

Londrina, PR / Junho, 2026

Secagem de grãos de soja: recomendações para preservação da qualidade

Maurício Albertoni Scariot⁽¹⁾, Lauri Lourenço Radünz⁽²⁾, Rafael Gomes Dionello⁽³⁾, Fernando Augusto Henning⁽⁴⁾, José de Barros França-Neto⁽⁵⁾, Marcelo Álvares de Oliveira⁽⁶⁾, Francisco Carlos Krzyzanowski⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽²⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Agrícola, professor da Faculdade de Agronomia da UFRGS, Porto Alegre, RS. ⁽³⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, professor da Faculdade de Agronomia da UFRGS, Porto Alegre, RS. ⁽⁴⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências e Tecnologia de Sementes, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽⁵⁾ Engenheiro-agrônomo, Ph.D em Tecnologia de Sementes, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽⁶⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽⁷⁾ Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Tecnologia de Sementes, Pesquisador Aposentado da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Introdução

A colheita da soja é realizada, geralmente, quando os grãos apresentam teores de água entre 13% e 18%. Nessa condição, há elevada atividade metabólica e maior suscetibilidade à deterioração, dificultando o armazenamento seguro. Por isso, recomenda-se que os grãos sejam secos e armazenados com teores de água inferiores a 13%, limite que assegura a redução do metabolismo e a menor proliferação de microrganismos, ampliando o potencial de conservação. Nesse contexto, a secagem artificial é uma etapa determinante para manter a qualidade da soja. Esse processo tem a finalidade

de reduzir o teor de água dos grãos a níveis que ofereçam segurança para o armazenamento (Bala, 2016; Krzyzanowski et al., 2023).

O processo de secagem fundamenta-se na transferência simultânea de calor e massa, ocorrendo quando há diferença entre a pressão de vapor da água nos grãos e a pressão de vapor do ar de secagem. Quando a pressão de vapor do ar é inferior à do produto, a água migra do interior do grão para a superfície e, posteriormente, para o ar (Bala, 2016). Essa migração ocorre por difusão líquida e de vapor, sendo influenciada tanto pelas características físicas do grão quanto pelas condições termodinâmicas do ar de secagem (Figura 1) (Queiroz; Valente, 2018).

Ilustração: Maurício Albertoni Scariot.

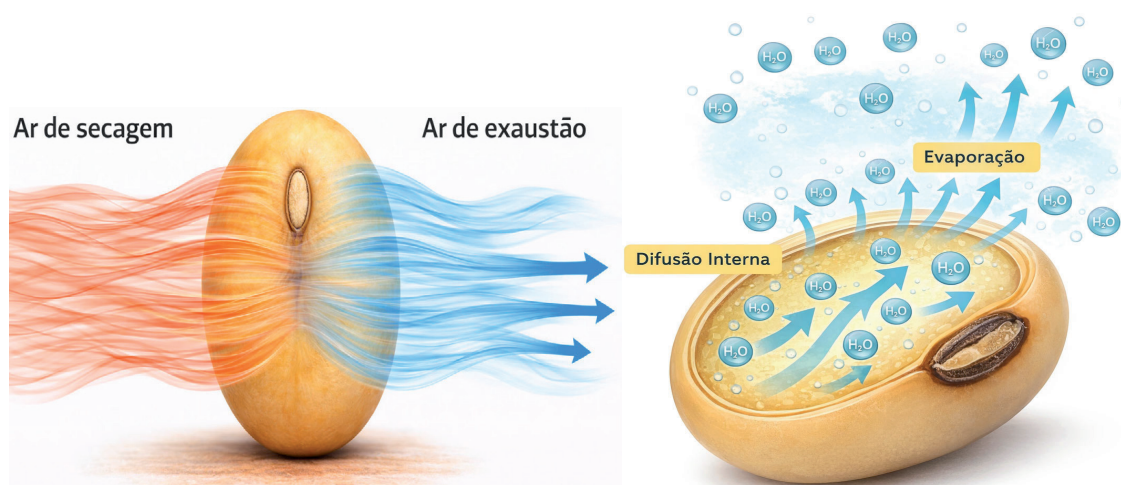
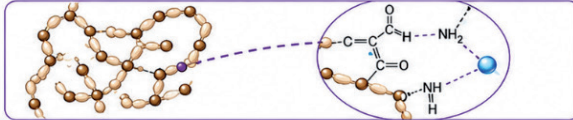
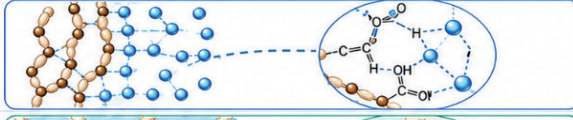
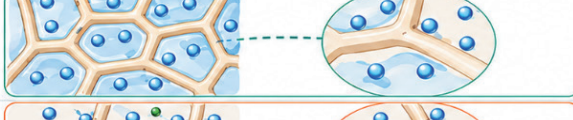




Figura 1. Ilustração do processo de remoção da água dos grãos de soja durante a secagem. .

TIPO DE ÁGUA	LOCALIZAÇÃO NA MATRIZ DO GRÃO (ESQUEMA)	TEOR DE ÁGUA (% base úmida)	POTENCIAL HÍDRICO (MPa)	ATIVIDADE METABÓLICA
1 ÁGUA ESTRUTURAL (OU DE CONSTITUIÇÃO)		< 7,5%	< -150	Praticamente inexistente
2 ÁGUA DE HIDRATAÇÃO		7,5 – 20%	-150 a -11	Reações químicas iniciais (deterioração começa)
3 ÁGUA INTERMEDIÁRIA (CAPILAR / ASSOCIADA)		20 – 33%	-11 a -4	Metabolismo início de intensificação (respiração ativa)
4 ÁGUA EM SOLUÇÃO CONCENTRADA		≈ 33 – 41/55%	-4 a -1,5	Síntese de proteínas, reparo celular, metabolismo organizado
5 ÁGUA LIVRE (SOLUÇÃO DILUÍDA)		> 41/55%	≈ 0	Metabolismo intenso (condição próxima à germinação)

LEGENDA

- ÁGUA
- MACROMOLÉCULAS (proteínas, carboidratos, lipídios)
- PAREDE CELULAR / ESTRUTURA DA MATRIZ
- SOLUTOS DISSOLVIDOS (sais, açúcares, aminoácidos, etc.)
- LIGAÇÃO DE HIDROGÊNIO

INTERPRETAÇÃO-CHAVE

- Tipos 1, 2 e 3 = água "presa" (até ≈ 33%) → baixa disponibilidade
- Tipos 4 e 5 = água "livre" (> ≈ 33%) → alta disponibilidade

Figura 2. Esquema ilustrativo dos tipos de água presentes nos grãos de soja.

Fonte: adaptado de Marcos-Filho (2015).

Ao longo do processo de secagem, a taxa de remoção de água dos grãos não é constante devido, principalmente, às diferentes formas de retenção da água pelos componentes celulares (Figura 2) (Portella; Eicherberger, 2001; Lima et al., 2016).

A água nos grãos é classificada em cinco tipos, conforme a intensidade de sua ligação com as macromoléculas (Marcos-Filho, 2015):

Água tipo 1 (ou de constituição): Fortemente retida por ligações iônicas às moléculas do grão, sendo de difícil mobilização (teores de água inferiores a 7,5%).

Água tipos 2 e 3 (água adsorvida): Ligada às macromoléculas por forças eletromagnéticas (pontes de hidrogênio); essas ligações são mais fracas, o que facilita a remoção (teores entre 7,5% e 33%).

Água tipos 4 e 5 (água absorvida, livre ou de solução): Facilmente removida ainda no campo, por meio da secagem natural na própria planta (teores superiores a 33%).

No início da secagem (período 0), ocorre o aquecimento dos grãos e o aumento da taxa de remoção de água, devido ao alto teor de água inicial do produto (Figura 3). Em seguida, verifica-se o período de taxa aproximadamente constante (período 1), no qual a quantidade de água que migra do interior do grão para a periferia equivale à quantidade evaporada para o ar de secagem. Nessa fase, a taxa de remoção de água é constante por unidade de tempo e não ocorre elevação na temperatura da massa de

grãos, pois a energia térmica é consumida predominantemente na evaporação da água livre.

Posteriormente, a taxa de migração da água do interior para a periferia diminui (período 2), uma vez que a água remanescente está retida com maior energia, exigindo maior calor para sua remoção. Nessa etapa, a velocidade de secagem decresce, o que acarreta o aquecimento da massa de grãos, que tende a se aproximar da temperatura do ar de secagem (Portella; Eicherberger, 2001; Lima et al., 2016). Nesse momento, o monitoramento operacional torna-se essencial para evitar danos térmicos e a supersecagem, fatores que reduzem a qualidade física e fisiológica dos grãos.

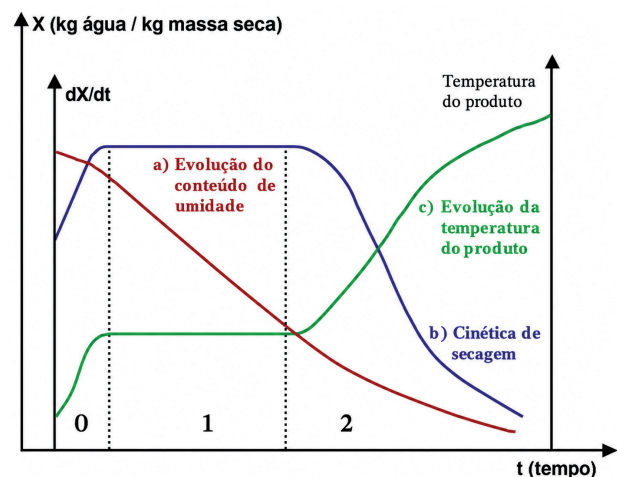


Figura 3. Gráfico típico de secagem. Fonte: adaptado de Park et al. (2001).

Sistemas de Secagem

A secagem de grãos pode ocorrer de forma natural ou artificial. A **secagem natural** processa-se na própria planta, ainda no campo, sob influência das condições ambientais — principalmente temperatura e umidade relativa do ar —, iniciando-se logo após a maturidade fisiológica até atingir o teor de água que proporciona a colheita mecanizada. Já a **secagem artificial** utiliza sistemas que modificam as propriedades psicrométricas do ar e forçam sua

movimentação através da massa de grãos, tornando o processo mais rápido e independente das variações climáticas.

Os sistemas de secagem artificial podem ser classificados de acordo com a movimentação dos grãos (estáticos ou contínuos), a temperatura do ar (natural ou aquecido), o sentido do fluxo de ar (concorrente, contracorrente ou fluxos cruzados) e o modo de operação do secador (intermitente ou contínuo) (Figura 4) (Portella; Eicherberger, 2001).

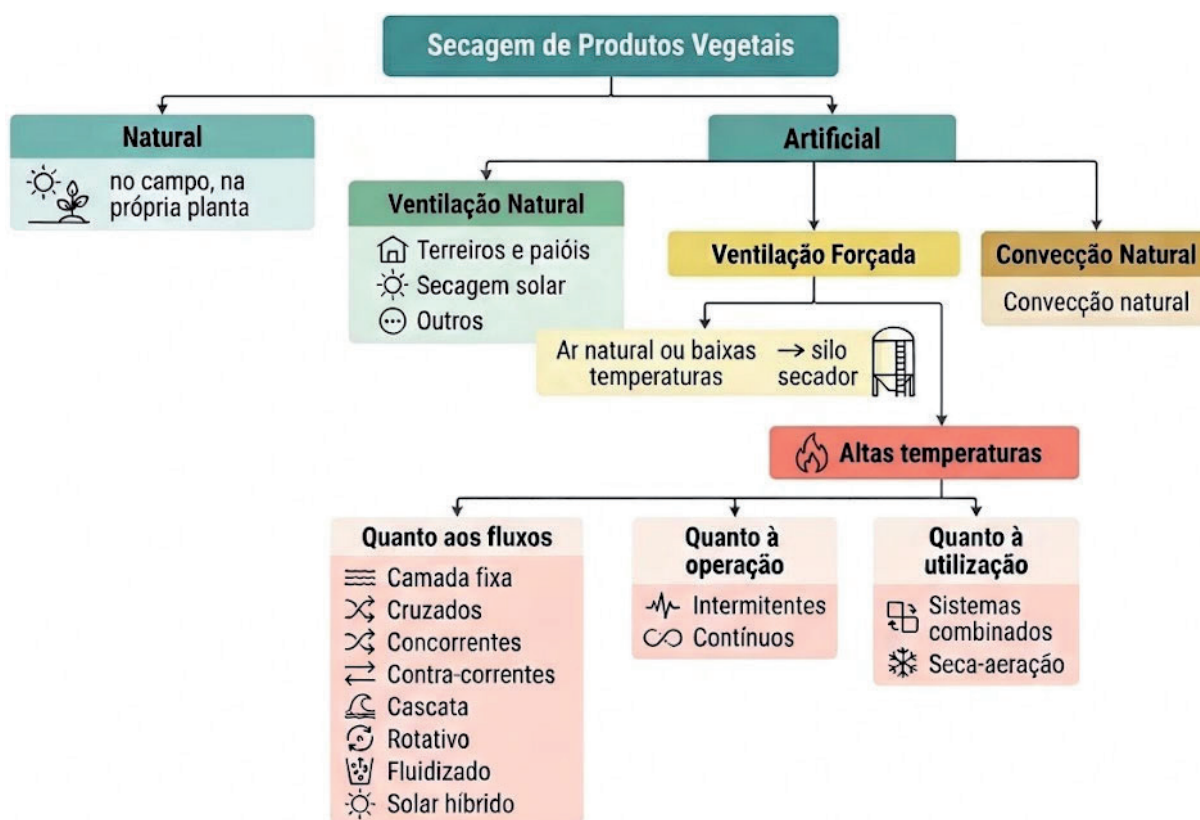


Figura 4. Esquema de classificação dos sistemas de secagem.

Fonte: adaptado de Silva (2008).

Quanto à movimentação do ar, os sistemas são classificados em **secagem com ventilação natural** ou **com ventilação forçada**. Na ventilação natural, o processo depende exclusivamente das propriedades psicrométricas do ar ambiente, como ocorre em terreiros ou paióis. Já na ventilação forçada (com ar natural ou aquecido), o ar é insuflado por meio de ventiladores, sendo o processo realizado em secadores industriais ou em silos-secadores.

A secagem em **silo-secador** é realizada com a massa de grãos em camada fixa e com a passagem forçada de ar pelo *plenum* em direção ao topo da coluna de grãos (Figura 5). A altura máxima recomendada é de 3 m para secagem em etapa única, podendo chegar a 6 m caso seja adotado o carregamento do silo em duas etapas. Recomenda-se um

fluxo de ar mínimo de $1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ (metro cúbico por minuto por tonelada de grão).

O processo de secagem em silo-secador promove a remoção gradual da água; à medida que o ar atravessa a massa, forma-se uma **frente de secagem** que se desloca em direção à saída do ar, delimitando zonas com diferentes teores de água. Por esse motivo, o monitoramento do avanço dessa frente é essencial para evitar gradientes excessivos de teor de água e riscos de deterioração nas camadas superiores, que são as últimas a secar (Figura 6) (Queiroz; Valente, 2018).

Foto: Maurício Albertoni Scariot.

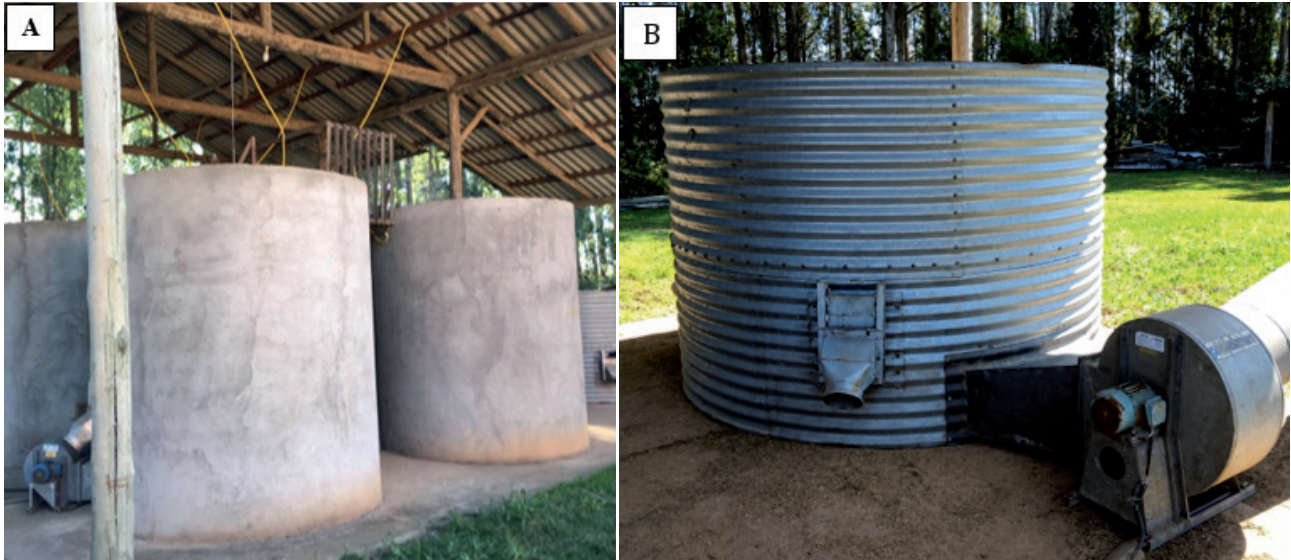


Figura 5. Silos-secadores de grãos confeccionados em concreto (A) e chapa metálica (B).

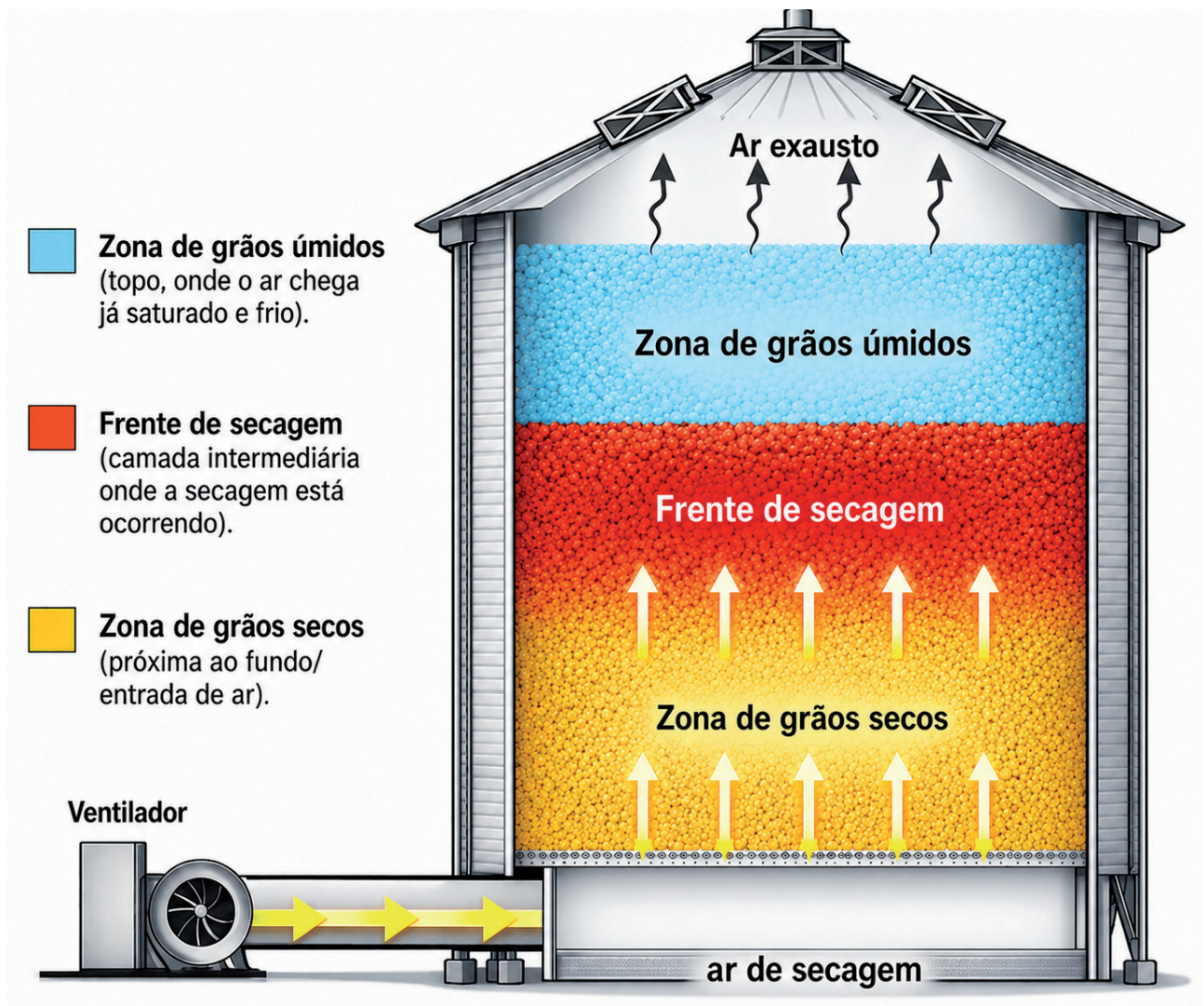


Figura 6. Ilustração da frente de secagem em um silo-secador.

Fonte: adaptado de Silva et al. (2025).

O silo-secador é uma alternativa estratégica para a secagem de soja, especialmente em pequenas propriedades, por permitir a integração entre a secagem e o armazenamento na mesma estrutura. Contudo, seu desempenho é dependente do teor de água inicial dos grãos, das propriedades psicrométricas do ar e do manejo operacional.

Quando os grãos apresentam teores de água superiores a 16%, o ventilador deve permanecer ligado ininterruptamente, independentemente das condições do ar ambiente, visando dissipar o calor gerado pela respiração e pela atividade metabólica. Para grãos com teores de água de até 16%, recomenda-se o acionamento do ventilador quando a umidade relativa (UR) do ar estiver entre 60% e 75%, o que possibilita a redução do teor de água sem riscos de supersecagem. Em regiões ou períodos de alta umidade relativa, o manejo deve ser restrito às horas do dia em que a UR esteja dentro dessa faixa (Queiroz; Valente, 2018).

O uso de aquecimento complementar (resistências elétricas, gás liquefeito de petróleo - GLP, energia solar ou fornalhas) pode ser adotado para reduzir a UR e aumentar o potencial de secagem. Entretanto, o aquecimento excessivo pode promover a supersecagem nas camadas inferiores, resultando em danos físicos e perda de qualidade (Silva, 2008). Assim, o aquecimento suplementar deve ser utilizado criteriosamente quando a UR ambiente estiver acima de 75%, visando apenas elevar o potencial de remoção de água.

Embora o silo-secador ofereça menor consumo energético e menor risco de danos térmicos em comparação a sistemas de alta temperatura, ele apresenta maior dependência climática, maior tempo de processamento e risco de desuniformidade se mal conduzido (Martins et al., 2018).

Nos sistemas de circulação forçada com ar aquecido, a secagem é classificada como de alta temperatura (ar acima de 10 °C sobre a temperatura ambiente) ou baixa temperatura (até 10 °C acima da temperatura ambiente). Quanto à configuração do fluxo de ar e do produto, os secadores apresentam diferentes tipos (Figura 7) (Portella; Eicherberger, 2001; Silva, 2008):

Camada Fixa: O produto permanece estático. É um sistema simples e de baixo custo, mas propenso a gradientes de teor de água ao longo da camada.

Fluxos Cruzados: O ar passa perpendicularmente ao movimento dos grãos. Possui alta capacidade, mas pode gerar desuniformidade e maior consumo energético.

Fluxo Concorrente: Ar e grãos movem-se no mesmo sentido, reduzindo riscos de danos térmicos.

Fluxo Contracorrente: Ar e produto deslocam-se em sentidos opostos. Apresenta elevada eficiência térmica, pois o ar mais quente contata o produto já mais seco. Por este motivo, neste sistema devem ser tomados cuidados especiais em relação à temperatura.

Fluxo Misto ou Cascata: Combina diferentes direções de fluxo, resultando em alta eficiência e capacidade, sendo o modelo mais difundido comercialmente.

Rotativos e Leito Fluidizado: Promovem alta mistura e uniformidade, mas o leito fluidizado possui aplicação limitada em larga escala devido ao alto consumo de energia e necessidade de ventiladores de alta potência.

Quanto à operação, os sistemas de secagem são classificados em **intermitentes** ou **contínuos** (Figura 8). Na **secagem intermitente**, o produto passa por sucessivos ciclos de secagem e de equalização (período de repouso). Esse processo favorece a migração da água do interior para a periferia dos grãos, minimizando as tensões internas e o risco de trincas; contudo, exige maior movimentação da massa, o que pode ocasionar danos mecânicos por impacto se o manejo for inadequado.

Na **secagem contínua**, os grãos entram úmidos e saem secos em uma única passagem, sendo submetidos inicialmente ao ar aquecido e, na sequência, ao ar ambiente para o resfriamento. Esse sistema eleva a capacidade operacional e reduz o tempo total de processamento, mas exige controle rigoroso da temperatura e do fluxo de ar para evitar danos associados a gradientes acentuados de teor de água e temperatura (Silva, 2008).

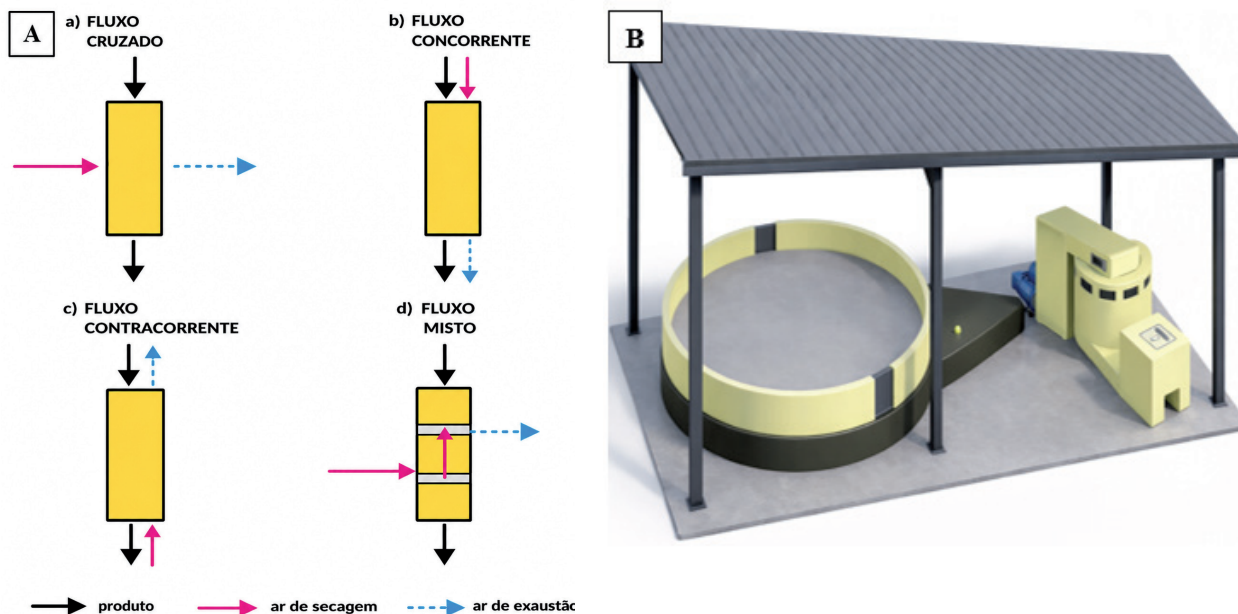


Figura 7. Esquema de secadores quanto ao fluxo de ar e produto (A) e secador em camada fixa (B).

Fonte: adaptado de Martins et al. (1999) e Silva (2008).

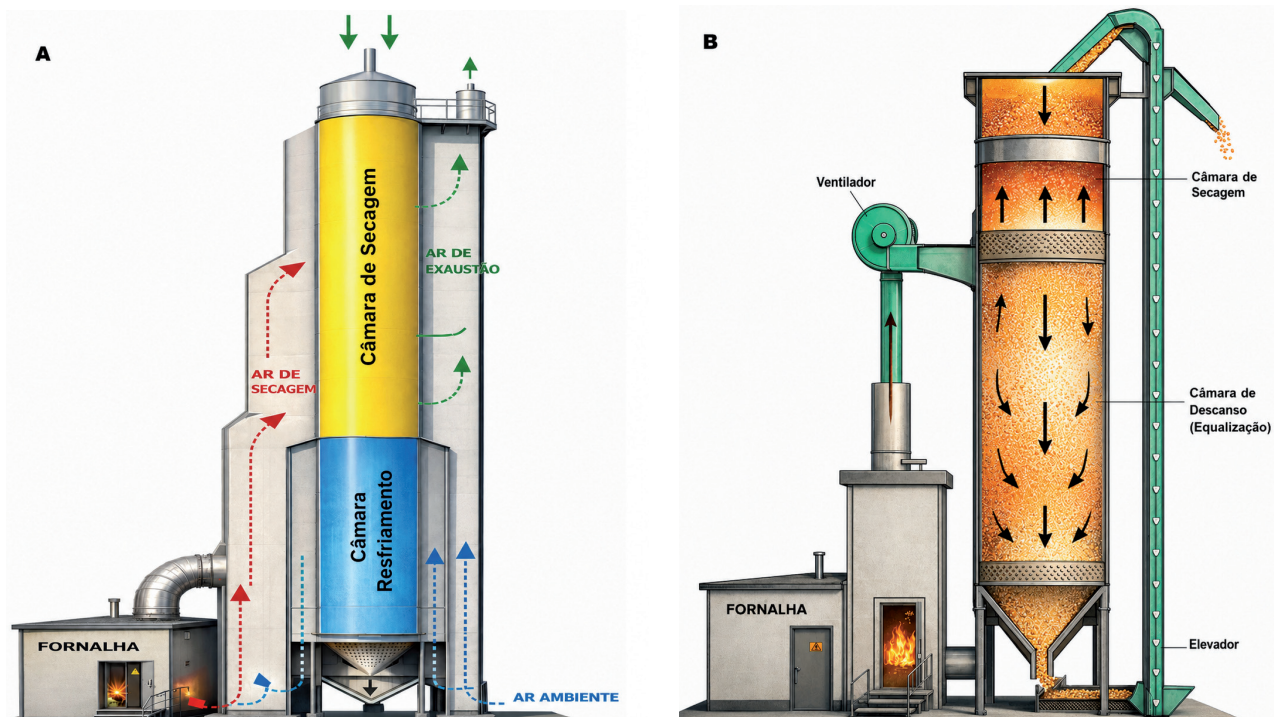


Figura 8. Modelos de secador contínuo (A) (adaptado de Armazenagem de Grãos, Agroindústria e Simulação, 2023) e intermitente (B) (adaptado de Coradi, (2020).

Outra alternativa é a **seca-aeração**, que combina a secagem em alta temperatura com o resfriamento lento por aeração em silos (Figura 9). Nesse sistema, os grãos são retirados do secador antes de atingirem o teor de água final de armazenamento — geralmente com 1 a 2 pontos percentuais acima do desejado (ex: retirados a 14% ou 15% para chegar aos 13%) — e transferidos ainda quentes para um silo de resfriamento.

O calor residual presente na massa de grãos promove a redistribuição da água do interior para a periferia do grão, permitindo a remoção complementar de água pela passagem do ar ambiente. Além de reduzir o consumo energético e aumentar a capacidade operacional do secador em até 30%, a seca-aeração minimiza a formação de gradientes de teor de água e reduz significativamente a incidência de trincas e quebras, preservando a qualidade física e fisiológica dos grãos (Silva, 2008).

PROCESSO DE SECA-AERAÇÃO

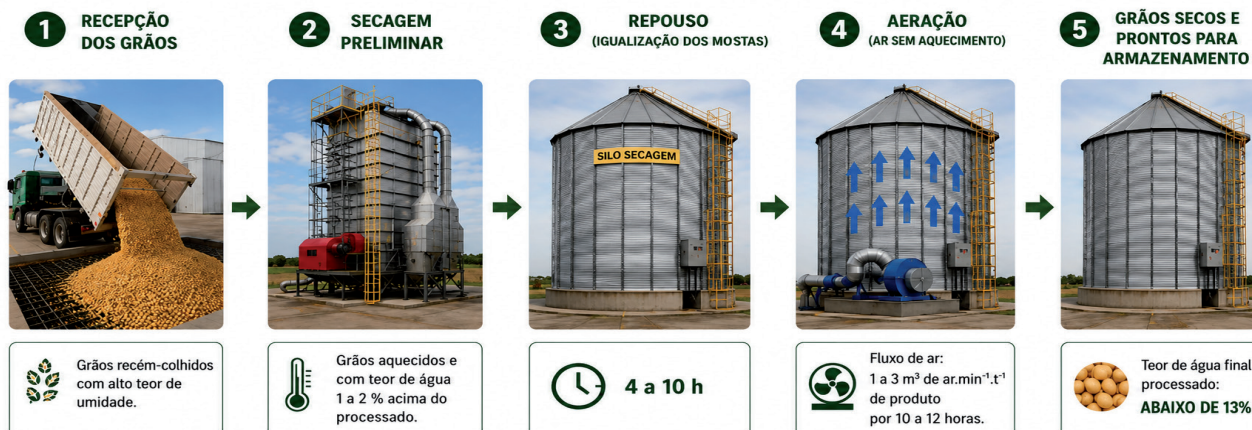


Figura 9. Fluxograma operacional do método da seca-aeração.

Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2021).

Temperatura de Secagem

A temperatura do ar de secagem é um dos principais fatores que determinam a velocidade do processo e a preservação da qualidade da soja. Na secagem industrial, utilizam-se, frequentemente, temperaturas do ar entre 80 °C e 90 °C. O aquecimento do ar reduz a sua umidade relativa e eleva a sua capacidade de absorção de vapor d'água, o que impulsiona a secagem. Portanto, o objetivo central da elevação da temperatura do ar é a redução da sua umidade relativa e o aumento do gradiente de pressão de vapor, e não o aquecimento excessivo da massa de grãos (Portella; Eicherberger, 2001; Silva, 2008).

No entanto, o uso de temperaturas elevadas deve ser monitorado com rigor, pois o aumento acentuado no gradiente de pressão de vapor entre o produto e o ar de secagem resulta em taxas de remoção de água muito elevadas. Essa aceleração pode provocar danos estruturais e redução do potencial de armazenamento (Bissaro et al., 2022; Privatti et al., 2022).

Como consequência do emprego de temperaturas excessivas, podem ocorrer danos imediatos (Figura 10), visíveis logo após a operação, e danos latentes, percebidos apenas durante ou após o período de armazenamento. Estudos demonstram que o uso de ar superaquecido na secagem de soja causa redução na qualidade física (trincas e quebras), tecnológica (rendimento de óleo e proteína) e nutricional, culminando na depreciação do valor comercial do produto (Botelho et al., 2015; Coradi et al., 2016; Baidhe et al., 2025; Silva et al., 2026).



Figura 10. Grãos de soja queimados (defeito grave) por falta de controle no processo de secagem.

Fonte: adaptado de Rasêra (2023).

Hartmann Filho et al. (2016) avaliaram os efeitos das temperaturas do ar de secagem (40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C e 80 °C) sobre a qualidade de grãos de soja colhidos com teor de água de 23%, tanto imediatamente após a secagem quanto após 180 dias de armazenamento. Os autores constataram que o incremento na temperatura do ar acima de 40 °C, associado ao prolongamento do armazenamento, reduziu os teores de proteína e óleo dos grãos. Além disso, observou-se a elevação da acidez do óleo e o aumento da perda de matéria seca (Figura 11).

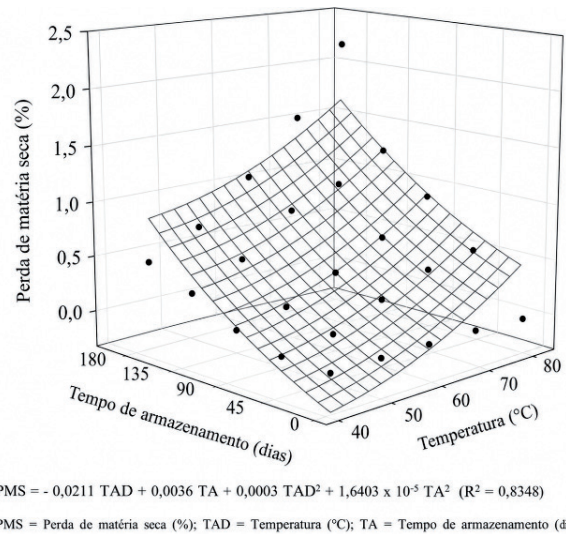
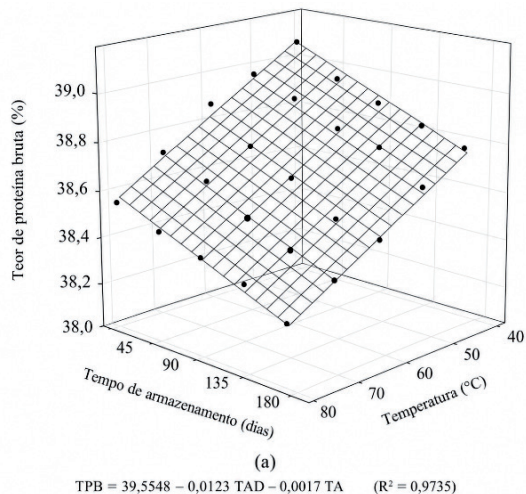


Figura 11. Teor de proteína e perda de matéria seca em grãos de soja submetidos a diferentes temperaturas de secagem e ao armazenamento por 180 dias.

Fonte: Hartmann Filho et al. (2016).

Além disso, quanto maior o teor de água inicial, menores devem ser as temperaturas de secagem empregadas. Baidhe et al. (2025) verificaram que a elevação da temperatura, combinada com o alto teor de água inicial da soja, resultou em maiores percentuais de grãos fissurados e quebrados. Portanto, para a secagem segura, recomenda-se que a **temperatura da massa de grãos** não ultrapasse os 40 °C (Hartmann Filho et al., 2016; Silva et al., 2026).

O aquecimento do ar de secagem exige fontes combustíveis. A mais utilizada no Brasil é a lenha, queimada em fornalhas onde o ar é aquecido por contato direto com os gases da combustão (fornalhas de fogo direto) e forçado através da massa de grãos (Resende et al., 2022). Outras opções incluem o GLP, carvão, resíduos culturais (ex: casca de arroz), eletricidade (resistências), energia solar e biogás. A escolha baseia-se nos custos operacionais e na disponibilidade regional.

Um fator determinante é o Poder Calorífico Inferior (PCI) dos combustíveis, que expressa a energia disponível para o aquecimento. Combustíveis com maior PCI, como o GLP (~11.100 kcal kg⁻¹), proporcionam maior eficiência térmica e controle preciso da temperatura, enquanto a lenha, com PCI inferior (1.800 a 3.900 kcal kg⁻¹ dependendo do teor de água), demanda maior volume de material para o mesmo desempenho (Lopes et al., 2008; Instituto Nacional de Tecnologia, 2025).

O uso de biomassa (lenha) em secadores de queima direta pode contaminar os grãos com resíduos de queima incompleta, conhecidos como Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs). Essas moléculas orgânicas, formadas por pirólise durante a combustão incompleta da matéria orgânica, são

amplamente distribuídas no ambiente (Garcia et al., 2014). Alguns desses compostos apresentam elevada toxicidade, com potencial carcinogênico e de bioacumulação em seres humanos.

Estudos já evidenciaram a presença de HPAs em grãos secos de arroz, milho e soja (Silva et al., 2020; Quequeto et al., 2022; Scariot et al., 2024). Vale ressaltar que, no Brasil, ainda não há legislação específica sobre os limites de HPAs para grãos, existindo normativas apenas para alimentos defumados, água e gelo (Branco et al., 2021). Para evitar essa contaminação, recomendam-se cuidados como o uso de trocadores de calor (queima indireta), o dimensionamento correto de fornalhas, o uso de fontes limpas (GLP, eletricidade ou solar) ou a secagem com ar natural.

Monitoramento do Processo de Secagem

O monitoramento da secagem é um elemento fundamental para garantir a eficiência operacional e a preservação da qualidade da soja. Durante o processo, variáveis como a temperatura do ar e da massa de grãos, o teor de água, a umidade relativa do ar ambiente e o fluxo de ar devem ser acompanhados de forma contínua e sistemática.

Essas variáveis determinam a taxa de remoção de água e influenciam diretamente o risco de danos térmicos, trincas físicas e perda de matéria seca (Figura 12) (Krumreich et al., 2024). O monitoramento rigoroso desses parâmetros permite realizar ajustes operacionais em tempo real, reduzindo a probabilidade de danos irreversíveis e otimizando o consumo de energia do sistema.

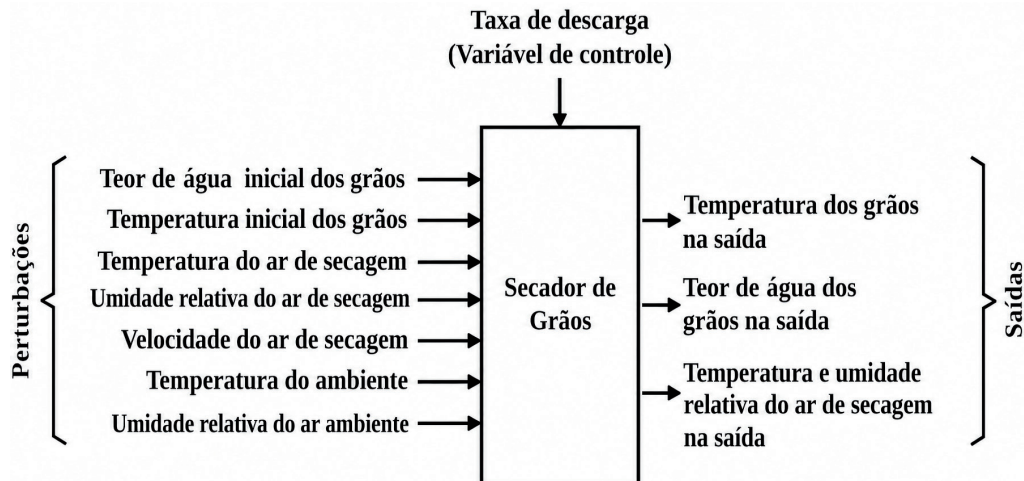


Figura 12. Variáveis envolvidas no processo de secagem de grãos.

Fonte: Krumreich et al. (2024).

Atualmente, o monitoramento evoluiu de medições pontuais para **sistemas automatizados e integrados**, que utilizam sensores de temperatura e de umidade relativa (Figura 13). Esses dispositivos, quando conectados a controladores lógicos, permitem ajustes em tempo real nas variáveis de secagem. A adoção dessas tecnologias contribui para a maior uniformidade do produto final, redução do consumo energético e aumento da confiabilidade operacional, especialmente em sistemas contínuos de grande escala.

Além do controle durante a operação, o monitoramento é fundamental em momentos críticos: no início da secagem, para evitar o **choque térmico** (que causa fissuras imediatas), e na fase final, para prevenir a **supersecagem** (que acarreta perda de peso comercial e danos físicos). O acompanhamento rigoroso desses parâmetros permite ajustes precisos no processo, reduzindo a probabilidade de danos irreversíveis à qualidade dos grãos.

Boas Práticas para Secagem Com Ar Natural e Baixas Temperaturas

Teor de água inicial: Utilizar este sistema preferencialmente para grãos com teor de água de até 18%. Teores superiores prolongam excessivamente o tempo de secagem, elevando o risco de deterioração e o consumo de energia.

Pré-limpeza obrigatória: Realizar a pré-limpeza dos grãos antes do enchimento do silo. A remoção de impurezas e materiais estranhos é crucial para manter a porosidade da massa e garantir a distribuição uniforme do fluxo de ar.

Fluxo de ar e monitoramento: Garantir fluxo de ar adequado, entre 1 e 3 m³ min⁻¹ t⁻¹. É fundamental monitorar o avanço da frente de secagem, acompanhando a redução do teor de água e a temperatura da massa ao longo da altura do silo.

Dimensionamento da camada: Evitar camadas de grãos excessivamente profundas. Grandes alturas aumentam a resistência à passagem do ar (pressão estática), dificultando a chegada da frente de secagem ao topo e reduzindo a eficiência do sistema.

Manejo conforme a Umidade Relativa (UR): Operar o sistema prioritariamente quando a UR do ar estiver entre 60% e 75%. No entanto, se os grãos apresentarem teor de água acima de 16%, manter a ventilação em operação contínua para dissipar o calor metabólico, independentemente das condições ambientais.

Termometria: Monitorar rigorosamente a temperatura da massa de grãos. Elevações térmicas localizadas (pontos de calor) são indicadores precoces de falhas na aeração, atividade fúngica ou início de deterioração.



Figura 13. Sistemas automatizados para monitoramento do processo de secagem de grãos.

Boas Práticas para Secagem Com Altas Temperaturas

Pré-limpeza rigorosa: Remover impurezas e materiais estranhos antes da entrada dos grãos no secador. Fragmentos vegetais e finos reduzem a porosidade da massa, dificultando a passagem uniforme do ar e comprometendo a remoção de água. Além disso, o acúmulo de resíduos no interior do secador eleva drasticamente o risco de combustão e incêndios.

Segregação por teor de água: Segregar os lotes conforme o teor de água inicial. Lotes com teor de água elevado (especialmente acima de 20%) devem ser submetidos a temperaturas moderadas para evitar fissuras e danos estruturais. Recomenda-se o uso de silos-pulmão com aeração para auxiliar na segregação e gerenciar o tempo de espera, evitando o **aquecimento espontâneo da massa**.

Controle térmico da massa e do ar: Na secagem industrial de soja, embora as temperaturas do ar variem entre 80 °C e 90 °C, é fundamental que a temperatura da massa de grãos não ultrapasse 40 °C. O ajuste da temperatura do ar deve ser dinâmico, considerando o teor de água inicial e o tipo de secador, para equilibrar a velocidade de secagem com a integridade física do produto.

Prevenção de taxas de secagem excessivas: Evitar a remoção ultrarrápida de água, que gera gradientes acentuados de teor de água entre o interior e a periferia do grão. Essas tensões estruturais resultam em microfissuras e maior suscetibilidade à quebra no transporte e beneficiamento. Para um armazenamento seguro e rentável, o teor de água final deve ser mantido entre 12% e 13%.

Monitoramento contínuo: Acompanhar ininterruptamente a temperatura do ar, a temperatura da massa de grãos e o teor de água na entrada e na saída do secador. Esse controle permite ajustes operacionais imediatos, reduzindo a probabilidade de danos irreversíveis à qualidade tecnológica e fisiológica da soja.

Considerações Finais

A secagem é uma etapa crítica na pós-colheita da soja, estando diretamente relacionada à preservação da integridade física e fisiológica dos grãos durante o armazenamento. O controle rigoroso das variáveis operacionais — como temperatura do ar, temperatura da massa de grãos, fluxo de ar e teor de água — é fundamental para mitigar danos térmicos e reduzir perdas quantitativas e qualitativas, garantindo a conservação do produto ao longo do tempo.

A escolha do sistema e da estratégia de secagem deve ser pautada pelo teor de água inicial dos grãos, pelas condições psicrométricas locais e pela capacidade operacional da unidade armazenadora. Complementarmente, o monitoramento contínuo do processo e a adoção de boas práticas operacionais são essenciais para assegurar a uniformidade da secagem, a eficiência energética do sistema e a segurança alimentar e técnica no armazenamento dos grãos.

Referências

ARMAZENAGEM DE GRÃOS, AGROINDÚSTRIA E SIMULAÇÃO. **Simulação de secagem em secadores de fluxos mistos – cavaletes**. Disponível em: <https://www.agais.com/toolbox/dryersim2023.php>. Acesso em: 10 maio 2026.

BAIDHE, E.; CLEMENTSON, C. L.; AJAYI-BANJI, I.; AKATUHURIRA, W.; MONONO, E.; HELLEVANG, K. Impact of drying conditions on soybean quality: mathematical model evaluation. **AgriEngineering**, v. 7, n. 9, art. 273, 2025. DOI: 10.3390/agriengineering7090273.

BALA, B. K. Principles of drying. In: BALA, B. K. (ed.). **Drying and Storage of Cereal Grains**. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2016. p. 1-3.

BISSARO, C. A.; MATIAS, G. de S.; DEFENDI, R. O.; JORGE, L. M. de M. Modeling the drying kinetics of soybeans under intermittent operation in thin layer. **Food and Bioproducts Processing**, v. 136, p. 226-235, 2022. DOI: 10.1016/j.fbp.2022.10.006.

BOTELHO, F. M.; GRANELLA, S. J.; BOTELHO, S. de C. C.; GARCIA, T. R. B. Influência da temperatura de secagem sobre as propriedades físicas dos grãos de soja. **Engenharia na Agricultura**, v. 23, n. 3, p. 212-219, 2015.

BRANCO, T. M.; SOUZA, S. N. M. de; KOLLING, E. M.; SIQUEIRA, J. A. C.; TOKURA, L. K. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PHAs) in maize grains subjected to drying with a cavaco burner. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, e465101321564, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i13.21564.

CORADI, P. C. Como armazenar corretamente. **Cultivar Máquinas**, n. 153, 2020. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/como-armazenar-corretamente>. Acesso em: 11 maio 2026.

CORADI, P. C.; FERNANDES, C. H. P.; HELMICH, J. C.; GONELI, A. L. D. Effects of drying air temperature and grain initial moisture content on soybean quality (*Glycine max* (L.) Merrill). **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 5, p. 866-876, 2016. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n5p866-876/2016.

GARCIA, L. P.; GONÇALVES, B. L.; PANHO, C.; SCUSSEL, V. M. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em alimentos: uma revisão. **Pubvet**, v. 8, n. 19, p. 1-47, 2014. DOI: 10.22256/pubvet.v8n19.1788.

HARTMANN FILHO, C. P.; GONELI, A. L. D.; MASETTO, T. E.; MARTINS, E. A. S.; OBA, G. C.; SIQUEIRA, V. C. Quality of second season soybean submitted to drying and storage. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 3, p. 267-275, 2016. DOI: 10.1590/1983-40632016v46i38505.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA (Brasil). **Coleção boas práticas e tecnologias na produção de gesso**. Rio de Janeiro: INT, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/int/pt-br/central-de-conteudos/apl-gesso/arquivos/colecao-boas-praticas-e-tecnologias-na-producao-de-gesso-out-2025.pdf/@@display-file/file>. Acesso em: 10 maio 2026.

KRUMREICH, C. R.; SCHARLAU, C. C.; CASTELAN, E. B. Monitoramento e controle para secagem e armazenamento de grãos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA 2024, 25., 2024, Belo Horizonte. **Anais ...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Automática, 2024. DOI: 10.20906/CBA2024/4329. Disponível em: https://www.sba.org.br/cba2024/papers/paper_2384.pdf. Acesso em: 19 maio 2026.

KRZYZANOWSKI, F. C.; OLIVEIRA, M. A. de; LORINI, I.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, F. A. **Armazenamento do grão de soja com qualidade**: princípios importantes a serem observados. Londrina: Embrapa Soja, 2023. 24 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 196).

LIMA, A. G. B.; DELGADO, J. M. P. Q.; NETO, S. R. F.; FRANCO, C. M. R. Intermittent drying: fundamentals, modeling and applications. In: DELGADO J.; BARBOSA, A. L. (ed.). **Drying and Energy Technologies**. Cham: Springer, 2016. p. 19-41.

LOPES, R. P.; SILVA, J. S.; MAGALHÃES, E. A.; SILVA, J. N. Energia no pré-processamento de produtos agrícolas. In: SILVA, J. S. (ed.). **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008, p. 199-227.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 659 p.

MARTINS, R. R.; FRANCO, J. B. da R.; OLIVEIRA, P. A. V. de. **Tecnologia de secagem de grãos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 90 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 8).

MARTINS, R. R.; FRANCO, J. B. da R.; OLIVEIRA, P. A. V. de; ANGONESE, C. Secagem de grãos para propriedade familiar. In: LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M.; FARONI, L. R. da. (ed.). **Armazenagem de grãos**. Jundiaí: IBG, 2018. p. 185-229.

NASCIMENTO, M. R.; SANTOS, P. R. dos; SOUZA, A. G. de; SANTOS, P. A. P. dos; SOBRAL, S. D. C.; COSTA, G. G.; CORRÊA, J. M.; ALBUQUERQUE, J. H. A. de. Emprego da seca-aeração para soja armazenada a granel na região Centro-Oeste do Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 7, p. 71458-71474, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n7-360.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra Bartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PORTELLA, J. A.; EICHELBERGER, L. **Secagem de grãos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 193 p.

PRIVATTI, R. T.; CAPELLINI, M. C.; THOMAZINI, M.; FAVARO-TRINDADE, C. S.; RODRIGUES, C. E. C. Profile and content of isoflavones on flaked and extruded soybeans and okara submitted to different drying methods. **Food Chemistry**, v. 380, 132168, 2022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132168.

QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M. Secagem de grãos para unidades armazenadoras. In: LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M.; FARONI, L. R. da. (ed.). **Armazenagem de grãos**. Jundiaí: IBG, 2018. p. 231-278.

QUEQUETO, W. D.; RESENDE, O.; TFOUNI, S. A. V.; GOMES, F. M. L.; BORGES, A. X.; SANTOS, M. R. B.; ROSA, E. S. Drying of soybean grains in a direct combustion furnace using wood chips: performance, quality and polycyclic aromatic hydrocarbons. **Drying Technology**, Philadelphia, v. 40, n. 10, p. 2164-2174, 2022. DOI: 10.1080/07373937.2021.1929293.

RASÊRA, I. T. **Classificação de grãos – soja**. Curitiba: SENAR-PR, 2023. Disponível em: https://www.sistemafeap.org.br/wp-content/uploads/2024/01/PR.0230-Classificacao-Soja_web.pdf. Acesso em: 19 maio 2026.

RESENDE, O.; COSTA, E. R.; QUEQUETO, W. D.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, D. E. C. de; TFOUNI, A. V.; GOMES, F. M. L.; QUIRINO, J. R.; LIMA, R. R. de. Quality of corn grains subjected to drying using direct-fired furnace fed with eucalyptus chips and firewood. **Food Science and Technology**, v. 42, 55820, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.55820>.

SCARIOT, M. A.; RADÜNZ, L. L.; MORELATO, R. R.; CABRERA, L. da C.; DUGATTO, J. S.; DIONELLO, R. G.; RADÜNZ, A. L. Contamination and persistence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in rice grains after drying in direct-fired dryer. **Food Science and Biotechnology**, v. 33, n. 7, p. 1593-1602, 2024. DOI: 10.1007/s10068-023-01456-1.

SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. 560 p.

SILVA, L. F.; FRANCO, J. R.; LIMA, C. F.; MALTEZ, M. A. P. F.; BICALHO, S. F.; VIEIRA, A. F.; SOUZA, C. M. A.; REIS, M. M.; MINETTE, L. J.; SCHETTINO, S. Secagem de grãos e a eficiência energética: métodos, tecnologias e tendências. In: OLIVEIRA, V. C. de; SILVA, L. F. da; VIEIRA, A. (org.). **Sustentabilidade e inovação nas Ciências Agrárias**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2025. cap. 13, p. 167-183. DOI: 10.22533/at.ed.265252603.

SILVA, P. da S.; MUBAI, N. H.; NDI, P. A. N.; GOVEIA, J. V.; MONTE, M. de O.; COLUSSI, R.; VANIER, N. L.; ELIAS, M. C. Effects of drying temperature and moisture content of soybeans grains during storage on quality assessment parameters. **Journal of Stored Products Research**, v. 115, art. 102871, 2026. DOI: 10.1016/j.jspr.2025.102871.

SILVA, R. M. P.; RESENDE, O.; BESSA, J. F. V.; GOMES, F. M. L.; TFOUNI, S. A. V.; ALMEIDA, A. B. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soybean grains. **Heliyon**, v. 6, n. 12, e05533, 2020. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05533.

Embrapa Soja
Rod. Carlos João Strass, s/n, Acesso Orlando Amaral, Distrito da Warta
CEP 86065-981 | Caixa Postal 4006 | Londrina, PR
Fone: (43) 3371 6000
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente: *Roberta Aparecida Carnevalli*

Secretário-executivo: *Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Membros: *Adonis Moreira, Clara Beatriz Hoffmann-Campo, Claudine Dinali Santos Seixas, Claudio Guilherme Portela de Carvalho, Fernando Augusto Henning, Leandro Eugênio Cardamone Diniz, Liliane Márcia Mertz-Henning, Maria Cristina Neves de Oliveira*

Circular Técnica 224

ISSN 2176-2864 | Junho, 2026

Edição executiva: *Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol*

Revisão de texto: *Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Normalização: *Valéria de Fátima Cardoso*
(CRB-9/1188)

Projeto gráfico: *Leandro Sousa Fazio*

Diagramação: *Marisa Yuri Horikawa*

Publicação digital: PDF



Ministério da
Agricultura e Pecuária

Todos os direitos reservados à Embrapa.