada por substâncias tóxicas
NEUROTOXICIDADE	Lesão no cérebro causada por substâncias tóxicas
TOXIGÊNICO	Microrganismo que produz micotoxinas

Contextualização e objetivos do manual

Este manual destina-se aos técnicos para acompanhamento de produtores agrícolas, com a finalidade de ajudar no controlo da contaminação de alimentos por fungos e micotoxinas. Na agricultura, durante o processo produtivo, pode haver infeção com fungos filamentosos, que causam perdas significativas na produção. Contudo, mais preocupante, é a ocorrência de fungos filamentosos com capacidade de produzir micotoxinas. Geralmente, a proliferação destes fungos e a contaminação com micotoxinas ocorre tanto na pré-colheita como na pós-colheita. Quando contaminados por micotoxinas, os alimentos constituem um risco para a saúde pública, pois podem resultar em toxicidade aguda ou crónica de vários órgãos e tecidos do consumidor, como gastroenterite, imunossupressão, hepatotoxicidade, nefrotoxicidade ou neurotoxicidade. De forma a evitar estes efeitos nefastos resultantes do consumo de alimentos, os produtores das culturas alimentares precisam ter informação sobre a ocorrência de fungos e micotoxinas, assim como sobre medidas necessárias para a sua mitigação.

Introdução

Micotoxinas são metabolitos tóxicos secundários produzidos por fungos filamentosos (Chiotta et al., 2020). A proliferação de fungos toxigênicos (os que têm a capacidade de produzir micotoxinas) é assunto preocupante, especialmente nos países tropicais e sub-desenvolvidos, porque nesses países ainda não são muito conhecidos os seus efeitos e tampouco estão disseminados métodos eficientes de controlo (Dos Santos et al., 2014). Alguns produtos alimentares são suscetíveis à infeção por fungos toxigênicos na pré-colheita, e os níveis de micotoxinas podem aumentar na pós-colheita, durante o manuseamento e armazenamento (Zanon et al., 2023). As espécies mais abundantes de fungos que contaminam os alimentos e produzem micotoxinas são: *Aspergillus*, *Fusarium*, e *Penicillium* (Vedovatto et al., 2020) (Tabelas 1 e 2).

Existem diversas micotoxinas mas as mais comuns são: aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxina A, zearalenona, patulina e tricotecenos (T2, DON, DAS, HT2) (Dos Santos et al., 2014).

As aflatoxinas são metabolitos secundários produzidos pelas espécies *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* e outras do mesmo grupo, que ao longo de toda a cadeia de produção podem contaminar os grãos (Gomes et al., 2024). Dentre todas as micotoxinas, as aflatoxinas são responsáveis pelos maiores índices de contaminação de grãos e afetam a indústria alimentar e a saúde pública, tornando-se as de maior importância micotoxicológica. Existem várias aflatoxinas, mas as AFB1, AFB2, AFG1 e AFG2 são as que se apresentam como mais problemáticas, em especial a AFB1, que é considerada a mais tóxica e com maior poder carcinogénico (Ali, 2019). Em produtos lácteos pode ainda surgir a AFM1.

As fumonisinas são micotoxinas que ocorrem frequentemente como contaminantes de produtos agrícolas, que podem causar micotoxicoses em animais e são produzidos principalmente por *Fusarium verticillioides* e *Fusarium proliferatum* (Janse van Rensburg et al., 2015).

A ocratoxina A é um metabolito secundário tóxico produzido por várias espécies de *Aspergillus* e *Penicillium* e é contaminante comum de alimentos; tem causado uma série de efeitos tóxicos em espécies animais e no homem (Juan et al., 2007).

Zearalenona é uma micotoxina produzida, principalmente por *Fusarium graminearum* (Freire et al., 2007).

A patulina é um metabolito secundário tóxico produzido por vários géneros de fungos, como *Aspergillus* e *Penicillium* (Dos Santos et al., 2014).

Os tricotecenos são micotoxinas produzidos pelos fungos do género *Fusarium*, e os principais compostos produzidos são: Toxina T-2 (T2) e Desoxinivalenol (DON) (Pereira e Fernando, 2011).

Tabela 1. Principais alimentos suscetíveis a fungos e micotoxinas (El-Sayed et al., 2022)

Alimentos	Fungos	Micotoxinas
Cereais (milho, arroz, trigo, aveia, cevada, sorgo)	<i>Aspergillus flavus</i> ; <i>A. parasiticus</i> <i>F. verticillioides</i> ; <i>F. proliferatum</i> <i>F. graminearum</i> ; <i>Fusarium</i> spp. <i>Aspergillus ochraceus</i> ; <i>A. alliaceus</i> ; <i>A. niger</i> ; <i>A. carbonarius</i> , <i>Penicillium verrucosum</i> ; <i>P. nordicum</i> <i>Fusarium</i> spp.	Aflatoxinas Fumonisin Zearalenona Ocratoxina A Tricotecenos (T2, DON, HT2)
Oleaginosas (amendoim, castanhas e nozes)	<i>A. flavus</i> ; <i>A. parasiticus</i>	Aflatoxinas
Frutas frescas (maçãs, peras, pêssegos, uvas)	<i>P. expansum</i> ; <i>P. griseofulvum</i> ; <i>A. clavatus</i>	Patulina

Tabela 2. Fatores determinantes para a ocorrência de fungos e micotoxinas (Baptista et al., 2004; Prestes et al., 2019; Tibola e Fernandes, 2020)

<p>a.</p>	<p>Fatores determinantes para a ocorrência de fungos produtores de micotoxinas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Humidade elevada; • Temperatura elevada; • Secagem inadequada; • Armazenamento inadequado; • Danos causados por insetos; • Má qualidade dos grãos antes do armazenamento.
<p>b.</p>	<p>Fatores determinantes para a produção de micotoxinas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presença de fungos toxigénicos no produto/grão; • Quantidade de inóculo presente nos grãos antes do armazenamento; • Elevado teor em água dos grãos; • Calor; • Oxigenação.





DON
PATO

65

25

70

100
ARR

110



Boas práticas agrícolas para controlo de fungos e micotoxinas

1. Boas práticas de cultivo (aplicadas no campo)

Boas Práticas Agrícolas (BPA) constituem a primeira linha de defesa contra a contaminação dos alimentos por fungos e micotoxinas. Elas compreendem as estratégias ou medidas preventivas, aplicadas no campo, para reduzir o risco de contaminação por fungos produtores de micotoxinas antes da colheita. Incluem práticas agronômicas ou de cultivo, como rotação de culturas, controle biológico, eliminação de pragas e uso de variedades resistentes (Mielniczuk e Skwaryło-Bednarz, 2020).



1.1 Rotação de culturas

Fazer rotação de culturas significa intercalar culturas diferentes, no mesmo campo, entre ciclos de produção. A rotação de culturas é uma prática agrícola tradicional, mas extremamente eficaz no manejo de doenças fúngicas e na redução da contaminação dos produtos por micotoxinas no campo (Dong et al., 2023; Islam et al., 2022).

Como isso acontece?

A rotação de culturas reduz o risco de contaminação dos produtos por fungos e micotoxinas, pelas seguintes razões (Figura 1):

- Certos fungos produtores de micotoxinas, como *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp., sobrevivem nos restos das culturas hospedeiras específicas (ex: milho, amendoim, trigo);
- Quando se faz monocultura (cultivo da mesma cultura suscetível em ciclos sucessivos no mesmo campo), cria-se um ambiente ideal para a acumulação de esporos de fungos produtores de micotoxinas.
- A rotação de culturas quebra o ciclo de vida desses fungos, uma vez que culturas não hospedeiras reduzem a disponibilidade do substrato ideal para o seu crescimento.

Resumo esquemático:

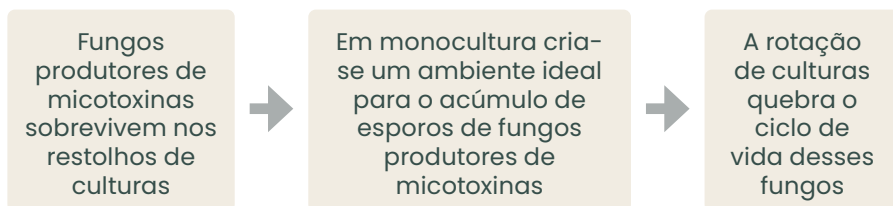


Figura 1: Resumo esquemático de como a rotação de culturas reduz o risco de contaminação dos produtos por fungos e micotoxinas.

Recomendações práticas

- Sensibilizar os produtores que assiste para que não façam sucessão entre culturas igualmente suscetíveis (ex: milho » mapira, amendoim » feijão);
- Incentive e demonstre a remoção ou incorporação adequada dos restos culturais após a colheita;
- Planifique junto dos produtores, um esquema de rotação de culturas de acordo com o histórico de ocorrência de fungos na sua área e as condições climáticas locais (ex: Tabela 3 e Figura 2).

Tabela 3: Exemplo de esquema de rotação de culturas, ideal para certas culturas praticadas por agricultores do sector familiar em Moçambique (pensando na gestão de fungos / micotoxinas e manutenção da fertilidade do solo)

Ano	Cultura atual	Cultura seguinte (rotação)	Observações
1	Milho	Feijão	Feijão ajuda a fixar o nitrogénio atmosférico e reduz pressão de <i>Fusarium</i>
2	Feijão	Batata-doce	Batata-doce é pouco suscetível a fungos de grãos e ajuda a quebrar o ciclo
3	Batata-doce	Gergelim	Gergelim é uma cultura resistente e pouco hospedeira de fungos de solo

Esquema simplificado de rotação ideal:

Milho » Feijão » Batata-doce » Gergelim » Mandioca » Amendoim »
(voltar para) Milho



Figura 2: Plano de rotação de culturas.

1.2 Controlo Biológico

Consiste na proteção das plantas durante a fase vegetativa, usando agentes biológicos (bactérias ou fungos não nocivos), que são inoculados ou introduzidos intencionalmente em culturas de interesse, como defesas naturais contra o ataque por fitopatógenos, incluindo fungos produtores micotoxinas (Mielniczuk e Skwaryło-Bednarz, 2020).

O Instituto Internacional de Agricultura Tropical (*International Institute of Tropical Agriculture*, IITA), junto do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (*United States Department of Agriculture*, USDA) e outros parceiros, desenvolveram produtos para o bioccontrolo de AFs, que utilizam estirpes nativas de *A. flavus* não produtoras de aflatoxinas, para a exclusão competitiva das estirpes produtoras de aflatoxinas. Esses produtos de biocontrolo, registados como marca “Aflasafe” (www.aflasafe.com), permitem reduzir 80 a 90% da probabilidade de contaminação por aflatoxinas na cadeia de produção de milho e amendoim (Udomkun et al., 2017) e já se encontram comercialmente disponíveis em muitos países africanos, incluindo Moçambique.

Como isso acontece?

Os produtos usados no bioncontrolo reduzem o risco de contaminação dos produtos por micotoxinas, dadas as seguintes capacidades ou propriedades:

- 1) Exclusão competitiva: bactérias ou fungos endófitos penetram nos tecidos vegetais e desenvolvem-se neles, competindo por espaço e nutrientes com os fitopatógenos (incluindo fungos produtores de micotoxinas) e/ou induzindo mecanismos de auto-defesa das plantas.
- 2) Ação antifúngica (antagonismo direto): algumas bactérias e fungos endófitos (não nocivos) produzem compostos com propriedades antibacteriana, inseticida ou antifúngica, que inibem o crescimento de outros organismos, incluindo fungos produtores de micotoxinas;
- 3) Bloqueio de vias metabólicas: certas bactérias e fungos endófitos são capazes de interferir nas vias metabólicas de fungos toxigénicos, limitando a síntese e/ou a acumulação de micotoxinas no alimento.

Recomendações práticas

- Procure identificar juntos dos distribuidores de insumos agrícolas (*agrodealers*) locais, a existência de produtos comerciais para controlo biológico (ex: veja a Tabela 4);
- Recomende o uso dos produtos identificados, aos produtores que assiste, seguindo as instruções indicadas pelo distribuidor (*agrodealer*);
- Ao recomendar o biocontrolo, tome em consideração que (1) esta estratégia produz melhores resultados quando aplicada de forma preventiva (antes da instalação dos fitopatógenos), combinada com outras boas práticas agrícolas como a rotação de culturas, destruição de restolhos e controlo de pragas, e (2) a eficácia da intervenção dependerá das condições ambientais como temperatura, humidade e do tipo de solo.

Tabela 4: Exemplo de agentes e produtos para biocontrolo de fungos e micotoxinas

Agente biológico	Alvo	Mecanismo	Exemplo de aplicação
<i>Aspergillus flavus</i> (não toxigénico)	<i>Aspergillus flavus</i> toxigénico (Aflatoxinas)	Exclusão competitiva	Aflasafe / Afla-guard, usados no milho e amendoim
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Fusarium</i> spp., <i>Aspergillus</i> spp., <i>Penicillium</i> spp.	Antagonismo e micoparasitismo	Usado em sementes e no solo
<i>Bacillus subtilis</i>	Diversos fungos fitopatogénicos	Produção de fatores antifúngicos	Tratamento de sementes e pulverizações foliares
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Fusarium</i> spp. e outros	Produção de fatores antifúngicos	Tratamento de solo

1.3 Uso de Variedades Resistentes

O uso de variedades resistentes (naturais ou biotecnologicamente desenvolvidas) é uma das estratégias altamente eficientes e sustentáveis para o manejo de fungos micotoxigênicos e redução da contaminação por micotoxinas no campo (Mielniczuk e Skwaryło-Bednarz, 2020). Para a maioria das culturas suscetíveis (ex: milho, amendoim, trigo), já foi comprovada a existência de certas variedades com determinadas características, que as tornam menos propensas à infecção por fungos patogênicos – incluindo os produtores de micotoxinas – ou que limitam a síntese de micotoxinas, nos casos em que infecção já tenha ocorrido (Nigam et al., 2009; Rose et al., 2017).

Como isso acontece?

As variedades resistentes podem apresentar pelo menos uma das seguintes características que reduzem o risco de infecção fúngica e/ou contaminação por micotoxinas (Figura 3):

- Barreiras físicas: certas variedades com estruturas anatômicas que dificultam a penetração de fungos (ex: grãos com casca mais espessa ou dura)
- Barreiras fisiológicas: variedades com mecanismos bioquímicos capazes de sintetizar certos compostos com propriedades antifúngicas (ex: alexinas)
- Ciclo de produção diferenciado (escape fenológico): variedades que florescem ou amadurecem fora da época tipicamente de maior infecção.
- Menor bioacumulação de micotoxinas: variedades que, mesmo quando infetadas, limitam a capacidade dos fungos de sintetizar micotoxinas (Korani et al., 2017).

Resumindo:



Figura 3: Resumo da vantagem na utilização de culturas resistentes.

Recomendações práticas

- Pesquise juntos dos *agrodealers* locais e junto da Estação Agrária do Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM) mais próxima, a disponibilidade de variedades melhoradas das culturas mais praticadas na sua área de atuação, resistentes a contaminação fúngica e/ou síntese de micotoxinas
- Recomende o uso das variedades identificadas aos produtores que assiste, garantido que sejam as variedades mais atualizadas, pois o conhecimento científico evolui constantemente (ex: Veja a Tabela 5);
- Tome em consideração que, para melhores resultados, o uso de variedades resistentes deve ser combinado com outras práticas agronómicas (ex: controlo biológico, rotação de culturas) e as variedades devem ser selecionadas considerando o clima, solo e histórico de doenças na área.

2. Boas práticas de colheita

Além dos cuidados de cultivo tomados durante a fase vegetativa da cultura, a aplicação de boas práticas de colheita é também de grande importância no manejo de fungos e micotoxinas nos produtos alimentares. Entre tais práticas destacam-se a colheita na maturação fisiológica, monitorização do teor de humidade do grão, tempo de colheita apropriado (condições ambientais favoráveis), uso de procedimentos corretos e materiais adequados, evitando danos mecânicos e contaminação cruzada (Codex Alimentarius, 2003).



2.1 Colheita na fase de maturação fisiológica

A maturação fisiológica de uma cultura ocorre quando o grão ou fruto atinge o seu desenvolvimento completo e cessa o transporte de nutrientes da planta-mãe para a parte produtiva ou económica (ex: espiga de milho, vagem de feijão ou amendoim). Nessa fase, o teor de humidade pode ainda ser alto, mas o potencial de mobilização e de acumulação da matéria seca já foi alcançado.

Tabela 5: Exemplo de variedades resistentes à infeção fúngica e síntese de micotoxinas para certas culturas praticadas por agricultores do setor familiar em Moçambique

Cultura	Variedade resistente	Fungo / micotoxina alvo	Características de resistência
Milho	Híbridos resistentes (ex.: DK390)	<i>Fusarium verticillioides</i> (fumonisinas)	Casca espessa, espiga fechada
Amendoim	Variedades resistentes (Ex.: AMENA-018 e MAPUPULO-018)	<i>Aspergillus flavus</i> (aflatoxinas)	Baixo teor de óleo livre, casca firme
Feijão	Genótipos resistentes (Ex. Vulgar: AP 82, AP 89 e LPA 31; e Nhemba: IT00K-96, UC-CB46 e IT98K-1105-5)	<i>Rhizoctonia spp.</i> , <i>Fusarium spp.</i>	Sistema radicular vigoroso
Batata-doce	Variedades locais (Ex.: Beauregard e IAC 134 AL01)	Patógenos de solo (<i>Fusarium oxysporum</i>)	Resistência a podridões radiculares

A colheita dos produtos susceptíveis justamente nessa fase já foi cientificamente comprovada como sendo eficaz e barata na redução dos níveis de contaminação por micotoxinas (Carbas et al., 2021). Para a cultura do amendoim, por exemplo, um estudo conduzido na Província de Nampula, demonstrou que o amendoim

colhido na fase de maturação fisiológica tende a apresentar menores níveis de contaminação por aflatoxinas, quando comparado com o amendoim colhido (até 10 dias) antes ou depois da maturação fisiológica (Zuza et al., 2018).

Como isso funciona?

Os seguintes aspectos fazem com que, colhendo as culturas suscetíveis na fase de maturação fisiológica, haja menor risco de infecção fúngica e contaminação por micotoxinas:

- Menos exposição a condições favoráveis aos fungos: evita-se que grãos já maduros permaneçam por muito tempo no campo, evitando-se, por conseguinte, a sua exposição a condições de risco de contaminação por fungos produtores de micotoxinas, como chuvas / alta humidade e ataque de pragas;
- Menor ataque de pragas (insetos): grãos que não permanecem por muito tempo no campo são menos atacados por insetos, mantendo a sua integridade física, e, portanto, com menos portas de entrada para infecções fúngicas;
- Facilidade de secagem e armazenamento adequado: ao colher no ponto correto, facilita-se o início da secagem, desfavorecendo o desenvolvimento de fungos durante o armazenamento.

Recomendações práticas

- Pesquise os tempos médios de maturação fisiológica de variedades das principais culturas praticadas na sua área (ex: culturas de grão como milho, amendoim e feijões)

- Elabore, junto dos produtores que assiste, planos de produção das principais culturais exploradas, perspectivando a coincidir a colheita de cada cultura com a maturação fisiológica (ex: veja a Tabela 6)
- Ajude os produtores a reconhecer os sinais de maturação fisiológica das culturas por eles exploradas (ex: veja a Tabela 6)

Tabela 6: Exemplo de tempos médios e sinais de maturação fisiológica para certas culturas suscetíveis, praticadas por agricultores do sector familiar em Moçambique (IIAM – www.agricultura.gov.mz)

Cultura	Variedades comuns	Tempo médio até maturação	Sinais de maturação fisiológica
Milho	ZM523, ZM309, Matuba, PAN53	100 – 120 dias após a sementeira	<ul style="list-style-type: none"> - “Ponto preto” na base do grão - Palha seca - Grão duro e opaco
Amendoim	Mapupulo-018, AMENA-018, AMM-018	90 – 110 dias após a sementeira	<ul style="list-style-type: none"> - Vagens firmes e casca interna escura - Folhas amareladas e caindo - Grãos bem formados
Feijão	Feijão-manteiga, CAL 143, LPA-31, AP-82/89	80 – 100 dias após emergência	<ul style="list-style-type: none"> - Vagens secas - Grãos firmes e com cor característica - Planta amarelando/ seca

2.2 Monitorização do teor de humidade do grão

O teor de humidade dos grãos é um dos fatores críticos que favorecem a colonização fúngica e a produção de micotoxinas (Figuras 4). Tal é devido à elevação da atividade de água (aw) do substrato, que se reflete na maior quantidade de água disponível para a atividade metabólica dos fungos. Assim, a monitorização do teor de

humidade do grão é, de longe, o aspeto mais importante no manejo de fungos e micotoxinas na fase de colheita.

Como isso acontece?



Figura 4: Relação entre humidade e acumulação de micotoxinas.

2.3 Procedimentos corretos de colheita

- Evitar danos mecânicos;
- Evite que os grãos colhidos entrem em contacto direto com o solo;
- Evite ao máximo criar lesões ou danos aos grãos. Os danos podem levar a fissuras no tegumento e quebra de grãos, tornando-os mais vulneráveis a ataques de fungos e micotoxinas.

3. Boas práticas de secagem

A secagem mantém a humidade do produto (principalmente grão) suficientemente baixa e óptima para que os fungos não se desenvolvam. Se for mal conduzida, pode causar a deterioração ou reduzir a qualidade do grão, tornando-o mais suscetível, não só a contaminação por fungos e micotoxinas, mas também à quebra ou diminuição do rendimento nas etapas de processamento.



3.1 Secagem rápida e eficiente

Para evitar alterações metabólicas e minimizar a ação de fungos toxigênicos e insetos, a secagem de grãos deve ser rápida, eficiente e homogênea, mantendo o máximo possível a integridade do grão dentro do limite aceitável de humidade. O teor de humidade no momento do armazenamento deve ser ótimo; por exemplo: a secagem do milho deve garantir 15% de teor de humidade em 10 dias e em 20 dias o teor de humidade dever estar abaixo de 13% (Matusse et al., 2025).

Recomendações práticas

- Pesquise o teor de humidade adequado para as principais culturas produzidas pelos produtores;
- Requisite juntos dos serviços de atividades económicas o aparelho portátil de medição de humidade (Figura 5);
- Faça o acompanhamento dos produtores durante o processo de secagem até atingir a humidade ideal para o armazenamento.



Figura 5: Aparelho portátil de medição da humidade no grão.

Tabela 7: Exemplo de teor de humidade de grãos de algumas culturas na secagem para posterior armazenamento (Ng’ang’a et al., 2016; Atungulu et al., 2018; Matusse et al., 2025)

Cultura	Teor de humidade (%)
Arroz	12 – 13
Milho	<13
Trigo	13
Amendoim	
- Com casca	<11
- Descascado	<8
Soja	<12

3.2 Tipos de secagem

Existem dois tipos de secagem: a) artificial e b) natural.

A secagem artificial permite com que o produto baixe o seu teor de humidade fora do campo (colher e secar fora do campo). A fonte de calor usada é diversa e é executada através de equipamentos mecânicos ou elétricos forçando-se o ar a circular por entre a massa de grãos (Garcia et al., 2004).

A secagem natural permite com que o produto baixe o seu teor de humidade no campo (na própria planta) ou fora do campo (colher e secar fora do campo) e é caracterizada pela incidência da radiação solar e vento sobre a massa de grãos a céu aberto (Garcia et al. 2004). No caso de colher e secar fora do campo, as espigas ou vagens devem ser estendidas em cima de lonas (Figura 6), e deve-se evitar a colocação direta na superfície do solo ou o uso de esteiras de palha (Figura 7), que podem aumentar a incidência de fungos (Matusse et al., 2025).



Figura 6: Uso da lona para a secagem dos produtos agrícolas.



Figura 7: Esteira de palha com desenvolvimento de fungos, devido à acumulação de humidade do solo.

4. Boas práticas de armazenamento

O armazenamento de grãos depois da secagem deve consistir em limpar bem e secar os grãos antes de armazenar, limpar toda a estrutura, não permitir acumulação de lixo ou produto próximo da unidade armazenadora, desinfetar a unidade antes de receber novos produtos; monitorizar a temperatura e a humidade dos grãos; monitorizar a presença de insetos e roedores em pontos críticos do local, armazenar em estrutura que tenha sido higienizada, nunca misturar grão novo com grão velho.



4.1 Limpeza e seleção dos grãos

Logo depois da secagem e antes do armazenamento, a limpeza do grão é necessária para evitar a interferência dos resíduos (solo, pedras, material vegetal) na conservação do produto ou grão. Descarte os grãos deteriorados (contaminados por fungos ou pragas). Os microrganismos (principalmente os fungos) e as pragas são fatores bióticos de deterioração e que, por sua vez, são influenciados por fatores abióticos, como temperatura e umidade, por isso que antes de armazenamento é necessária a triagem do grão (Figura 8).

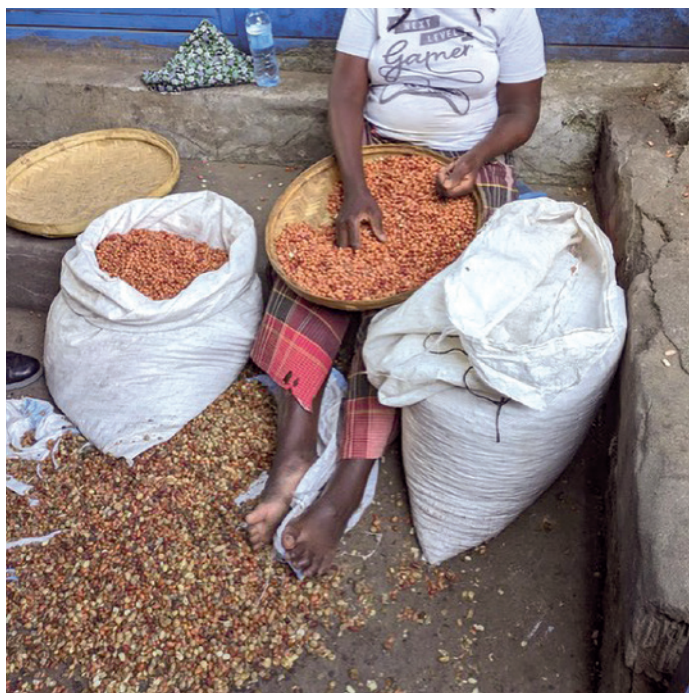


Figura 8: Seleção manual do grão para consumo e comercialização.

Como isso funciona?

- O produto é seco, limpo e armazenado;
- A limpeza deve ser feita até valores próximos a 4-5% de impurezas e/ou materiais estranhos, e pelo uso de uma peneira adequada;
- O teor de grãos quebrados não deve exceder 5%;
- Remover os grãos quebrados e aqueles com integridade biológica comprometida.

4.2 Controle de humidade

Os grãos proteicos e os amiláceos devem ser armazenados com teor de humidade que não supere os 13%, e os oleaginosos com maior ou menor teor de óleo devem ser armazenados com 11 ou 12%, respetivamente (Elias, Oliveira, and Vanier 2017). Deve também garantir-se que o armazém ou o material usado para armazenar não esteja húmido.

4.3 Controle de temperatura

O controlo da temperatura no armazenamento é fundamental, pois os processos respiratórios são intensificados quando a temperatura se eleva, criando alterações ligadas à dinâmica metabólica no armazenamento, o que resulta no consumo dos elementos que constituem as reservas nutritivas dos grãos. A temperatura tende a aumentar quando a humidade do grão é demasiado elevada (ver Tabela 7), devido à maior atividade metabólica tanto dos grãos como dos fungos. Sendo difícil regular a temperatura ambiente do local de armazenamento, o principal fator que permite controlar as variações de temperatura é a humidade do grão no momento do armazenamento.

Como isso funciona?

- A temperatura deve ser controlada, por termometria (Figura 9);
- Sempre que a temperatura comece a aumentar, deve-se arejar o grão ou o local de armazenamento para tentar reduzir a temperatura



Figura 9: Termómetro usado para medição da temperatura do grão.

4.4 Limpeza e inspeção regular dos locais e materiais de armazenamento

A limpeza prévia do local e material de armazenamento dos grãos é crucial. Após a limpeza do armazém, todas as superfícies internas e externas devem ser pulverizadas com fungicida e inseticida de ação residual. Os grãos podem ser armazenados em diversos tipos de materiais, conforme a disponibilidade. O armazenamento hermético de grãos devidamente secos é o mais adequado. É um método baseado na redução do oxigénio disponível no ecossistema

de armazenamento a níveis letais ou limitantes para os organismos vivos associados. Os sacos herméticos (Figura 10) e tambores (Figura 11) são os melhores materiais para armazenar grão, desde que estejam secos e que o teor de humidade do grão a ser armazenado seja adequado. Os sacos de rafia e os celeiros tradicionais devem ser evitados, pois não garantem o controlo de pragas e fungos (Matusse et al., 2025). Nos sacos herméticos e tambores devidamente fechados não há necessidade de aplicação de fungicidas ou inseticidas.

Inspecione regularmente os silos, tambores ou sacos. A inspeção dos silos e/ou armazéns onde se armazena grão deve ser regular, pois os grãos são os principais componentes de um ecossistema dinâmico, que se transforma constantemente devido as interações químicas, físicas e biológicas que promovem alterações quantitativas e qualitativas, gerando deteriorações e outras perdas.



Figura 10: Saco hermético

Figura 11: Tambor metálico

Recomendações práticas:

- Armazenar grãos em silos limpos e secos;
- Substituir silo pelo tambor metálico limpo e seco;
- Armazenar em sacos herméticos. Evitar armazenar em sacos de rafia e celeiros tradicionais
- Armazenar o produto em materiais e locais limpos e secos

5. Transporte

O transporte dos produtos, grãos ou vagens pode acontecer antes da secagem total ou depois, mas de todas as vertentes, deve-se evitar que haja exposição a fatores favoráveis ao ataque por fungos e outros microrganismos ou contaminantes. O transporte deve ser feito o mais rápido possível para evitar maior exposição. Se o produto levar muito tempo no transporte pode comprometer a ventilação devido à sobreposição e abafamento. Durante o transporte, a temperatura e humidade de grãos devem ser monitorizados regularmente para evitar o aparecimento e proliferação de fungos. O sistema de transporte usado não pode permitir que o grão apanhe chuvas e outros elementos externos.



6. Indústria

A indústria alimentar deve buscar sempre a qualidade dos produtos para garantir o fornecimento seguro aos consumidores e que estejam em conformidade com os requisitos de segurança alimentar e nutricional.



6.1 Controlo de qualidade da matéria-prima

O controlo de qualidade da matéria-prima dos produtos permite analisar ou classificar, para posteriormente aprovar ou recusar algum produto através de testes ou avaliações sensoriais, físico-químicas, microbiológicas e de normalização. O odor e coloração são aspetos do produto levados em consideração no setor da qualidade na indústria alimentícia. O grão deve passar por um processo de secagem e armazenamento ideais para garantir a qualidade da matéria-prima.

Recomendações práticas:

- Medir humidade do grão;
- Fazer a triagem do grão (seleção e separação do grão com contaminação aparente);
- Analisar a presença de fungos toxigénicos no grão;
- Detetar e quantificar a concentração de micotoxinas no grão.

6.2 Seleção de grãos pela cor

Os grãos de cada matriz/cultura devem ser selecionados de acordo com a coloração original, pois os fungos filamentosos geralmente descoloram os grãos. O recomendado é ter cerca de 97% da cor original do grão (retirar uma amostra de 100 grãos e observar a cor, não podendo haver mais de 3 grãos com cor fora do normal).

6.3 Processamentos adequados

Geralmente o processamento de grãos envolve procedimentos como separação de semente, secagem dos grãos e moagem dos grãos secos. Este processo torna-se mais adequado quando é feito sem indício de possível contaminação por fungos e micotoxinas.

6.4 Controlo de qualidade do produto final

O grão como matéria-prima na indústria alimentar deve atender padrões de secagem e armazenamento adequados para evitar com que o produto final seja contaminado com fungos e micotoxinas.

Recomendações práticas

- Controlo sensorial do produto (visão, tato, olfato e paladar, analisando cor, odor, textura, sabor e aspeto geral);
- Controlo técnico padronizado do produto (analisar fungos toxigénicos e micotoxinas);
- Embalar com material que não propicie o aumento da temperatura e humidade do produto;
- Colocar recomendações técnicas ideais para proteção contra fungos e micotoxinas no rótulo do produto (ex: guardar o produto em local seco e fresco).

Referências Bibliográficas

- Alaniz Zanon, M. S., Pena, G., Yerkovich, N., Bossa, M., Chiotta, L., Chulze, S. N., 2023. Aflatoxins and Fumonisin in Maize under a Climate Change Scenario. *Biocontrol Strategies at the Pre-Harvest Stage. European Journal of Plant Pathology* 167(4): 551–67. doi:10.1007/s10658-023-02735-7.
- Ali, N., 2019. Aflatoxins in Rice: Worldwide Occurrence and Public Health Perspectives. *Toxicology Reports* 6: 1188–97. doi:10.1016/j.toxrep.2019.11.007.
- Atungulu, G. G., Olatunde, G., Wilson, S., 2018. Engineering Methods to Reduce Aflatoxin Contamination of Corn in On-Farm Bin Drying and Storage Systems. *Drying Technology* 36(8): 932–51. doi:10.1080/07373937.2017.1365726.
- Awuchi, C. G., Ondari, E. N., Nwozo, S., Odongo, G. A., Eseoghene, I. J., Twinomuhwezi, H., Ogbonna, C. U., Upadhyay, A. K., Adeleye, A. O., Okpala, C. O. R., 2022. Mycotoxins' Toxicological Mechanisms Involving Humans, Livestock and Their Associated Health Concerns: A Review. *Toxins* 14(3). doi:10.3390/toxins14030167.
- Baptista, A. S., Horii, J., Baptista, A. S., 2004. Fatores Físico-Químicos e Biológicos Ligados à Produção De Micotoxinas. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos* 22(1). doi:10.5380/cep.v22i1.1175.
- Carbas, B., Soares, A., Freitas, A., Silva, A. S., Pinto, T., Andrade, E., Brites, C., 2021. Mycotoxin Incidence in Pre-Harvest Maize Grains. *Proceedings* 70(24). doi:10.3390/foods_2020-07667.
- Chiotta, M. L., Fumero, M. V., Cendoya, E., Palazzini, J. M., Alaniz-Zanon, M. S., Ramirez, M. L., Chulze, S. N., 2020. Toxigenic Fungal Species and Natural Occurrence of Mycotoxins in Crops Harvested in Argentina. *Revista Argentina de Microbiologia* 52(4): 339–47. doi:10.1016/j.ram.2020.06.002.

- Codex Alimentarius, 2003. *Code of Practice for the Prevention and Reduction of Mycotoxin Contamination in Cereals*. CXC 51-2003. FAO/WHO.
- Dong, F., Chen, X., Lei, X., Wu, D., Zhang, Y., Lee, Y.-W., Mokoena, M. P., 2023. Effect of Crop Rotation on *Fusarium* Mycotoxins and *Fusarium* Species in Cereals in Sichuan Province (China). *Plant Disease* 107(4): 1060–66.
- El-Sayed, R. A., Jebur, A. B., Kang, W., El-Demerdash, F. M., 2022. An Overview on the Major Mycotoxins in Food Products: Characteristics, Toxicity, and Analysis. *Journal of Future Foods* 2(2): 91–102. doi:10.1016/j.jfutfo.2022.03.002.
- Elias, M. C., Oliveira, M., Vanier, N. L., 2017. Tecnologias de Pré-Armazenamento, Armazenamento e Conservação de Grãos. Capão do Leão, Universidade Federal de Pelotas, Ministério da Educação, Brasil.
- Freire, F. C. O., Vieira, I. G. P., Guedes, M. I. F., Mendes, F. N. P., 2007. Micotoxinas: Importância Na Alimentação e Na Saúde Humana e Animal. *Embrapa* (ISSN 1677-1915).
- Garcia, D. C., Barros, A. C. S. A., Peske, S. T., Menezes, N. L., 2004. A Secagem de Sementes. *Ciência Rural* 34(2): 603–8. doi:10.1590/s0103-84782004000200045.
- Gomes, A. L., Petrus, R. R., Sousa, R. L. M., Fernandes, A. M., 2024. Aflatoxins and Fumonisin in Conventional and Organic Corn: A Comprehensive Review. *Food Additives and Contaminants - Part A* 41(5): 575–86. doi:10.1080/19440049.2024.2330092.
- Islam, M. N., Banik, M., Sura, S., Tucker, J. R., Wang, X., 2022. Implications of Crop Rotation and Fungicide on *Fusarium* and Mycotoxin Spectra in Manitoba Barley, 2017–2019." *Toxins* 14(463). doi: 10.3390/toxins14070463
- Janse van Rensburg, B., McLaren, N. W., Flett, B. C., Schoeman, A., 2015. Fumonisin Producing *Fusarium* spp. and Fumonisin Contamination in Commercial South African Maize. *European Journal of Plant Pathology* 141(3): 491–504. doi:10.1007/s10658-014-0558-7.

- Juan, C., Lino, C. M., Pena, A., Moltó, J. C., Mañes, J., Silveira, I., 2007. Determination of Ochratoxin A in Maize Bread Samples by LC with Fluorescence Detection. *Talanta* 73(2): 246–50. doi:10.1016/j.talanta.2007.03.029.
- Korani, W. A., Chu, Y., Holbrook, C., Clevenger, J., Ozias-Akins, P., 2017. Genotypic Regulation of Aflatoxin Accumulation but Not *Aspergillus* Fungal Growth upon Post-Harvest Infection of Peanut (*Arachis Hypogaea* L.) Seeds. *Toxins* 9(7): 1–12. doi:10.3390/toxins9070218.
- Matusse, C., Bila, J., Macuamule, C., Sampaio, A., Venâncio, A., Rodrigues, P., 2025. Evaluation of Corn Drying and Storage Techniques to Mitigate Damage and Total Aflatoxin Contamination in Mozambique. *Journal of Stored Products Research* 114: 102794. doi:10.1016/j.jspr.2025.102794.
- Mielniczuk, E., Skwaryło-Bednarz, B., 2020. Fusarium Head Blight, Mycotoxins and Strategies for Their Reduction. *Agronomy* 10(509): 11–15. doi:10.3390/toxins14070463.
- Ng'ang'a, J., Mutungi, C., Imathiu, S., Affognon, H., 2016. Effect of Triple-Layer Hermetic Bagging on Mould Infection and Aflatoxin Contamination of Maize during Multi-Month on-Farm Storage in Kenya. *Journal of Stored Products Research* 69: 119–28. doi:10.1016/j.jspr.2016.07.005.
- Nigam, S. N., Waliyar, F., Aruna, R., Reddy, S. V., Lava Kumar, P., Craufurd, P. Q., Diallo, A. T., Ntare, B. R., Upadhyaya, H. D., 2009. Breeding Peanut for Resistance to Aflatoxin Contamination at ICRISAT. *Peanut Science* 36(1): 42–49. doi:10.3146/at07-008.1.
- Pereira, K. C., Fernando, C., 2011. Micotoxinas e Seu Potencial Carcinogênico. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde* 15(4): 147–65.
- Prestes, I. D., Rocha, L. O., Nuñez, K. V.M., Silva, N. C. C., 2019. Fungi and Mycotoxins in Corn Grains and Their Consequences. *Scientia Agropecuaria* 10(4): 559–70. doi:10.17268/sci.agropecu.2019.04.13.

- Rose, L. J., Okoth, S., Beukes, I., Ouko, A., Mouton, M., Flett, B. C., Makumbi, D., Viljoen, A., 2017. Determining Resistance to *Fusarium verticillioides* and Fumonisin Accumulation in African Maize Inbred Lines Resistant to *Aspergillus flavus* and Aflatoxins." *Euphytica* 213(4): 1–18. doi:10.1007/s10681-017-1883-7.
- Santos, M. C., Sousa, R. B., Oliveira, S. E. M., Lima, K. S.C., Lima, A. L. S., 2014. Mycotoxins and Their Potential as Warfare Agents. *Revista Virtual de Quimica* 6(3): 761–78. doi:10.5935/1984-6835.20140046.
- Tibola, C. S., Fernandes, J. M. C., 2020. Micotoxinas no trigo: estratégias de manejo para minimizar a contaminação. 21ª ed. Ed. Editores Técnicos. Brasília: Embrapa Trigo.
- Udomkun, P., Wiredu, A. N., Nagle, M., Müller, J., Vanlauwe, B., Bandyopadhyay, R., 2017. Innovative Technologies to Manage Aflatoxins in Foods and Feeds and the Profitability of Application – A Review. *Food Control* 76: 127–38. doi:10.1016/j.foodcont.2017.01.008.
- Vedovatto, M. G., Bento, A. L., Kiefer, C., Souza, K. M. R., Franco, G. L., 2020. Mycotoxins in the Beef Cattle Diet: Review. *Archivos de Zootecnia* 69(266): 234–44. doi:10.21071/az.v69i266.5119.
- Zuza, E., Muitia, A., Amane, M. I. V., Brandenburg, R. L., Emmott, A., Mondjana, A. M., 2018. Effect of Harvesting Time and Drying Methods on Aflatoxin Contamination in Groundnut in Mozambique. *Journal of Postharvest Technology* 06(2): 90–103. doi: 10.5772/intechopen.77300



MYCOTOX-PALOP