

Influência da umidade de colheita e do manejo da massa de grãos na secagem em silo-secador sobre a qualidade dos grãos de soja

Maria Antônia Fagundes de Leon¹; Guilherme Amaral¹; Lázaro da Costa Corrêa Cañizares¹; Brenda Dannenberg Kaster¹; Silvia Naiane Jappe¹; Silvia Rivero Meza¹; Maurício de Oliveira¹

RESUMO

A secagem em silo-secador é uma alternativa visando a redução de custos operacionais e a ampliação da capacidade de recebimento de grãos. No entanto, essa abordagem demanda cuidados especiais devido aos longos tempos de secagem e à sensibilidade da soja à degradação devido ao alto teor de lipídeos. Este estudo buscou avaliar como diferentes métodos de manejo da massa de grãos (sem manejo, nivelado, transilado/nivelado) e umidades de colheita (14,0%-16,0% e 16,1%-18,0%) afetam parâmetros operacionais, composição química, coloração e propriedades do óleo durante a secagem em silo-secador em escala industrial. Os resultados indicaram que o manejo de transilado/nivelado reduz custos operacionais ao melhorar a uniformidade do fluxo e diminuir o tempo de secagem. O teor de lipídeos diminuiu e a acidez aumentou durante a secagem, independentemente do método de manejo. Menores mudanças foram observadas nos grãos colhidos com umidade de 14-16% e submetidos ao manejo de transilado/nivelado. Produtos de oxidação do óleo, acidez da farinha e variações na coloração foram mais proeminentes nos grãos secos sem manejo. O estudo sugere a abordagem de transilagem/nivelamento da massa de grãos e a colheita com umidade máxima de 16% como ideal para reduzir custos operacionais e preservar a qualidade da soja durante a secagem em silo-secador.

Palavras-chave: Secagem estacionária; Custo operacional; Composição química; Qualidade dos grãos;

¹ Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos (LABGRÃOS), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) assume um papel proeminente entre os principais cultivos agrícolas, tanto nacional quanto globalmente. Ela destaca-se em um mercado internacional em crescimento constante. O Brasil é líder na produção global de soja, colhendo impressionantes 120,9 milhões de toneladas (aumento de 5,1% em relação ao ciclo anterior, segundo a CONAB, 2020), de um total mundial de 362,8 milhões de toneladas na safra 2019/2020, conforme dados do WASDE, 2020. O Rio Grande do Sul também se destaca como o quarto maior produtor do país, contribuindo com 10,7 milhões de toneladas, conforme a EMATER em 2020. A relevância da soja é notável, uma vez que cerca de 60% dos produtos industrializados globalmente contêm soja ou seus derivados, de acordo com Liu et al. (2008).

A soja é constituída principalmente por componentes proteicos (38%) e lipídicos (20%), como indicado por estudos anteriores (FARHOOSH et al., 2009; FERREIRA, OLIVEIRA & ZIEGLER, 2020). Essa composição dá origem a um processo de extração de óleo comestível e à produção de subprodutos. Contudo, é importante ressaltar que a eficácia da extração e a qualidade dos produtos finais são diretamente influenciadas pelas condições de secagem e armazenamento. Condições inadequadas podem resultar em redução de rendimento e extração proteica e aumento na acidez do óleo de soja (HOU; CHANG, 2004).

Para assegurar um bom processo de secagem e armazenamento, a umidade da colheita tem que ter sido adequada. Os grãos recém colhidos, com umidade em torno de 18-22%, necessitam ser submetidos à secagem para a redução do grau de umidade para níveis seguros, entre 12 a 13% (TOHIDI et al., 2017). Baixos graus de umidade garantem estabilidade durante o armazenamento devido à redução na taxa respiratória e consequentemente nas reações metabólicas que causam a deterioração dos grãos. Além disso, a secagem permite a antecipação da colheita, reduzindo as perdas ocasionados pelo ataque de patógenos e fatores ambientais, como chuvas e altas temperaturas (SOUZA et al., 2015). Desta forma, a escolha do método de secagem torna-se indispensável para assegurar a qualidade dos grãos e reduzir danos.

A utilização de silos-secadores torna-se uma alternativa na produção de grãos soja, quando comparado a outros métodos convencionais, pois reduz a movimentação dos grãos, utiliza baixa temperatura para secagem e otimiza o espaço de armazenamento. Entretanto, o sistema torna-se dependente de um adequado manejo da massa de grãos e dos graus de umidade. Diante disso, objetivou-se avaliar a influencia da umidade de colheita e do manejo da massa de grãos na secagem em silo-secador sobre a qualidade dos grãos de soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram usados grãos de soja crescidos na região costeira do Rio Grande do Sul, colhidos mecanicamente quando tinham entre 14% e 18% de umidade. Esses grãos foram levados para a unidade da empresa VL Sul Agronegócios, onde o teste foi feito. Na unidade, os grãos foram examinados e separados de acordo com as regras de qualidade da soja estabelecidas em 2007. Qualquer sujeira ou material estranho foi retirado, garantindo que

não passasse de 1% do total, usando máquinas de ar e peneiras. Depois disso, os grãos foram armazenados nos silos secadores.

Durante recebimento na unidade armazenadora do estudo, os grãos foram separados quanto ao seu grau de umidade em duas faixas, de 14% – 16% e de 16,1% – 18,0%. Em seguida, os silos secadores foram carregados e diferentes manejos de distribuição da massa de grãos foram adotados: (1) sem manejo, (2) nivelado e (3) transilado/nivelado. O experimento foi realizado em duplicata, totalizando 12 silos. Nos silos sem manejo, os grãos foram deixados intocados após serem carregados por queda livre, o que criou uma forma de cone na parte superior deles. Já nos silos com manejo nivelado, o cone que se formou naturalmente após o carregamento dos grãos por queda livre foi nivelado manualmente, resultando em uma parte superior plana. Quanto ao manejo transilado/nivelado, após o carregamento e antes do nivelamento da parte superior, foi realizado o processo de transilagem.

Para as análises específicas de grãos, os parâmetros de umidade dos grãos e as horas de funcionamento e vazões dos exaustores foram mensurados durante o período de secagem. O coeficiente de não uniformidade (CNU) da vazão de ar entre as laterais e a parte central do silo foi calculado conforme descrito por Bartosik e Maier (2006). A umidade dos grãos de soja foi determinada por método indireto utilizando equipamento Motomco 999ES (Motomco, Brasil), conforme procedimento descrito pela Instrução Normativa nº 11/2007. Os teores de cinza, proteína, amido, fibra bruta e lipídeos dos grãos foram determinados indiretamente com o auxílio do equipamento NIRS (DS 2500, FOSS, Dinamarca).

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com 5% de probabilidade ($P < 0,05$), a fim de identificar a interação entre as variáveis independentes. A comparação de médias do manejo de distribuição e dos períodos de coleta foi realizada pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). A comparação de médias da variável umidade de colheita foi realizada pelo teste t ($P < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de não uniformidade (CNU) juntamente com as vazões da lateral e do centro do silo estão apresentados na Tabela 1. As vazões de ar na lateral foram maiores que na parte central do silo-secador durante a secagem sem manejo e com manejo nivelado, em ambas as umidades de colheita. O CNU foi menor no manejo nivelado/transilado, seguido do nivelado em comparação aos silo-secadores sem manejo, com valores variando de 2,24- 2,49%, 6,29-16,33%, e 98,18-100,00%, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. CNU e vazões na lateral e centro dos silos-secadores com diferentes manejos de distribuição da massa de grãos

Tratamentos	Vazão (m ³ /s)		CNU (%)
	Lateral	Central	
Umidade de 14-16% Sem manejo	0,181 ± 0,01 ^{Aα}	0,002 ± 0,00 ^{BY}	98,18
Nivelado	0,129 ± 0,05 ^{AY}	0,113 ± 0,08 ^{BB}	6,29
Transilado/nivelado	0,153 ± 0,01 ^{AB}	0,146 ± 0,08 ^{Aα}	2,34
Umidade de 16-18% Sem manejo	0,169 ± 0,01 ^{Aα}	0,000 ± 0,00 ^{BB}	100,00
Nivelado	0,169 ± 0,05 ^{Aα}	0,122 ± 0,11 ^{Bα}	16,33
Transilado/nivelado	0,144 ± 0,01 ^{AB}	0,137 ± 0,09 ^{Aα}	2,49

Média ± desvio padrão seguido de letras maiúsculas fazem comparação entre lateral e central pelo teste *t* ($P < 0,05$), e letras gregas fazem comparação entre manejos pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

Os resultados experimentais de grau de umidade dos grãos ajustados à uma curva de regressão linear e o custo operacional da secagem em silo-secador com diferentes manejos estão apresentados na Figura 1. Os tempos de secagem nos silos sem manejo e com manejo nivelado e transilado/nivelado foram de 42, 28 e 28 dias, de acordo com o grau de umidade. Além disso, nos grãos colhidos com umidade de 14-16%, o custo de secagem foi maior nos silo-secador sem manejo (R\$ 3,97 por tonelada) em comparação aos manejos nivelado (R\$ 3,20 por tonelada) e transilado/nivelado (R\$ 2,95 por tonelada) (Figura 1C). Nos grãos colhidos com umidade de 16-18%, o custo aumentou conforme os manejos transilado/nivelado (R\$ 3,44 por tonelada), nivelado (R\$ 3,81 por tonelada) e sem manejo (R\$ 5,28 por tonelada) foram adotados. Independente do manejo, o custo da secagem foi menor nos grãos colhidos com menor grau de umidade (Figura 1C).

A implementação do manejo de transilagem e nivelamento desempenha um papel essencial na otimização da distribuição do fluxo de ar no interior do silo-secador. Isso ocorre em virtude da eliminação das impurezas menores e do cone formado na parte superior da massa de grãos. Durante o processo de carregamento do silo, as impurezas de menor tamanho têm a tendência de se acumular na região central, resultando na diminuição da porosidade do meio e, conseqüentemente, na amplificação da resistência à passagem do ar (OLATUNDE et al., 2016; LAWRENCE; MAIER, 2011). A circulação do ar no interior do silo tende a seguir percursos que oferecem menor resistência, levando a uma circulação deficiente ou ausente nas áreas central e superior do silo (cone), ocasionando tempos de secagem prolongados e, por conseguinte, custos operacionais elevados.

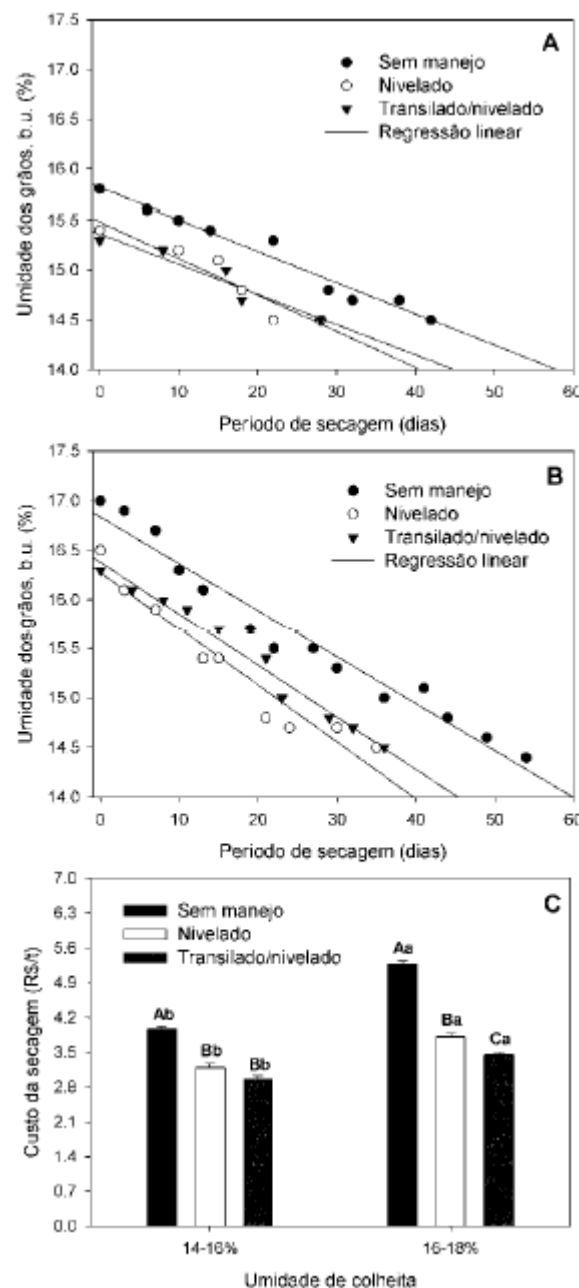


Figura 1. Redução de umidade dos grãos colhidos com umidade de 14-16% (A) e 16-18% (B) e o custo operacional da secagem em silo-secador (C). Letras maiúsculas fazem comparação entre umidades pelo teste t ($P < 0,05$) e letras minúsculas fazem comparação entre manejos pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Um estudo conduzido por Bartosik e Maier (2006) evidenciou que o aumento do coeficiente de não uniformidade (CNU) durante o processo de secagem de milho em um silo-secador, indo de 0% para 117%, provocou um acréscimo nos custos operacionais de 2,5 para 7,6 dólares por tonelada. Ademais, de acordo com os mesmos autores, nas áreas do silo sem circulação de ar, a umidade dos grãos permanece elevada por períodos prolongados, o que pode resultar na degradação da qualidade dos grãos, no desenvolvimento de fungos e na produção de micotoxinas.

Os resultados quanto a composição química estão expressos na Tabela 2. Inicialmente, a concentração de proteínas nos grãos colhidos com teor de umidade de 14-16%, contidos no silo-secador submetido ao manejo transilado/nivelado, revelou-se superior àquela observada no silo sem manejo. Ao término do processo de secagem, os grãos colhidos com umidade de 14-16% e sob o manejo transilado/nivelado exibiram um teor proteico mais elevado (34,62%), em contraposição aos grãos tratados com o manejo nivelado (33,41%) e àqueles não submetidos a manejo (33,04%). No caso dos grãos colhidos com umidade de 16-18%, constatou-se que os grãos gerenciados através do manejo transilado/nivelado apresentaram um teor proteico superior (34,04%) em relação aos grãos sem manejo (32,47%) (Tabela 2). Além disso, o teor de fibras foi maior nos grãos colhidos na faixa de umidade de 14- 16% em comparação à 16-18%, aos 20 dias nos grãos sem manejo e ao final da secagem nos grãos sem manejo e transilado/nivelado. Diferenças nos teores de cinzas foram observados apenas aos 20 dias de secagem dos grãos colhidos com umidade de 14-16% e submetidos ao manejo nivelado (4,74%) em comparação os grãos com manejo transilado/nivelado (4,49%). O teor de amido foi menor aos 20 dias e ao final da secagem dos grãos colhidos com umidade de 14-16% e submetidos ao manejo transilado/nivelado, em comparação aos grãos do silo sem manejo.

Tabela 2. Composição química dos grãos de soja submetidos à secagem em silo-secador com diferentes umidades de colheita e manejos de distribuição da massa de grãos.

Tratamentos	Inicial		20 dias		Final	
	14 a 16	16 a 18	14 a 16	16 a 18	14 a 16	16 a 18
<i>Proteínas (%)</i>						
Sem manejo	32,10 ± 0,74 ^β	32,75 ± 0,33 ^α	32,10 ± 0,74 ^α	32,78 ± 0,54 ^α	33,04 ± 0,25 ^β	32,47 ± 0,47 ^β
Nivelado	32,93 ± 0,39 ^{αβ}	33,21 ± 0,14 ^α	32,93 ± 0,39 ^α	33,43 ± 0,51 ^α	33,41 ± 0,43 ^β	33,26 ± 0,44 ^{αβ}
Transilado/nivelado	34,05 ± 0,54 ^α	33,15 ± 0,32 ^α	34,05 ± 0,54 ^α	33,24 ± 0,12 ^α	34,62 ± 0,53 ^α	34,04 ± 0,66 ^α
<i>Lipídeos (%)</i>						
Sem manejo	17,58 ± 0,27 ^α	18,35 ± 0,36 ^α	17,25 ± 0,09 ^α	17,28 ± 0,48 ^α	16,44 ± 0,43 ^α	16,35 ± 0,04 ^α
Nivelado	17,25 ± 0,05 ^α	17,12 ± 0,30 ^β	17,51 ± 0,25 ^α	16,33 ± 0,69 ^α	16,35 ± 0,24 ^α	16,26 ± 0,29 ^α
Transilado/nivelado	17,37 ± 0,28 ^α	17,60 ± 0,52 ^{αβ}	17,13 ± 0,66 ^α	16,91 ± 0,40 ^α	16,34 ± 0,75 ^α	16,67 ± 0,18 ^α
<i>Fibras (%)</i>						
Sem manejo	5,16 ± 0,04 ^A	5,13 ± 0,02 ^A	5,18 ± 0,01 ^A	5,14 ± 0,01 ^B	5,20 ± 0,01 ^A	5,14 ± 0,01 ^B
Nivelado	5,18 ± 0,02 ^A	5,15 ± 0,02 ^A	5,14 ± 0,01 ^A	5,13 ± 0,01 ^A	5,17 ± 0,02 ^A	5,15 ± 0,03 ^A
Transilado/nivelado	5,13 ± 0,01 ^A	5,13 ± 0,01 ^A	5,17 ± 0,01 ^A	5,18 ± 0,03 ^A	5,24 ± 0,10 ^A	5,15 ± 0,02 ^B
<i>Cinzas (%)</i>						
Sem manejo	4,87 ± 0,06 ^α	4,95 ± 0,05 ^α	4,65 ± 0,06 ^{αβ}	4,86 ± 0,20 ^α	4,73 ± 0,10 ^α	4,68 ± 0,02 ^α
Nivelado	5,04 ± 0,22 ^α	4,97 ± 0,14 ^α	4,74 ± 0,05 ^α	4,97 ± 0,14 ^α	4,91 ± 0,09 ^α	4,80 ± 0,10 ^α
Transilado/nivelado	5,00 ± 0,26 ^α	5,08 ± 0,37 ^α	4,49 ± 0,16 ^β	4,69 ± 0,15 ^α	4,73 ± 0,14 ^α	4,73 ± 0,12 ^α
<i>Amido (%)</i>						
Sem manejo	39,78 ± 0,27 ^α	38,72 ± 0,60 ^α	40,23 ± 0,70 ^α	39,94 ± 0,17 ^α	40,29 ± 0,93 ^α	41,35 ± 0,43 ^α
Nivelado	39,25 ± 0,45 ^α	39,55 ± 0,35 ^α	39,17 ± 0,51 ^{αβ}	40,14 ± 0,90 ^α	40,80 ± 0,66 ^α	40,53 ± 0,42 ^{αβ}
Transilado/nivelado	38,44 ± 0,60 ^α	39,05 ± 0,40 ^α	38,65 ± 0,16 ^β	39,97 ± 0,14 ^α	39,07 ± 1,03 ^α	39,42 ± 0,74 ^β

Médias ± desvio padrão seguido de letras maiúsculas fazem comparação pelo teste t (P < 0,05) os grãos com diferentes graus de umidade. Letras gregas fazem comparação pelo teste de Tukey (P < 0,05) os diferentes manejos na camada de grãos

As variações nos teores de proteína, fibras, cinzas e amido são provavelmente atribuíveis a diferenças inerentes às condições de cultivo às quais os grãos foram submetidos. Lee e Cho (2012) relatam que características do solo, práticas de adubação e flutuações climáticas, como temperatura e precipitação, influenciam a composição química dos grãos de soja. Embora as amostras tenham sido coletadas nos mesmos pontos ao longo do período de secagem, não ocorreu segregação dos lotes recebidos na unidade, resultando na mistura de grãos com composições diversas provenientes das plantações. Por outro lado, a redução do teor de lipídeos durante o período de secagem foi observada independentemente da umidade de colheita e do método de manejo empregado. Distinções entre os manejos foram identificadas nos grãos recentemente colhidos com umidade na faixa de 16-18%, com os grãos armazenados sem manejo apresentando 18,35%, enquanto aqueles submetidos ao manejo nivelado registraram 17,12%. A diminuição do teor de lipídeos durante a secagem é atribuível à atividade de enzimas lipases que hidrolisam os triacilgliceróis, liberando ácidos graxos livres (ZIEGLER et al., 2017). No contexto deste estudo, a redução do teor lipídico pode ser resultado do método de secagem empregado, o qual submete grãos com alta umidade a um prolongado período de secagem em temperatura ambiente, criando condições favoráveis para a ação enzimática. A utilização do silo-secador, por ser economicamente vantajosa para pequenas indústrias e agricultores, implica custos menores de instalação e operação. Entretanto, este método pode gerar uma frente de secagem que ocasiona o excesso de secagem nos grãos da camada inferior, enquanto os grãos com maior umidade na camada superior podem perder qualidade devido à exposição prolongada (OLATUNDE et al., 2016). Conforme destacado por Sadaka et al. (2019), a adoção de camadas de secagem mais finas, a implementação do manejo de transilagem e nivelamento, juntamente com a incorporação de um sistema de aquecimento no sistema de ventilação para controlar temperatura e umidade do ar, contribuem para a diminuição do tempo de secagem e, conseqüentemente, para a manutenção da qualidade dos grãos.

Os resultados destacam a influência significativa do manejo de transilagem e nivelamento na eficácia do processo de secagem no silo-secador. A eliminação das impurezas menores e do cone formado na parte superior da massa de grãos através desse manejo contribui para a otimização do fluxo de ar no interior do silo, minimizando desafios de resistência e circulação desigual do ar. Diante disso, há uma redução no tempo de secagem mais uniformes e custos operacionais mais controlados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTOSIK, R. E.; MAIER, D. E. Effect of airflow distribution on the performance of NAL/LT in-bin drying of corn. *Transactions of the ASAE*, v. 27, p. 1579-1585, 2006.

CONAB. Série histórica das safras – Soja. Companhia Nacional de Abastecimento.

EMATER. Série histórica das safras – Soja. Entidade Autárquica de Assistência Técnica e Extensão Rural.

FARHOOSH, R.; EINAFSHAR, S.; SHARAYEI, P. The effect of commercial refining steps on the rancidity measures of soybean and canola oils. *Food Chemistry*, v. 115, p. 933-938, 2009.

FERREIRA, C. D.; OLIVEIRA, M.; ZIEGLER, VALMOR. Tecnologia industrial de grãos e derivados. 1. ed. Curitiba: Editora CRV, 2020. v. I. 326p.

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Storage affects color and chemical composition and tofu making quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 28, p. 473-88, 2004.

LEE, J. H.; CHO, K. M. Changes occurring in compositional components of black soybeans maintained at room temperature for different storage periods. *Food Chemistry*. n.131, p.161-169,2012.

OLATUNDE, G.; ATUNGULU, G. G.; SADAKA, S. CFD modeling of air flow distribution in rice bin storage system with different grain mass configurations. *BiosystemsEngineering*, v. 151, p. 286–297, 2016.

SADAKA, S.; ATUNGULU, G.G.; LUTHRA, K.Layer drying of grains and its potential for rough rice drying.Division of Agriculture Research and Extension, University of Arkansas System, FSA1093, 2019.

SOUZA, G.F.M.V.; MIRANDA, R.F.; BARROZO, M.A.S. Soybean (*Glycine max* L. Merrill) seed drying in fixed bed: Process heterogeneity and seed quality. *Drying Technology: An International Journal*, v. 33, p. 1779–1787, 2015.

TOHIDI, M.; SADEGHI, M.; TORKI-HARCHEGANI, M. Energy and quality aspects for fixed deep bed drying of paddy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 70, p. 519–528, 2017

ZIEGLER, V.; DIETRICH, C.; MICHELE, F.; CRIZEL, M., OLIVEIRA, M; CARDOSO, M. Pigmented rice oil: Changes in oxidative stability and bioactive compounds during storage of whole grains. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 41, e13295, 2017