

Efeito da secagem contínua e intermitente sobre a integridade dos grãos de milho (*Zea mays* L.)

Geraldo Acácio Mabasso¹, Osvaldo Resende¹, Valdiney Cambuy Siqueira², Wellytton Darci Quequeto¹, Vanderleia Schoeninger²

RESUMO

A secagem constitui uma etapa fundamental dentro dos processos pós-colheita como forma de conservação do produto e preservação da qualidade. No entanto, cuidados devem ser tomados para que seja preservada a qualidade do produto. Neste contexto, objetivou-se avaliar o efeito da secagem contínua e intermitente com diferentes tempos de repouso, sobre a integridade dos grãos de milho armazenados por meio da condutividade elétrica e microscopia eletrônica de varredura. Os grãos foram colhidos com teor de água de 25,37% e submetidos a secagem na temperatura de 100 °C e fluxo do ar de 1,5 m³ min⁻¹ m⁻². A secagem foi conduzida com cinco tempos de repouso (0, 4, 8, 12 e 16 h) e decorreu até que os grãos atingissem 14±0,3% b.u. de teor de água final. Após a secagem os grãos foram armazenados e as avaliações realizadas aos 0, 90, 180 e 270 dias. A técnica do repouso influenciou positivamente com a redução do nível de danificação dos grãos, a integridade do grão se mantém melhor quando o produto é seco com maior tempo de repouso e armazenado por curtos períodos; o armazenamento diminui o efeito positivo da secagem intermitente na melhor disposição, tamanho e aglomeração dos grânulos de amido.

Palavras-chave: Taxa de secagem, Microscopia eletrônica de varredura, Condutividade elétrica, *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

O milho é um dos cereais mais produzidos em todo mundo e constitui uma das principais fontes de nutrientes em países desenvolvidos, representando cerca de 85% de uso para a produção da pecuária (GARCIA-LARA; SERNA-SALDIVAR, 2019). Após a colheita, os grãos podem apresentar elevado teor de água, com isso estão sujeitos a processos que podem levar a sua rápida deterioração. A remoção do excesso de água e sua manutenção representa um dos fatores preponderantes na conservação de grãos

¹Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, km 1, Zona Rural – Rio Verde, GO, CEP: 75.901-970. E-mails: geral.do@hotmail.com; osvresende@yahoo.com.br; wellytton_quequeto@hotmail.com.

²Universidade Federal da Grande Dourados, Unidade 2 - Rodovia Dourados, Itahum, km 12 - Cidade Universitária, Dourados-MS, Brasil, 79.804-970. E-mails: valdineysiqueira@ufgd.edu.br; vschoeninger@ufgd.edu.br.

(SHIRMOHAMMADI et al., 2018). A secagem intermitente tem sido utilizada para minimizar possíveis danos como fissuras e quebras na superfície de grãos em produtos como arroz, trigo, soja, café e milho (RUFINO-FRANCO; LIMA, 2016). A redução dos danos é decorrente da redistribuição da água em toda superfície do grão durante o repouso, reduzindo assim o gradiente hídrico gerado durante o processo de dessorção (ALLAF et al., 2014; ZHANG; LITCHFIELD, 1991). A alteração da qualidade de produtos agrícolas durante o processo de secagem é inevitável (KUMAR et al., 2014). A microscopia eletrônica de varredura (MEV) tem sido usada para observar ou avaliar a conformidade da membrana celular em vários estudos, como no café (BORÉM et al., 2013) e nos últimos anos para estudar o efeito de processos pós-colheita, entre eles a secagem. A condutividade elétrica também tem sido adotada como mecanismo de avaliação da integridade das membranas (CORADI et al., 2016). A intermitência além de contribuir para a manutenção da qualidade do produto, melhora a eficiência energética (ALLAF et al., 2014; KUMAR et al., 2014; LIMA et al., 2016; MABASSO et al., 2021). Assim, com o presente trabalho objetivou-se avaliar o efeito da secagem intermitente com diferentes tempos de repouso ao longo do armazenamento por meio da integridade das membranas celulares e microscopia eletrônica de varredura.

MATERIAL E MÉTODOS

Os grãos de milho da cultivar *Cargo TL* foram colhidos e debulhados manualmente com teor de água inicial de $25,37 \pm 0,1\%$ em base úmida (b.u.). O teor de água foi determinado pelo método gravimétrico em estufa de circulação forçada, seguindo as normas da ASAE, utilizando três amostras de 15 g, submetidas a uma temperatura de 103 ± 1 °C por um período de 72 horas (ASAE, 1998). Os grãos foram submetidos a secagem em secador experimental de camada fixa na temperatura de 100 °C e fluxo do ar de secagem de $1,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$. O experimento foi conduzido em um esquema fatorial 5×4 , correspondendo a cinco tempos de repouso: 0, 4, 8, 12 e 16 h, sendo que, zero corresponde a secagem contínua e os demais a secagem intermitente; e quatro períodos de armazenamento: 0, 90, 180 e 270 dias e quatro repetições. Em cada ciclo de secagem foi usado um volume de grãos de $0,035 \text{ m}^3$, em uma câmara de secagem com $0,283 \text{ m}^2$ de área da base totalmente perfurada e $0,124 \text{ m}$ de altura da camada de grãos. A secagem foi finalizada com teor de água de $14 \pm 0,3\%$ (b.u.). Para a secagem intermitente, o processo foi interrompido com teor de água de $18 \pm 0,2\%$ (b.u.) e retomado após o repouso até atingir teor de água de final. O repouso foi realizado em caixas de poliestireno expandido ($0,510 \text{ m}$; $0,300 \text{ m}$ e $0,160 \text{ m}$), reduzindo seu volume para $24,48 \text{ L}$ ($24,48 \times 10^{-3} \text{ m}^3$). A taxa de secagem foi determinada considerando o teor de água inicial e final nos diversos intervalos ao longo da secagem. A condutividade elétrica foi determinada usando o método de massa. Utilizaram-se quatro amostras de 50 grãos em quatro repetições para cada tratamento, suas massas foram determinadas com auxílio de uma balança digital com resolução de $0,01 \text{ g}$. A massa de grãos, o volume de água, as condições de tempo e temperatura e o protocolo de execução

da metodologia seguiram as recomendações de Vieira e Krzyzanowski (1999). A avaliação de imagens por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi feita logo após a secagem e aos 270 dias de armazenamento. Os grãos de milho foram moídos em moinho de facas e as observações foram realizadas em microscópio eletrônico de varredura da marca Hitachi, modelo 3000, na ampliação de 1200X. Os dados foram analisados por meio da análise de regressão linear em nível de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tempo efetivo de secagem dos grãos de milho reduziu quando se utilizou-se a secagem intermitente. Esta redução foi mais acentuada nos dois maiores períodos de repouso, embora os valores da taxa de secagem média para os tempos de repouso de 8, 12 e 16 horas (h) sejam semelhantes. O mesmo aconteceu para a secagem contínua e secagem intermitente com 4 h de tempo de repouso, que apresentaram taxas médias de secagem próximas. No entanto, a diferença de $0,005 \text{ kg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ foi suficiente para contribuir com a redução no tempo de secagem em 0,17 h (Tabela 1).

Tabela 1. Tempo efetivo de secagem e taxa média de secagem ($\text{kg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) dos grãos de milho em função da secagem contínua e intermitente com diferentes tempos de repouso

Secagem	Tempo efetivo de secagem (h)	Taxa média de secagem ($\text{kg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)
Contínua	2,17	0,081
Repouso 4 h	2,00	0,086
Repouso 8 h	2,00	0,104
Repouso 12 h	1,67	0,105
Repouso 16 h	1,67	0,104

Segundo Zhang e Litchfield (1991) o tempo efetivo de secagem e a taxa de secagem é função da temperatura, ciclos e tempo de repouso. Mesmo com único ciclo de repouso, é suficiente para promover redução do tempo efetivo de secagem comparativamente a secagem contínua, como consequência da maior taxa de redução de água (Tabela 1), favorecida pelo aumento da difusão da água do centro para superfície do produto, de forma a promover uniformidade na redistribuição da água e temperatura da massa intergranular (ALLAF et al., 2014; LIMA et al., 2016).

A condutividade elétrica dos grãos de milho aumentou com o tempo de armazenamento e foi menor com o aumento do tempo de repouso (Figura 1).

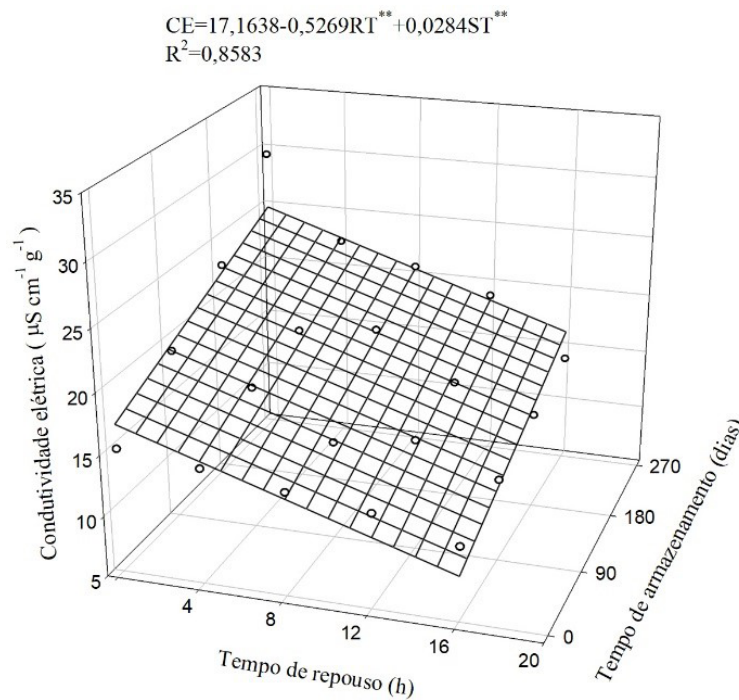


Figura 1. Condutividade elétrica dos grãos de milho armazenados após a secagem contínua e intermitente. ** Significativo a 1%

Ambos comportamentos são esperados pois a secagem intermitente contribui com a manutenção da integridade das membranas celulares (SHIRMOHAMMADI et al., 2018), enquanto o tempo de armazenamento é prejudicial (CORADI et al., 2016). No entanto, a taxa de variação da condutividade elétrica foi maior para o tempo de repouso (0,53), que para o de armazenamento (0,03), demonstrando a importância da utilização da técnica da secagem intermitente para manutenção da qualidade do produto, independentemente do período ao qual será armazenado. Resultados similares também foram obtidos por Coradi et al. (2016) avaliando o efeito de diferentes condições de armazenamento, em que constatou uma maior degradação e desorganização das membranas durante o armazenamento em resultado de um aumento nos valores médios de condutividade elétrica dos grãos.

Na Figura 2 podem ser observadas estruturas aglomeradas com diferentes formas e disposição. Estas partículas constituem os grânulos de amido e as superfícies enegrecidas correspondem a eventuais danos ou fissuras. Logo após a secagem observa-se uma tendência em relação a conformidade da distribuição das partículas de amido, maior dispersão e espaços enegrecidos na secagem contínua (Figura 2 A).

Em relação a secagem intermitente, as partículas se apresentaram mais aglomeradas, conseqüentemente menos dispersas e com menores espaços enegrecidos entre as partículas ou aglomerados (Figura 2 B-E).

Em termos comparativos, a conformidade das partículas aos 270 dias de armazenamento não apresenta uma tendência clara quanto a distribuição (Figura 2 F-J). As mesmas apresentaram-se mais dispersas que no momento logo após a secagem. A MEV tem sido usada para avaliar efeitos de secagem em produtos agrícolas como café (BORÉM et al., 2013), indicando alterações na estrutura da membrana celular, com falhas ou existência de espaços vazios intracelulares em resultado da ação dos diferentes métodos de secagem, e também em avaliações da qualidade de milho e trigo (CHAKRABORTY et al., 2020). Segundo Allaf et al. (2014) a secagem contínua resulta no aumento da temperatura da massa intergranular, não compensada pela quantidade de água removida, gerando assim um potencial para ocorrência de maiores danos no produto final, fato que pode ser associado a presença de maiores espaços vazios entre as partículas, bem como redução de tamanho e maior dispersão (Figura 2 A e F).

A secagem intermitente contribui para a preservação da qualidade final do produto e o desempenho do processo de secagem, menor consumo específico de energia e maior eficiência energética (ALLAF et al., 2014; KUMAR et al., 2014; MABASSO et al., 2021). Durante o processo de secagem o grão tende a contrair-se, reduzindo o seu tamanho, em resposta ao volume de água perdida por evaporação. Desta forma, com o aquecimento do grão, a pressão interna tende a aumentar de forma significativa com tendência de expansão do centro para periferia devido ao movimento de difusão da água. Com a limitação de expansão, baixa capacidade elástica é comum a ocorrência de trincas e fissuras. Com a secagem intermitente, a ocorrência dos danos é menor, contribuindo de forma significativa para a melhor qualidade do grão e vigor em caso de sementes (LIMA et al., 2016). No entanto, embora os efeitos da secagem intermitente sejam notáveis logo após a secagem, não é possível observar reflexo deste processo ao final de 270 dias de armazenamento.

CONCLUSÕES

A integridade do grão se mantém melhor quando o produto é seco com maior tempo de repouso e armazenado por curtos períodos.

A condição de secagem intermitente com 16 h de repouso preservou melhor integridade do grão de milho no início do armazenamento.

O armazenamento diminui o efeito positivo da secagem intermitente na melhor disposição, tamanho e aglomeração dos grânulos de amido.

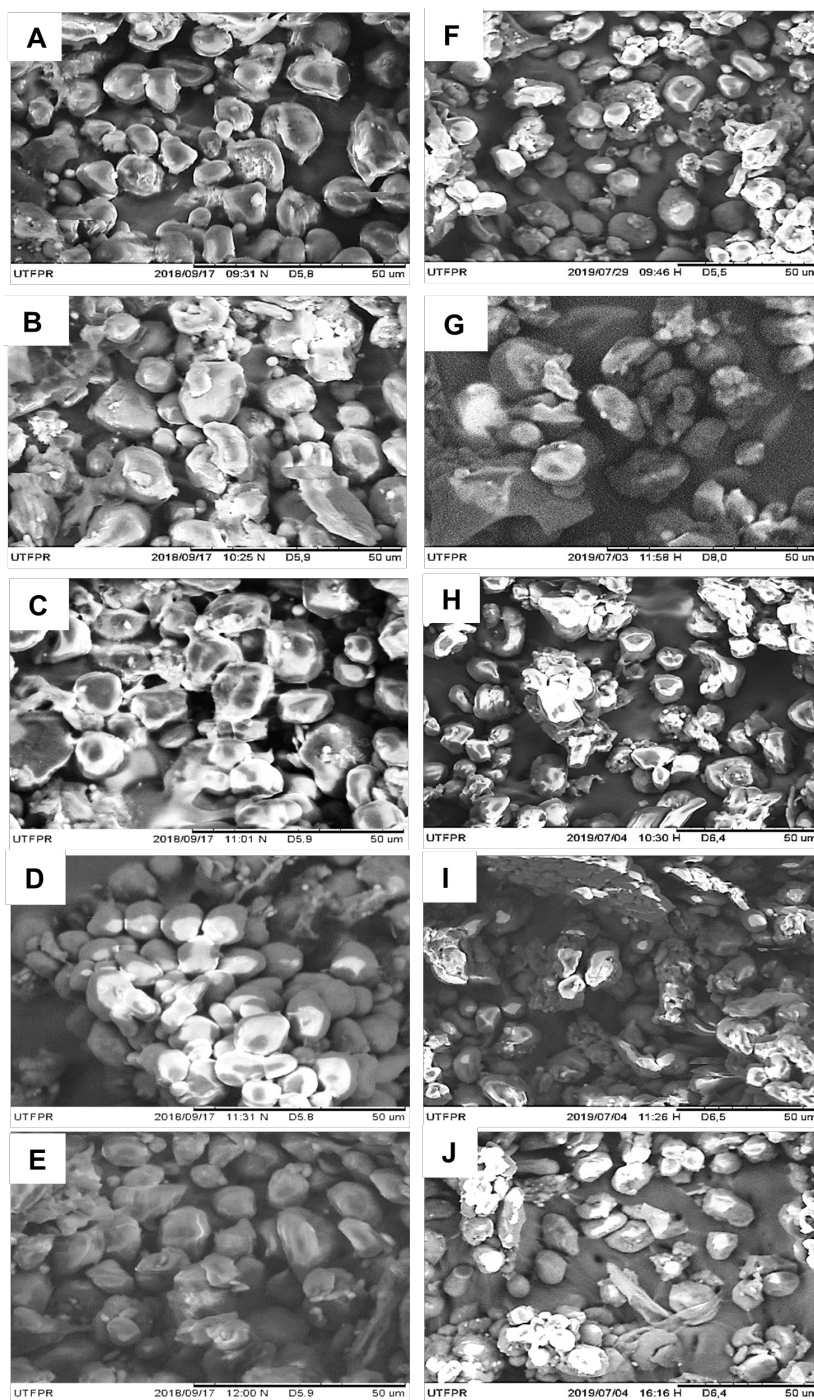


Figura 2. Imagens de MEV da farinha de milho após a secagem contínua e intermitente e aos 270 dias de armazenamento, na resolução de 1200X (50 µm, reduzida). A, B, C, D e E - Secagem contínua e intermitente com 4, 8, 12 e 16 h de repouso logo após a secagem. F, G, H, I e J - Secagem contínua e intermitente com 4, 8, 12 e 16 horas de repouso aos 270 dias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLAF, K.; MOUNIR, S.; NEGM, M. Intermittent drying. *In: MUJUMDAR, A. S. Handbook of Industrial Drying*, 4th ed. Crc Press, 2014. Cap. 22. p. 491-501.
- ASAE. American society of agricultural engineers (ed). **Moisture measurement grains and seeds**. ASAE, 1998. 2 p.
- BORÉM, F. M.; OLIVEIRA, P. D. De; ISQUIERDO, E. P.; GIOMO, G. Da S.; SAATH, R.; CARDOSO, R. A. Scanning electron microscopy of coffee beans subject to different forms processing and drying. **Coffee Science**, v. 8, n. 2, p. 218-225, 2013.
- CHAKRABORTY, I.; PALLEEN, S.; SHETTY, Y.; ROY, N.; MAZUMDER, N. Advanced microscopy techniques for revealing molecular structure of starch granules. **Biophysical Reviews**. v. 12, p. 105-122, 2020.
- GARCIA-LARA, S.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Corn history and culture. *In: SERNA-SALDIVAR, S. O. (Eds.). Corn*. AACC International Press, p. 1-18.
- KUMAR, C.; KARIM, M. A.; JOARDDER, M. U. H. Intermittent drying of food products: a critical review. **Journal of Food Engineering**, v. 121, p. 48-57, 2014.
- LIMA, A. G. B.; SILVA, J. V.; PEREIRA, E. M. A.; SANTOS, I. B.; LIMA, W. M. P. B. Drying of bioproducts: Quality and energy aspects. *In: DELGADO, J. M. P. Q.; LIMA, A. G. B. (Ed.). Drying and energy technologies*. Springer International Publishing Switzerland, 2016. Cap. 1. p. 1-17.
- MABASSO, G. A.; SIQUEIRA, V. C.; QUEQUETO, W. D.; JORDAN, R. A.; MARTINS, E. A. S.; SCHOENINGER, V. Energy efficiency and physical integrity of maize grains subjected to continuous and intermittent drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 25, p. 710-716, 2021.
- RUFINO-FRANCO, C. M.; LIMA, A. G. B. Intermittent Drying of Porous Materials: A Review. **Diffusion Foundations**. v. 7, p. 1-13, 2016.
- SHIRMOHAMMADI, M.; CHARRAULT, E.; BLENCOWE, A. Micromechanical properties of almond kernels with various moisture content levels. **International Journal of Food Properties**. v. 21, p. 1820-1832, 2018.
- VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. *In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (eds). Vigor de sementes: conceitos e testes*. ABRATES, 1999. cap.4. p. 1-26.
- ZHANG, Q.; LITCHFIELD, J. B. An optimization of intermittent corn drying in a laboratory scale thin layer dryer. **Drying Technology**, v. 9, n. 1, p. 233-244, 1991.