



ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DA INCIDÊNCIA DE MICOTOXINAS DURANTE O ARMAZENAMENTO DO MILHO

A gestão segura e eficiente do armazenamento do milho é fundamental para garantir a qualidade da colheita e ajudar a prevenir perdas de valor e rejeições. As principais causas de deterioração da qualidade do milho durante o armazenamento são derivadas de fungos, insetos e ácaros que são capazes de transportar esporos de fungos produtores de micotoxinas.

Bruna Carbas¹, Daniela Simões¹, Andreia Soares¹, Andreia Freitas¹, Alexandre Carvalho², Ana Sanches Silva¹, Tiago Pinto³, Manuela Varela³, José Semedo¹, Susana Covao¹, Eugénia Andrade¹, Carla Brites¹

¹ Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária



² ISQ



³ ANPROMIS



Fungos e micotoxinas

Durante o armazenamento do milho os fungos podem crescer a partir de cerca de 14,5% de humidade e em determinadas condições produzem micotoxinas.

Os principais fungos que ocorrem durante o armazenamento são dos géneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, cujas curvas de crescimento dependem da temperatura e humidade (Figura 1).

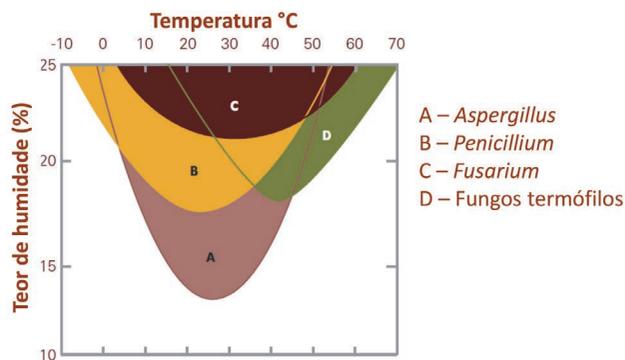


Figura 1 – Curvas de crescimento das principais espécies de fungos em função da temperatura e humidade (Fonte: Boys, 2011).

O principal método para controlar o aparecimento e crescimento dos fungos é a secagem acoplada ao arrefecimento do grão.

Os fungos crescem mais lentamente abaixo de 14,5% de humidade, crescem lentamente perto de 0 °C, o arrefecimento não é suficiente para prevenir o crescimento em grãos húmidos, mas quanto mais baixa a temperatura mais lenta é a taxa de crescimento.

As micotoxinas também são produzidas pelos fungos no próprio campo e antes da colheita, por exemplo por espécies de *Fusarium*. As micotoxinas são compostos estáveis e é expectável que perdurem sem grande variação durante o armazenamento controlado do grão, porque as espécies de fungos que as produzem necessitam de maiores teores de humidade para se desenvolverem (Figura 1). Durante o armazenamento do grão, sob condições mal controladas de humidade e temperatura, surgem principalmente espécies dos géneros *Aspergillus* e *Penicillium*.

Preparação do local de armazenagem

O local deve garantir o armazenamento seguro de grãos, combinando diferentes estratégias e práticas de gestão para limitar as pragas e contaminações, assegurando a viabilidade económica e o mínimo de impacte ambiental. A limpeza por si só não eliminará todas as pragas nos depósitos vazios e os tratamentos com pesticidas químicos devem ser minimizados. Para garantir o armazenamento seguro de grãos é necessária uma boa preparação do local de armazenagem, que deve funcionar em conjunto com o alcance e manutenção da temperatura e humidade alvos.

O local de armazenagem deve:

- Ser limpo e seco;
- Estar bem ventilado;
- Ter luzes e lâmpadas resistentes a estilhaçamento;
- Ter os equipamentos a funcionar corretamente;
- Ser à prova de entrada de roedores e pássaros;
- Ter telhado à prova de água (sem vazamentos ou calhas quebradas);
- Não ter contaminantes;
- Ser seguro.

Higienização

A prévia higienização do local de armazenagem é importante para eliminar fontes de contaminação de fungos, insetos e ácaros. A infestação oculta pode estar presente em armazéns ou silos vazios ou mesmo em pequenas quantidades de grãos armazenados anteriormente. Os locais devem ser limpos com um aspirador industrial para remover detritos e deverá garantir-se que todo o lixo é removido e descartado para fora das imediações das instalações de armazenagem.

Os sistemas transportadores podem abrigar quantidades apreciáveis de fungos, comparativamente com outras áreas da instalação de armazenagem. Para minimizar o risco, é necessária uma atenção especial na remoção de detritos, higienização do equipamento e áreas mais difíceis de alcançar no armazenamento.

Monitorização

Após a limpeza, a presença de insetos e de pragas devem ser monitorizadas tendo em conta as seguintes considerações:

- Colocar armadilhas para insetos (Figura 2) nos cantos e em junções parede/piso a cada 4 a 5 metros no armazém, tendo o cuidado de efetuar verificações semanais;
- Onde uma infestação for detetada, colocar armadilhas adicionais, o que ajudará a identificar a fonte;
- Se, com outras medidas de higiene, a presença de insetos persistir ou se for generalizada, considerar a aplicação de um pesticida homologado nas instalações;
- Proceder à aplicação de um inseticida residual, por pessoal treinado, de modo a fornecer proteção por um período prolongado, dependendo do tipo de superfície e da temperatura;
- Após dois dias do tratamento, monitorizar a eficácia do tratamento fazendo a substituição das armadilhas;
- Documentar devidamente os detalhes de todos os tratamentos aplicados.



Figura 2 – Armadilhas de captação de insetos para colocação nos armazéns.

Tratamento

Os produtos atualmente aprovados para tratar os grãos podem consultar-se na página da DGAV em: <https://www.dgav.pt/alimentos/conteudo/generos-alimenticios/garantir-a-seguranca-dos-alimentos/residuos-de-pesticidas/>.

Ao usar qualquer tratamento químico é imperativo que se tomem as medidas de segurança recomendadas, incluindo o uso de equipamento de proteção pessoal adequado.

Amostragem

Deve-se retirar várias subamostras representativas de cada carga de reboque para determinação do teor de humidade e temperatura. Se não for possível coletar uma amostra durante a descarga do depósito, as amostras devem ser retiradas da pilha inclinada usando um amostrador de lança. Os resultados das análises de humidade e temperatura poderão auxiliar as decisões sobre as necessidades e prioridade a dar aos diferentes lotes rececionados.

A distribuição das micotoxinas nos grãos de milho, assim como dos fungos seus produtores, é muito heterogénea e os limites máximos permitidos pela legislação são muito baixos, consultar legislação na página da DGAV em: <https://www.dgav.pt/alimentos/conteudo/generos-alimenticios/garantir-a-seguranca-dos-alimentos/contaminantes/>.

Portanto, para o controlo das micotoxinas há que garantir o menor erro da amostragem e para controlos oficiais há um regulamento da União Europeia que especifica os procedimentos (Reg. 404/2006 e suas alterações).

Limpeza do grão

A limpeza do milho antes e depois da secagem é recomendada para eliminar pequenos grãos quebrados, com sintomas de fusariose, e detritos da espiga,

ou outros que sejam suscetíveis de transportar esporos e serem potenciais fontes de contaminação. Durante as operações de limpeza, o milho pode ser parcialmente limpo da maioria dos contaminantes por peneiração, separação por densidade ou outros modos também eficazes. Existem já soluções mecânicas para separar os grãos contaminados por aflatoxinas.

Pré-armazenagem temporária do grão antes da secagem

Deve-se evitar a pré-armazenagem de grãos húmidos, mas frequentemente ocorrem atrasos após a colheita e os grãos recém-colhidos precisam ser armazenados temporariamente antes da secagem. Se o grão húmido não for manuseado corretamente, pode vir a ser contaminado por fungos, ácaros e insetos e a sua incidência sobre a deterioração da qualidade é geralmente subestimada.

Sob certas condições de temperatura e teor de humidade, o crescimento de fungos pode ocorrer rapidamente e levar à produção de micotoxinas, pelo que o controlo desses parâmetros é essencial para garantir a qualidade do grão (Figura 3).

As armadilhas de insetos devem ser usadas nas áreas de pré-armazenagem temporária antes e durante o período de armazenagem.

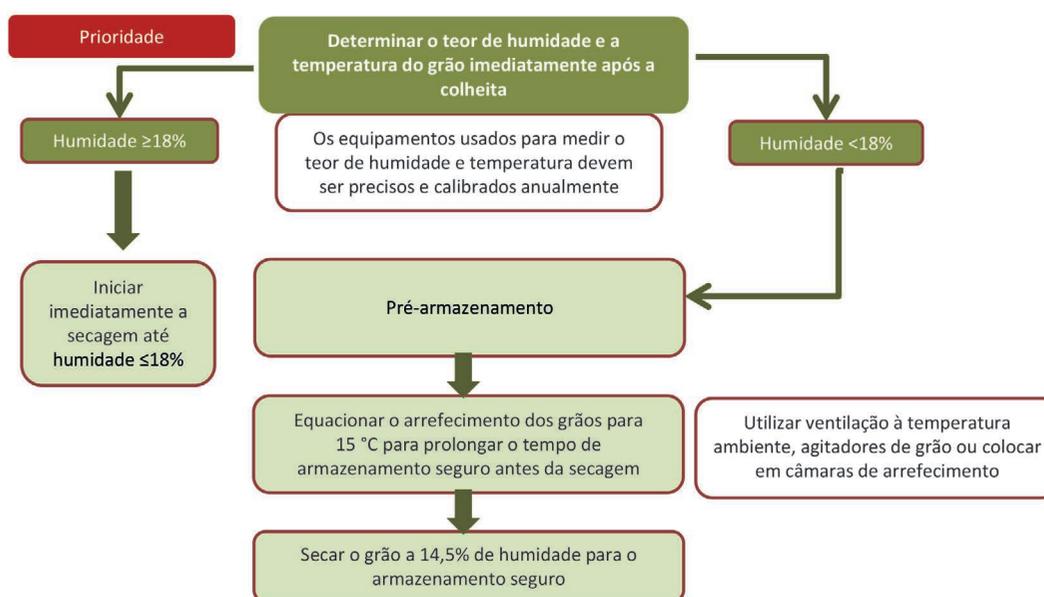


Figura 3 – Esquema orientador da gestão do pré-armazenamento do grão.

Secagem do grão

Previamente à secagem deve atender-se às seguintes considerações:

- Garantir que o equipamento é devidamente limpo antes do uso, de modo a prevenir contaminações com esporos fúngicos, insetos ou ácaros;
- Considerar a necessidade de tratamentos com pesticidas, se forem encontradas pragas durante a limpeza;
- Aplicar apenas pesticidas homologados e nas quantidades recomendadas, reconhecendo as subseqüentes limitações;
- Assegurar a manutenção e calibração do equipamento de aplicação de pesticidas.

A secagem dos grãos (humidade <18%) no menor tempo possível é essencial para prevenir o risco de formação de micotoxinas.

A secagem deve ser eficiente, de modo a não provocar fraturas no grão, uma vez que os grãos partidos ficam mais vulneráveis ao ataque de insetos, ácaros e fungos produtores de micotoxinas. Existem dois métodos básicos de secagem de grãos: expor a elevadas temperaturas; ou, com circulação de ar, expor a temperaturas próximas da temperatura ambiente. A secagem a alta temperatura usa ar aquecido a 40 °C (ou valores mais elevados), é rápida e independente das condições ambientais, mas é mais dispendiosa.

A secagem com circulação de ar à temperatura ambiente é usada para grãos a granel, funciona por sopro de ar através da massa, não causa defeitos no grão relacionados com sobreaquecimento, mas é mais lenta do que a secagem a alta temperatura e tem um maior risco de deterioração provocado por fungos, ácaros e insetos.

Humidade

O controlo e gestão da humidade no grão é vital para prevenir a deterioração da qualidade do milho causada por fungos, ácaros e insetos.

O tempo adequado para se atingir o teor de humidade recomendado será dependente da tempera-

tura do grão: as combinações de altas humidades com altas temperaturas resultam num maior risco de desenvolvimento de fungos e síntese de micotoxinas.

A morfologia do grão de milho tem diferentes camadas e os teores de humidade não são uniformes em todos os tecidos. Os teores globais de humidade podem ser baixos, mas a superfície do grão absorve humidade a baixas temperaturas, o que potencia o risco de atração de ácaros e o desenvolvimento de fungos.

Em locais de armazenamento fechados existem transferências de água entre o grão e o ar envolvente até se atingir o equilíbrio de humidade relativa. A humidade relativa de equilíbrio depende da temperatura, sendo que, para um determinado teor de humidade do grão, é mais seguro armazenar o grão a menor temperatura. Os contratos de compra e venda de milho são normalmente negociados com teores de humidade de 15%. O risco de segurança alimentar é parcialmente dependente da temperatura, mas começa a aumentar acima de 14,5% de humidade.

Determinação da humidade

As determinações da humidade podem ser diretas ou indiretas.

No método direto de referência (ISO 6540:2021 “Método de perda de peso em estufa”), um determinado peso de grão triturado e preconditionado (se necessário) é seco a 130-133 °C até o peso da matéria seca permanecer constante. A moagem e o controlo de temperatura são fatores críticos para a precisão dos resultados.

Nos métodos indiretos, os medidores de humidade medem a resistência de grão, capacitância ou as vibrações moleculares por infravermelho próximo. Estes métodos são menos precisos do que o método direto de referência, sendo essencial uma calibração anual dos equipamentos. Com o grão recém-colhido têm sido observadas maiores diferenças para o método de referência do que com o milho armazenado por algum tempo.

A amostragem para a análise da humidade deve ser representativa do lote, retirando-se várias suba-

mostras, que devem ser misturadas completamente antes da sua determinação, mantidas num recipiente estanque com espaço mínimo de ar livre e a uma temperatura ambiente uniforme.

A determinação deve realizar-se rapidamente em várias leituras, devendo repetir-se a análise com diferenças superiores a 0,5%. As maiores diferenças ocorrem em ambientes muito húmidos, grão muito seco ou recém-colhido.

Agitadores do grão

Na maioria dos casos, para melhorar a eficiência da secagem podem utilizar-se agitadores para misturar o grão verticalmente e arejá-lo (Figura 4). O seu uso é recomendado na medida em que o arejamento permite o arrefecimento do grão e acelera o processo de secagem, prevenindo que se estabeleçam as condições ótimas ao desenvolvimento dos fungos nos grãos situados a maior profundidade.



Figura 4 – Agitadores de grão instalados nos locais de armazenamento para facilitar o arejamento e arrefecimento.

Profundidade do grão

O risco de deterioração da qualidade aumenta à medida que a profundidade do grão excede a ca-

pacidade máxima do ventilador. Se a capacidade de ventilação for excedida, o fluxo de ar será seriamente reduzido e o avanço da zona de secagem será retardado. Por exemplo, se o grão for normalmente armazenado a 2,8 m de profundidade, esta profundidade deve ser reduzida em 0,5 m para cada aumento de ponto percentual na humidade inicial do grão acima de 20%.

Armazenamento de longa duração – arrefecimento com arejamento

As temperaturas acima de 15 °C aumentam o risco de desenvolvimento de populações de insetos, ácaros e fungos produtores de micotoxinas (Figura 5). O grão está relativamente quente após a colheita e é um bom isolante, portanto, o calor será perdido muito lentamente. O arrefecimento permite que os grãos sejam conservados com teores de humidade ligeiramente mais elevados e aumenta o tempo de armazenamento seguro. O arrefecimento com arejamento de baixo volume (10 m³/hora/tonelada) uniformiza a temperatura e evita transferências de humidade, mas tem de ser bem conduzido para evitar condensações.

Efeitos favoráveis do arrefecimento acoplado à ventilação durante o armazenamento:

- Inibe o desenvolvimento de fungos termófilos;
- Limita a criação de gradientes de humidade adequados para o desenvolvimento de fungos;
- Baixa o risco de crescimento dos fungos e a produção de micotoxinas.

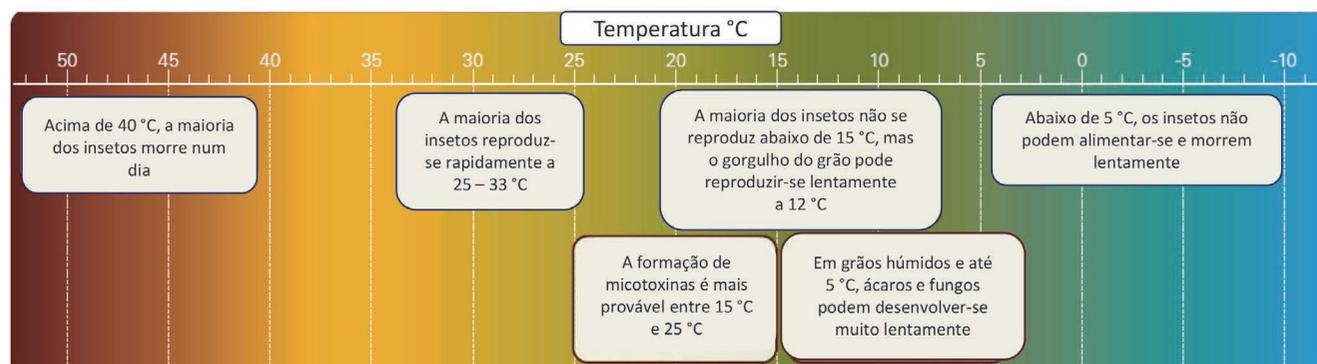


Figura 5 – Diagrama orientativo de crescimento de insetos, ácaros e fungos em função da temperatura (Fonte: Boys, 2011).

Controlos diferenciais de temperatura

Um controlador diferencial só liga o ventilador de arrefecimento quando a temperatura do ar é inferior à temperatura do grão. Este método garante que os sistemas de refrigeração tenham o potencial para funcionar sempre que a temperatura do ar permita o arrefecimento e são desligados automaticamente assim que o grão atinja essa temperatura. O uso de controlos diferenciais de forma automática, quando comparados com os dispositivos manuais, permite uma redução no número de horas de ventilação para atingir a temperatura-alvo, levando a uma redução dos custos de energia. O sensor da temperatura ambiente deve ser colocado próximo da entrada do ventilador, mas numa posição onde não seja afetado por qualquer calor gerado pelo equipamento. A sonda do grão deve ser colocada na região que é mais difícil de arrefecer e não deve ser colocada perto da superfície, para evitar o registo da temperatura ambiente. Um diferencial de 4 a 6 °C tem-se mostrado eficaz em simulações e ensaios práticos.

Arejamento ascendente vs arejamento descendente

Soprar o ar através dos grãos é preferível a sugar o ar para baixo porque:

- O sopro melhora a distribuição do ar;
- O aquecimento do ventilador reduz a humidade relativa do ar soprado;
- O ar quente e húmido é libertado do edifício;
- O arrefecimento pode começar assim que as condutas estejam preparadas.

A sucção pode ser útil se:

- A condensação no interior dos telhados for um problema;
- Existir o risco de a água entrar nas condutas de arejamento;
- A profundidade do grão for tão elevada que levaria ao aumento da temperatura através do sopro.

Guia de monitorização

Temperatura

- Monitorizar regularmente.
- Registrar sempre nos mesmos locais.
- Realizar as medições onde o arrefecimento é mais difícil, por exemplo, nos locais mais distantes do ventilador em sistemas de sopro, o que geralmente corresponde a 0,5 m abaixo da superfície e centralmente entre condutas.
- Usar uma sonda de temperatura de grãos calibrada (termopares ou termistores).

Humidade

- Monitorizar em vários locais.
- Registrar pelo menos uma vez por mês durante o inverno.
- Permitir uma margem de segurança: os erros são frequentemente $\pm 0,5\%$ e podem ser maiores em locais muito húmidos, muito secos ou em grão recentemente colhido.

Insetos e ácaros

- Detetar precocemente é importante para evitar o aumento das populações.
- Usar armadilhas para detetar populações de baixo nível.
- Usar as armadilhas apropriadamente: algumas armadilhas são próprias para as instalações, outras para colocar no interior da massa de grãos.
- Combinar armadilhas com sondas de modo a atingir diferentes espécies de insetos e ácaros com comportamentos diferentes.
- Colocar as armadilhas ao longo do volume dos grãos.
- Monitorizar regularmente as armadilhas, contabilizar e registar os conteúdos sempre que são examinadas.

Medidas de controlo

Inseticidas residuais

- Permitem alguma proteção por um período prolongado após a aplicação.
- Pode levar algum tempo para controlar uma infestação existente.
- Dependendo do composto ativo, a temperaturas

mais baixas a sua eficácia poderá ser mais prolongada.

Fumigantes

- Não têm atividade duradoura, mas penetram e desinfetam massas estáticas.
- Se forem aplicados corretamente, permitem o controlo de todos os estágios de infestação num único tratamento.

Terra diatomácea

- Atua por desidratação dos insetos e ácaros.
- Pode ser de ação lenta.
- A sua utilização pode não vir a ser aceite devido às preocupações de segurança (poeira) e à incapacidade de removê-la dos grãos.

A aplicação de pesticidas químicos deve ser minimizada. A utilização de pesticidas deve ser minuciosamente avaliada para garantir a dose recomendada e evitar exceder os limites máximos de resíduos. É necessário ter em consideração o modo de ação de cada pesticida e que a sua aplicação incorreta pode contribuir para a resistência das pragas a essas substâncias.

Armadilhas vs amostragem

- As condições ambientais e o comportamento dos insetos são complexos, pelo que não existe uma relação linear entre o número real de insetos e as quantidades capturadas nas armadilhas.
- As armadilhas fornecem uma indicação das tendências populacionais.
- A amostragem de grãos, e posterior análise, pode ser usada para detetar insetos e ácaros, no entanto, é menos fiável do que colocar armadilhas.
- Pode ser útil vir a verificar se há ácaros de armazenamento na camada superficial do grão.

Nota final

O principal benefício económico do armazenamento de grão é poder vir a vender o milho a um preço mais elevado. No entanto, é necessário contabili-

zar todos os custos envolvidos com a construção e manutenção das instalações, com tratamentos e condicionamento do grão e também com o capital empatado no armazém. Com mercados voláteis e com a contabilização de todos os custos associados, há um enorme risco de que os grãos possam ser desvalorizados.

As alterações climáticas perspetivam condições altamente variáveis e de vulnerabilidade, o que consistirá em importantes desafios para o armazenamento dos grãos de milho. O aumento previsto da temperatura irá dificultar as metas de arrefecimento do grão. As populações de certos insetos, ácaros e fungos estão a desenvolver resistência a alguns pesticidas homologados.

Torna-se assim necessário implementar sistemas de gestão de pragas integrados que combinem diferentes estratégias de monitorização e controlo, economicamente viáveis e com o mínimo de impacto ambiental para fazer face à ocorrência de micotoxinas que causam deterioração da qualidade e perda de valor do milho armazenado. ☹

Bibliografia consultada:

Boys, E. (2011). HGCA – Grain storage guide for cereals and oilseeds, 3th edition, AHDB, UK, 28pp.

Novas estratégias de integração sustentáveis que garantam a qualidade e segurança na fileira do milho nacional, PDR2020 n.º 101-031295.

