

Uso de exaustores eólicos em silos de armazenamento de soja: Impacto na redução do custo de armazenamento e na redução de perdas de massa dos grãos

Lázaro da Costa Corrêa Cañizares¹; Silvia Naiane Jappe¹; Maria Antônia Fagundes de Leon¹; Silvia Leticia Rivero Meza¹; Moacir Cardoso Elias¹; Maurício de Oliveira¹

RESUMO

A soja é um grão que possui tecidos “vivos”, ocasionando o aumento da taxa respiratória nas etapas de pós-colheita. Nessas etapas, fatores como temperatura de secagem, temperatura e grau de umidade dos grãos armazenados e a qualidade inicial dos grãos afetam as propriedades físico-químicas e tecnológicas da soja, influenciando o custo de armazenamento. Por isso novas tecnologias devem ser utilizadas e desenvolvidas para a redução do custo e de perdas no armazenamento de grãos. Com isso, este estudo objetivou avaliar efeitos do sistema de exaustão eólica durante o armazenamento da soja no custo de energia, temperatura e perda de massa e qualidade dos grãos de soja. Durante o armazenamento, o silo sem exaustão exigiu mais horas de aeração (191 h), maior consumo de energia (9550 kW) e apresentou maior redução no teor de umidade (2,07%) e perda de massa (105 t), quando comparado aos silos com exaustão. O excesso de aeração promoveu a secagem da soja a níveis mais seguros de armazenamento no silo sem exaustão, porém o custo de armazenamento foi maior em grãos armazenados nestas condições (sem exaustão). Não foi observado alterações significativas nas propriedades físico-químicas e tecnológicas da soja entre os silos estudados, porém quando analisado o tempo de armazenamento observou-se uma redução nos parâmetros de qualidade dos grãos, indicando um efeito latente.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merr.; Consumo de energia; Perda de massa; Armazenamento

¹Engenheira Agrônoma, Universidade Federal de São João Del Rey (UFSJ), Sete Lagoas, MG.

²Estudante de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de São João Del Rey (UFSJ), Sete Lagoas, MG.

³Estudante de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de São João Del Rey (UFSJ), Sete Lagoas, MG.

⁴Estudante de Doutorado em Entomologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG.

⁵Estudante de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de São João Del Rey (UFSJ), Sete Lagoas, MG.

⁶Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. E-mail: marco.pimentel@embrapa.br

INTRODUÇÃO

A produção brasileira de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) na safra 2022/2023 foi de 154,603 milhões de toneladas (23,1% superior a safra 2022/2023), em uma área semeada de 44,072 milhões de ha (CONAB 2023). A soja é predominantemente destinada à indústria de óleo e proteína, porém, a indústria não processa de imediato esses grãos, necessitando ser armazenado por longos períodos.

Durante a etapa de armazenamento, os grãos de soja tornam-se susceptíveis a fatores bióticos e a abióticos, podendo ocasionar a degradação de seus constituintes, reduzindo a qualidade dos grãos e por consequência dos produtos derivados (ZIEGLER et al. 2018). Além disso, a etapa de armazenamento representa um custo elevado para as indústrias, principalmente em relação ao consumo energético proveniente do sistema de aeração (CAÑIZARES et al. 2021). Com isso, torna-se necessário a utilização de tecnologias que auxiliam na manutenção da qualidade e na redução de custos durante o armazenamento de grãos de soja.

Dentre as tecnologias utilizadas durante o armazenamento de grãos, o sistema de aeração é a mais utilizada para manter, uniformizar e/ou reduzir a temperatura da massa de grãos, diminuindo o metabolismo dos grãos e reduzindo a proliferação de micro-organismos associados (CORADI et al., 2020). Em algumas regiões do Brasil, principalmente onde a colheita dos grãos coincide com épocas de altas temperaturas ambientes, o sistema de aeração não é suficiente para realizar a manutenção da temperatura da massa de grãos, sendo necessário a utilização de exaustores na superfície dos armazéns.

A exaustão eólica reduz a pressão estática para aeração dos grãos, aumentando a eficiência na operação, reduzindo a temperatura dos grãos rapidamente, sem aumentar o custo energético da operação (SILVA et al. 2014). Portanto, objetivou-se avaliar os efeitos do sistema de exaustão eólica (com e sem iluminação natural) durante o armazenamento da soja (0, 3 e 6 meses) sobre o custo de energia, temperatura da massa, perda de massa e qualidade da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado nas dependências da *Cotrijal Cooperativa Agropecuária e Industrial*, Unidade Valinhos, Passo Fundo, Rio Grande do Sul (28,23267 S, 52,44206 W). A soja utilizada nestes experimentos veio de plantações comerciais na região de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Ao chegar à unidade armazenadora, a soja foi seca até um grau de umidade próximo a 13,5%.

A soja foi armazenada em três silos metálicos com capacidade para 4500 t, todos os silos possuíam sistema de aeração com motores de 50kW. O silo 1 não foi equipado com sistema de exaustão eólico (Figura 1A), o silo 2 foi equipado com 6 exaustores eólicos com entrada de luz (CRA60DHP lux, Cycloar) (Figura 1B), e o silo 3 foi equipado com 6 exaustores sem entrada de luz (CRA60DHP, Cycloar) (Figura 1C). As amostras foram coletadas no início, 3 e 6 meses de armazenamento. Foram coletadas 12 amostras por silos em cada tempo de armazenamento, em diferentes posições e profundidades, obtendo uma amostragem homogênea e representativa de toda a massa de grãos.

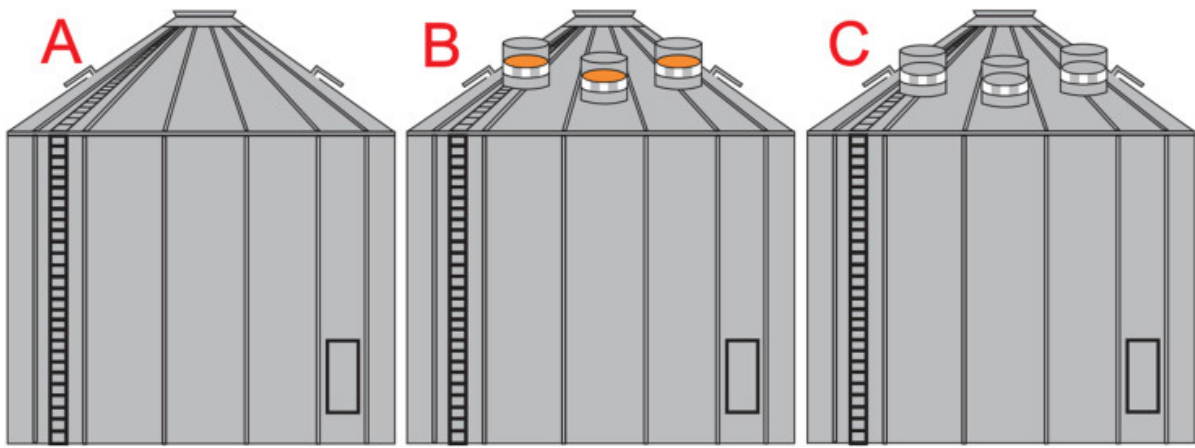


Figura 1. Silo sem exaustão (A), silo com exaustão e luz (B) e silo com exaustão e sem luz (C)

O grau de umidade dos grãos (%) foi determinado segundo as normas da ASAE (2000), em estufa a 105 °C por 24 h. Foi realizado o monitoramento das horas de aeração (os ventiladores de aeração foram ligados sempre que foi necessário reduzir e uniformizar a temperatura dentro dos silos). Foi calculado o consumo de energia elétrica com aeração em cada um dos silos avaliados. Os silos foram equipados com um sistema de termometria composto por 32 sensores de temperatura espalhados uniformemente pela massa de grão. Durante o armazenamento foi realizado o monitoramento da temperatura dos grãos (°C). A perda de massa (t) durante o armazenamento foi calculada pela Equação 1.

$$PM = MI - ((100 - UI)/(100 - UF)) * MI \quad \text{Equação 1}$$

Onde PM = Perda de massa (t); MI = Massa inicial de grãos (t); UI = Grau de umidade inicial (%); e UF = Grau de umidade final (%).

O índice de grãos fermentados e ardidos foram determinados de acordo com a Instrução Normativa nº 11, de 15 de maio de 2007, e Instrução Normativa nº 37, de 27 de julho de 2007, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil (BRASIL, 2007a; BRASIL, 2007b). A acidez (%) foi determinada de acordo com o método AACC 02-01A (AACC, 2000). A proteína solúvel em água foi determinada de acordo com Liu et al. (1992).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de umidade dos grãos, perda de massa, tempo de aeração e consumo de energia estão apresentados na tabela 1. Durante o armazenamento, no silo sem exaustão foi observado uma maior redução no teor de umidade (2,07%) e maior perda de massa (105 t), tempo de aeração (191 h) e consumo energético (9550 kW).

Tabela 1. Grau de umidade, tempo de aeração, perda de massa e consumo de energia de grãos de soja armazenados por 0, 3 e 6 meses em diferentes silos

	Silo		
	Sem exaustão	Exaustão e iluminação	Exaustão sem iluminação
	Umidade (%)		
Inicial (0 mês)	13,36	13,44	13,61
3 meses	11,35	12,41	12,51
6 meses	11,29	12,02	12,17
	Perda de massa (t)		
Inicial (0 mês)	-	-	-
3 meses	102,03	52,92	56,58
6 meses	2,97	19,71	17,21
Total	105,00	72,63	73,79
	Tempo de aeração (h)		
Inicial (0 mês)	-	-	-
3 meses	191	115	112
6 meses	0	37	51
Total	191	152	163
	Consumo energético (kW)		
Inicial (0 mês)	-	-	-
3 meses	9550	5750	5600
6 meses	0	1850	2550
Total	9550	7600	8150

As imagens de termometria estão apresentadas na figura 2. Apenas nos três primeiros meses de armazenamento foi observado aumento significativa de temperatura nos silos (Figura 2). Nos primeiros meses de armazenamento, houve aumento da temperatura da massa de soja devido ao metabolismo ativo, pois através do processo respiratório ocorre a produção de energia na forma de calor, água e gás carbônico. O aumento da temperatura foi corrigido rapidamente nos silos com exaustão quando comparado ao silo sem exaustão. Possivelmente a remoção de calor ocorreu devido à diferença na pressão gerada do interior e exterior do silo, onde a exaustão reduziu a energia necessária para remover o calor do interior da massa de soja (SILVA et al., 2014).

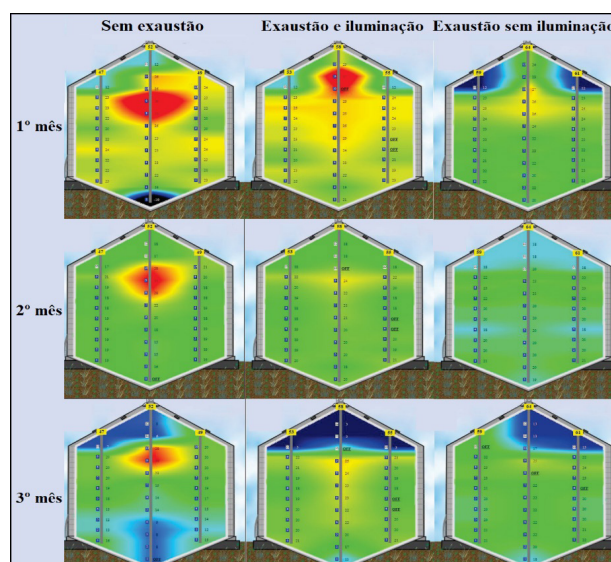


Figura 2. Imagens do sistema de termometria dos silos

Os resultados presentes na Figura 2 estão de acordo com o tempo de aeração e o consumo de energia durante o armazenamento da soja. Durante os três primeiros meses de armazenamento, foram observados maiores tempos de aeração e consumo de energia, sendo esses valores maiores no silo sem exaustão (Tabela 1). Neste silo, a temperatura da soja foi padronizada e reduzida com 191 h de aeração e não foi necessário ligar os ventiladores nos últimos 3 meses de armazenamento.

O maior tempo de aeração no silo sem exaustão promoveu redução no grau de umidade (11,29%) para níveis mais baixos, quando comparado aos silos com exaustão e luz e exaustão sem luz (12,02% e 12,17%, respectivamente). A redução da umidade da soja foi o principal fator que influenciou na perda de massa observada (Tabela 1). O silo sem exaustão necessitou de 191 h de aeração, o que resultou em redução de 105,00 t de massa, pois o metabolismo da soja permaneceu acelerado por mais tempo, consumindo a matéria seca dos grãos.

Os resultados de incidência de grãos fermentados e ardidos, a acidez da soja e proteína solúvel estão apresentados na tabela 2. Não foram observadas diferenças significativas em relação aos teores de defeitos, acidez da soja e proteína solúvel entre os silos. Quando analisado o tempo de armazenamento, foi observado um aumento dos grãos fermentados, ardidos e da acidez da soja, e uma redução da proteína solúvel.

O silo sem exaustão apresentou temperaturas elevadas nos primeiros três meses de armazenamento (Figura 1), o que propicia um aumento do metabolismo dos grãos e de micro-organismos associados, tornando o armazenamento instável (FERREIRA et al. 2019). Porém, o excesso de aeração proporcionando a redução de umidade até 11,29% (tabela 1), reduzindo a atividade de água a níveis mais adequados para o armazenamento. Com isso, não foi possível observar diferenças nos parâmetros de qualidade dos grãos entre os silos estudados.

Tabela 2. Incidência de grãos fermentados e ardidos, acidez do grão e proteína solúvel de grãos de soja armazenados por 0, 3 e 6 meses em diferentes silos

Tempo de armazenamento	Silo de armazenamento		
	Sem exaustão	Tempo de armazenamento	Sem exaustão
	Grãos fermentados (%)		
Inicial (0 mês)	0,71 ± 0,32 ^{B*}	0,99 ± 0,58 ^B	0,71 ± 0,21 ^C
3 meses	1,48 ± 0,26 ^A	1,71 ± 0,48 ^A	1,33 ± 0,41 ^B
6 meses	1,89 ± 0,64 ^A	1,65 ± 0,35 ^A	1,84 ± 0,42 ^A
	Grãos ardidos (%)		
Inicial (0 mês)	0,10 ± 0,10 ^A	0,06 ± 0,09 ^A	0,05 ± 0,06 ^B
3 meses	0,16 ± 0,15 ^A	0,12 ± 0,08 ^A	0,12 ± 0,08 ^{AB}
6 meses	0,19 ± 0,06 ^A	0,12 ± 0,03 ^A	0,14 ± 0,06 ^A
	Acidez (%)		
Inicial (0 mês)	0,52 ± 0,13 ^B	0,60 ± 0,09 ^B	0,54 ± 0,09 ^B
3 meses	0,54 ± 0,08 ^A	0,61 ± 0,13 ^B	0,59 ± 0,09 ^B
6 meses	0,65 ± 0,14 ^A	0,82 ± 0,12 ^A	0,72 ± 0,14 ^A
	Proteína solúvel (%)		
Inicial (0 mês)	60,87 ± 5,30 ^A	64,89 ± 10,08 ^A	61,48 ± 4,66 ^A
3 meses	56,83 ± 2,7 ^B	58,37 ± 3,17 ^B	56,28 ± 3,01 ^{AB}
6 meses	55,28 ± 3,24 ^B	57,12 ± 2,32 ^B	53,53 ± 9,34 ^B

*Letras maiúsculas comparam os tempos de armazenamento.

O aumento de grãos de soja fermentados e ardidos durante o armazenamento ocorreu devido ao processo metabólico dos próprios grãos e à atividade de microrganismos associados (CAÑIZARES et al. 2021). Durante o período de armazenamento, a soja é influenciada por diversos fatores, como temperatura, grau de umidade, umidade relativa, teor de grãos quebrados, teor de impurezas, presença de microrganismos, insetos e ácaros (LANE e WOLOSHUK, 2017).

Durante o armazenamento, principalmente em grãos de soja com alto grau de umidade e temperatura, o teor de proteína solúvel tende a diminuir. Isso ocorre devido à desnaturação da proteína, alterações na estrutura da proteína e fortalecimento das pontes dissulfeto (RAMOS et al. 2021). Já o aumento da acidez ocorre devido às atividades enzimáticas do grão, processos de fermentação e ação de microrganismos. O aumento da acidez está relacionado ao processo de hidrólise dos ácidos graxos na ligação éster entre os ácidos graxos e o glicerol, realizada por enzimas, sendo a principal a lipase (TIMM et al., 2021).

Maior tempo de aeração, consumo de energia e perda de massa foram fatores negativos no sistema sem exaustão. Recomenda-se a utilização de sistema de exaustão em silos de armazenamento de soja, reduzindo o gasto de energia e a perda de massa. Não foram encontradas diferenças entre o sistema de exaustão com luz e sem luz, para as análises realizadas. Durante o armazenamento foi observado uma redução em todos os parâmetros de qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC, Fat Acidity and General Method. Method 02–01A: Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA (2000), pp. 11-12.

ASAE. American Society of Agricultural Engineers. Moisture Measurement-Unground Grain and Seeds. in: Standards, St. Joseph: ASAE (2000), p. 563

BRASIL, Instrução Normativa 11/2007, 2007a. Brasília, Brasil: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

BRASIL, Instrução Normativa 37/2007, 2007b. Brasília, Brasil: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

CAÑIZARES, L. C. C.; TIMM, N. S.; LANG, G. H.; GAIOSO, C. A.; FERREIRA, C. D.; DE OLIVEIRA, M. Effects of using wind exhausters on the quality and cost of soybean storage on a real scale. *Journal of Stored Products Research*, v. 93, 101834, 2021.

CONAB: Companhia nacional do abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. V.10 - Safra 2022/23 – Décimo primeiro levantamento, Brasília, p.1-102, agosto 2023.

Coradi, P. C.; Oliveira, M. B.; Oliveira, C. L.; Souza, G. A. C.; Elias, M. C.; Brackmann, A.; TEODORO, P. E. Technological and sustainable strategies for reducing losses and maintaining the quality of soybean grains in real production scale storage units. *J. Stored Prod. Res.*, v. 87, p. 10162, 2020.

FERREIRA, C. D.; ZIEGLER, V.; GOEBEL, J. T. S.; HOFFMANN, J. F.; CARVALHO, I. R.; CHAVES, F. C.; OLIVEIRA, M. Changes in phenolic acids and isoflavone contents during

soybean drying and storage. *J. Agric. Food Chem.*, v. 67, p.1146-1155, 2019.

J. Stored Prod. Res., v. 72, p. 83-89, 2017.

LANE, B.; WOLOSHUK, C. Impact of storage environment on the efficacy of hermetic storage bags

LIU, K.; MCWATTERS, K. H.; PHILLIPS, R. D. Protein insolubilization and thermal destabilization during storage as related to hard-to-cook defect in cowpeas. *J. Agric. Food Chem.*, v. 40, p. 2483-2487. 1992.

RAMOS, A. H.; TIMM, N. S.; FERREIRA, C. D.; OLIVEIRA, M. Effects of the intensification of soybean defects: consequences on the physicochemical, technological, protein and oil properties. *European Food Research and Technology*, v. 247, p. 1277–1289, 2021.

SILVA, W. S. V.; VANIER, N. L.; ZIEGLER, V.; DE OLIVEIRA, M.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C. Effects of using eolic exhausters as a complement to conventional aeration on the quality of rice stored in metal silos. *J. Stored Prod. Res.*, v. 59, p. 76-81, 2014.

TIMM, N. S.; RAMOS, A. H.; FERREIRA, C. D.; RIOS, A. O.; ZAMBIAZI, R. C.; OLIVEIRA, M. Influence of germ storage from different corn genotypes on technological properties and fatty acid, tocopherol, and carotenoid profiles of oil. *European Food Research and Technology*, v. 247, p. 1449-1460, 2021.

ZIEGLER, V.; FERREIRA, C. D.; HOFFMANN, J. F.; DE OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C. Effects of moisture and temperature during grain storage on the functional properties and isoflavone profile of soy protein concentrate. *Food Chem.*, v. 242, p.37-44, 2018.