

Monitoramento de CO_2 associado com a qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes teores de água

Diene Gonçalves Souza¹; Osvaldo Resende¹, Jacson Zuchi¹; Paulo Victor Alcantara Ferreira¹, Geraldo Acácio Mabasso¹, Jaqueline Ferreira Vieira Bessa¹

RESUMO

Objetivou-se quantificar os níveis de CO_2 produzido por grãos de soja armazenados em temperatura ambiente em silo protótipo, com teores de água iniciais de 12, 14 e 16 % (bu), bem como avaliar a composição proximal e associar a qualidade do produto no decorrer do armazenamento. Foram realizadas análises de teor de água, cinzas, proteínas, lipídios, germinação e condutividade elétrica. Na atmosfera do interior dos silos foi monitorada a cada uma hora a quantidade de CO_2 , umidade relativa e temperatura por meio de um data logger medidor de CO_2 . As avaliações de qualidade dos grãos ocorreram em seis tempos de armazenamento (0, 15, 30, 45, 60 e 90 dias). Foi usado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três teores de água dos grãos e seis tempos de armazenamento. Os teores de água, proteína, lipídios e germinação reduziram ao longo do tempo resultando na perda de qualidade dos grãos. Os grãos de soja armazenados inicialmente com 16% (bu) de teor água apresentaram maiores perdas associadas a elevação dos níveis de CO_2 . O aumento na emissão de CO_2 na atmosfera interna do silo sinaliza o início da deterioração dos grãos e pode ser utilizado como uma ferramenta para tomada de decisão, visando a prevenção e a diminuição das perdas de qualidade do produto durante o armazenamento.

Palavras-chave: Quebra técnica; Atmosfera intergranular; Degradação de grãos

¹Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, km 1, Zona Rural – Rio Verde, GO, CEP: 75.901-970. E-mails: diene_gsouza@hotmail.com; osvaldo.resende@ifgoiano.edu.br; jacson.zuchi@ifgoiano.edu.br; pvictoraf@gmail.com; geral.do@hotmail.com; jaquelinevieira_rv@hotmail.com

INTRODUÇÃO

As perdas após a colheita durante o armazenamento permanecem um desafio significativo para muitos agricultores (SULEIMAN et al., 2018). Um dos gargalos da produção de grãos está na quantidade e na qualidade dos armazéns. Deve-se manter o controle apropriado de forma a evitar a degradação do material armazenado (SCHIAVON et al., 2019).

A taxa de deterioração depende da atividade das variáveis bióticas e abióticas. Os fatores bióticos são os insetos e microrganismos, enquanto que os fatores abióticos são teor de água do grão, temperatura e umidade relativa do ar e atmosfera intergranular como os níveis de dióxido de carbono (CO₂) e oxigênio (O₂) (LIKHAYO et al., 2018).

A emissão de CO₂ resultante do processo respiratório dos grãos e dos microrganismos pode ser associada à perda de matéria seca do produto final. A taxa respiratória tem sido utilizada por diversos autores para estimar a perda de matéria seca dos grãos durante o armazenamento (DILLAHUNTY et al., 2000)

A temperatura de armazenamento e o teor de água dos grãos são os principais fatores que influenciam na respiração dos grãos, sendo que altos teores de água e de temperatura durante o armazenamento resultam em menor tempo de preservação do produto (SULEIMAN; ROSENTRATER, 2016).

Assim, objetivou-se com este trabalho quantificar o CO₂ produzido por grãos de soja armazenados em temperatura ambiente em silos protótipos, com teores de água iniciais de 12, 14 e 16% (bu), bem como avaliar a composição proximal e a quebra técnica, e associar a qualidade do produto no decorrer do armazenamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Os grãos de soja foram colhidos mecanicamente com teor de água de 16% (bu) no município de Rio Verde – GO. Em seguida, foram submetidos a secagem com ar natural no próprio silo protótipo até alcançar os teores de água de 14 e 12% (bu). As médias da temperatura e umidade relativa do ar de secagem foram de 26,55 °C e 73,22% e o fluxo de ar utilizado nos silos foi de 30,6 m³ min⁻¹ ton⁻¹.

O experimento foi conduzido em três silos protótipos confeccionados em placas metálicas com as dimensões de 0,58 x 0,58 m contendo em cada um 90 kg de grãos de soja durante 90 dias de armazenamento. A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente do local de armazenamento foram monitoradas por meio de um data logger a cada uma hora. No interior dos silos protótipos foram monitoradas a quantidade de CO₂, a umidade relativa e a temperatura por meio de um medidor/registrador de CO₂ Extech modelo: CO₂10 a cada uma hora. A temperatura da massa de grãos foi monitorada três vezes ao dia por meio de um termômetro portátil com sonda externa. As avaliações de qualidade dos grãos ocorreram em 6 tempos de armazenamento (0, 15, 30, 45, 60, e 90 dias).

A germinação (%) foi determinada de acordo com as Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009) e a condutividade elétrica foi realizada segundo método descrito por Vieira e Krzyzanowski (1999).

Para determinar o teor de água dos grãos foi utilizado o método da estufa a 105 ± 3 °C durante 24 h (Brasil, 2009). A proteína bruta foi determinada pelo método de Kjeldahl, que expressa o teor de nitrogênio orgânico total, os lipídios foram analisados pelo método de Soxhlet e a determinação de cinzas, foram determinadas por meio da AOAC (2000).

A quebra técnica foi avaliada por meio do acompanhamento da perda de massa seca em cinco amostras de grãos contendo em torno de 50 g em cada uma, que foram envolvidas por um tecido permeável (voile) a fim de permitir a passagem do ar através do produto, e distribuídas no interior da massa de grãos em cada um dos silos protótipos em diferentes pontos. As amostras foram pesadas a cada 15 dias e no final do armazenamento foi determinado o teor de água dos grãos e a quebra técnica foi considerada em função da perda de massa seca.

A análise estatística compreendeu o delineamento inteiramente casualizado, com três teores de água iniciais dos grãos e seis tempos de armazenamento. Os dados foram avaliados pela análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias de temperatura e umidade relativa do ar da sala de armazenamento foram de 27,31 °C e 67,91% para o mês de abril, 25,87 °C e 64,15% para maio e 24,64 °C e 61,16% no mês de junho. Contudo, não houve variação acentuada de temperatura na massa de grãos armazenados em diferentes teores de água com valores médio de 26 °C no início e 24 °C no final do armazenamento. Os níveis de CO₂ aumentaram durante o armazenamento em todos os silos analisados (Figura 1). O silo com grãos de soja com 16% (bu) de teor de água apresentou maior emissão do gás devido ao processo respiratório mais intenso no início do armazenamento.

Os níveis de emissão de CO₂ aumentaram durante o armazenamento dos grãos de soja com diferentes teores de água (Figura 1), principalmente para o teor de água inicial 16% (bu) até os 30 dias de armazenamento (700 ppm). Esta maior emissão de CO₂ ocorre devido ao aumento da atividade respiratória dos grãos, insetos e microrganismos. Como os silos protótipos não eram herméticos, houve troca de gases com a atmosfera, promovendo a redução dos níveis de CO₂ após os 30 dias de armazenamento no silo com teor de água inicial 16% (bu).

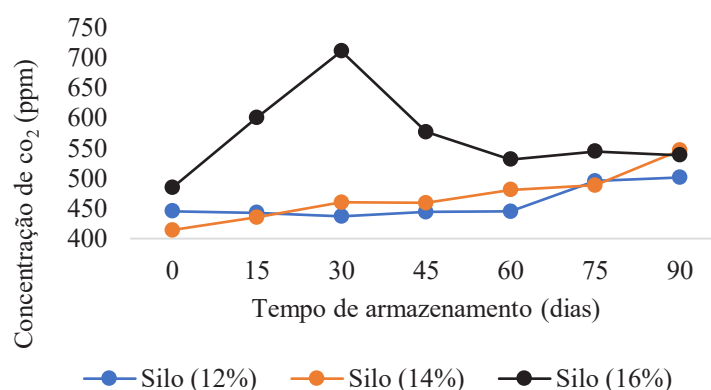


Figura 1. Valores médio de CO₂ (ppm) no interior dos silos durante o armazenamento dos grãos de soja em três teores de água iniciais.

Para os silos com teores de água iniciais de 14 e 12% (bu) o aumento dos níveis de CO₂ ocorreu a partir dos 60 dias de armazenamento e em menor proporção comparativamente ao silo com teor de água inicial 16% (bu). Segundo Neethirajan et al. (2010) o aumento das concentrações de CO₂ na massa de grãos durante o armazenamento é um indicativo de degradação dos grãos. No estudo de Smaniotto et al. (2014) os autores relataram que sementes de soja armazenada com umidade superior a 14% (bu) apresentaram maior perda de qualidade no decorrer do armazenamento. Dillahunty et al. (2000) observaram elevação na taxa de respiração de grãos de arroz com o aumento do teor de água.

Os grãos com teor de água inicial de 16% (bu) apresentaram maiores emissões de CO₂ com valores acima de 500 ppm, indicando maior degradação ao final do armazenamento e incidência de fungos. Segundo Shahin e Symons (2011) observaram que a produção maior de CO₂ foram em grãos contaminados com fungos, assim a concentração de CO₂ pode ser utilizada como um indicador precoce do início de contaminação fúngica.

O silo com teor de água inicial de 16% (bu) apresentou maior quebra técnica durante o período de armazenamento, resultando em maiores perdas de massa devido às reações químicas de oxidação, durante o processo respiratório, as quais consomem energias acumuladas sob forma de compostos orgânicos como os açúcares, amidos e outros diminuindo de forma efetiva a massa do produto (Neves; Savelli, 2017).

O silo com 16% (bu) de teor de água inicial apresentou maior emissão de CO₂ evidenciando maior taxa respiratória (Figura 2). A perda de massa dos grãos devido ao processo respiratório aumenta de forma proporcional a cada período de armazenamento dos grãos. Os grãos de soja armazenados inicialmente com teor de água inicial de 12% (bu) obtiveram valores médios mensais de quebra técnica de 0,016%; 0,021% e 0,025%, respectivamente para 30, 60 e 90 dias de armazenamento. Os grãos armazenados a 14% (bu) de teor de água apresentaram valores médios de 0,098%, 0,121% e 0,135% respectivamente para 30, 60 e 90 dias de armazenamento. Estes resultados estão de acordo com o limite de quebra técnica recomendado para conservação de grãos no Brasil sendo de 0,15% por mês de armazenamento (BAUDET; VILLELA, 2000). A quebra técnica nos grãos de soja 16% (bu) de teor de água inicial foi superior ao recomendado a partir do segundo mês de armazenamento, resultando em valores médios de 0,13%; 2,07% e 3,06% para 30, 60 e 90 dias de armazenamento, respectivamente.

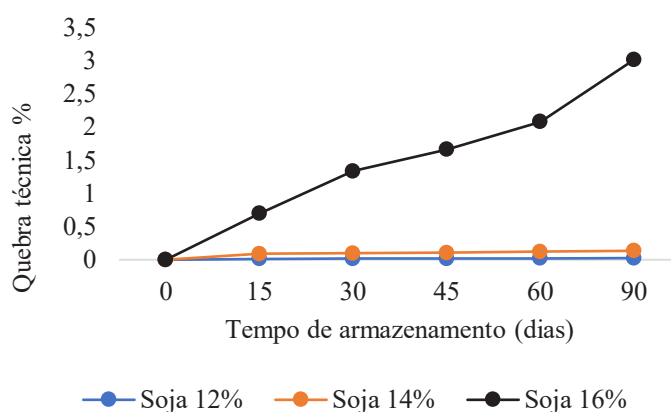


Figura 2. Percentual de quebra técnica dos grãos de soja em três teores de água iniciais ao longo do armazenamento.

O teor de água dos grãos reduziu entre 3 a 4 pontos percentuais (pp) entre 0 e 90 dias de armazenamento (Tabela 2), devido as trocas e vapor de água entre os grãos e o ar que promoveram o equilíbrio higroscópico da soja com o ar atmosférico (Corrêa et al., 2014). Para um armazenamento seguro de grãos de soja, recomenda-se que o teor de água não seja superior à 12% (bu) (Smaniotto et al., 2014). Ao final do armazenamento os silos com teores de água iniciais de 12 e 14% (bu) apresentaram teores de água abaixo ao recomendado para armazenamento com médias de 9,56 e 10,41% bu, respectivamente.

Os teores de proteína reduziram ao longo do armazenamento, com maior intensidade para os grãos com 16% (bu), indicando maior degradação dos grãos nesta condição (Tabela 1). Rani et al. (2013) relataram que o teor de proteína do feijão preto armazenado em diferentes teores de água das sementes (12, 14, 16, 18 e 20% bu) reduziu após 16 semanas de armazenamento, com maiores reduções associadas a grãos com teores de água elevados. Os valores médios de lipídios reduziram ao longo do armazenamento, os valores médios foram de 18,70 g 100 g⁻¹ no início do armazenamento, reduzindo para valores médios de 14,53 g 100 g⁻¹ no final dos 90 dias. Ziegler et al. (2016) também observaram a redução de aproximadamente 3% no teor de lipídios em soja armazenada a 16% (bu) de teor de água e a 25 °C. Os teores de água dos grãos de soja e o tempo de armazenamento não interferiram nos níveis de cinzas que apresentaram valores médios de 4,51 g 100 g⁻¹.

Tabela 1. Resultados médios do teor de água (g 100 g⁻¹) e proteína (g 100 g⁻¹) da soja armazenadas em três teores de água ao longo das épocas (dias) de armazenamento

Época (dias)	Teor de água g 100 g ⁻¹			Proteínas g 100 g ⁻¹		
	Silo (12%)	Silo (14%)	Silo (16%)	Silo (12%)	Silo (14%)	Silo (16%)
0	12,66 Aa	14,88 Ba	16,50 Ca	35,19 Aa	35,03 Aa	35,02 Aa
15	12,14 Ab	14,40 Bb	16,12 Cb	35,17 Aa	35,13 Aa	35,18 Aa
30	11,52 Ac	13,38 Bc	15,85 Cc	35,06 Aa	35,05 Aa	34,82 Aa
45	11,05 Ad	12,74 Bd	15,38 Cd	34,21 Ab	34,04 Ab	33,87 Ab
60	10,51 Ae	11,31 Be	14,71 Ce	31,62 Ac	31,58 Ac	30,85 Bc
90	9,56 Af	10,41 Bf	13,42 Cf	27,41 Ad	27,06 Ad	25,89 Bd

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na linha e maiúscula nas colunas não diferem entre si, a 5% de significância.

Os resultados da Tabela 2 indicam que houve redução na germinação em todos os tratamentos, sendo as maiores reduções verificadas na soja com teor de 16% (bu). As médias da condutividade elétrica aumentaram ao longo do armazenamento e os maiores valores encontrados foram para soja armazenada com maior teor de água.

Tabela 2. Valores médios de germinação (%) e proteína ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) da soja armazenada em três teores de água ao longo das épocas de armazenamento

Época (dias)	Germinação (%)			Condutividade $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$		
	Silo (12%)	Silo (14%)	Silo (16%)	Silo (12%)	Silo (14%)	Silo (16%)
0	96,44 Aa	96,66 Aa	96,33 Aa	71,16 Ae	71,19 Ae	71,31 Af
15	92,88 Aa	92,44 Ab	80,66 Ab	71,06 Be	71,04 Be	88,31 Ae
30	77,55 Ab	77,11 Ac	67,33 Ac	93,11Bd	93,45 Bd	122,49 Ad
45	70,44 Ac	68,66 Ad	62,66 Ad	98,51 Bc	99,04 Bc	133,01 Ac
60	66,44 Ad	65,11 A d	48,66 Be	127,92 Bb	128,38 Bb	144,24 Ab
90	58,88 Ae	57,33 Ae	38,44 Bf	151,09 Ba	152,53 Ba	168,64 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na linha e maiúscula nas colunas não diferem entre si, a 5% de significância.

Houve redução na germinação da soja ao longo do armazenamento, sendo que nos grãos com teor de água inicial 16% (bu) esta redução foi superior à 45 pontos percentuais (Tabela 3). A redução da germinação decorre das alterações que ocorrem na estrutura das membranas dos grãos sendo mais expressivas quando a temperatura e o teor de água dos grãos são elevados, que resultam em perda da qualidade do produto durante o armazenamento (Lin, 1988). Neste mesmo sentido, a condutividade elétrica aumentou ao longo do armazenamento e foi maior nos grãos de soja armazenados com teor de água inicial de 16% (bu).

O aumento da condutividade elétrica pode indicar a presença de grãos danificados e quanto maior o teor de água mais susceptíveis estavam ao ataque de insetos e microrganismos.

CONCLUSÃO

Os grãos de soja armazenados inicialmente com 16% (bu) de teor água apresentaram maiores perdas associadas a elevação dos níveis de CO_2 . O aumento na emissão de CO_2 na atmosfera interna do silo sinaliza o início da deterioração dos grãos e pode ser utilizado como uma ferramenta para tomada de decisão, visando a prevenção e a diminuição das perdas de qualidade do produto durante o armazenamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C.; FARONI, L. R. D. Efeito das condições e período de armazenagem sobre a viabilidade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v.4, p.1-7, 2000.

AOAC (2000) Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis** of the Association of Official Analytical Chemists. Arlington: A.O.A.C. 17th.

BAUDET, L.M; VILLELA, F.A. Amazement. **Seed News**, v.4, n.4, p.28- 32, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. p.399.

CORRÊA, P.C.; BOTELHO, F.M.; BOTELHO, S.C.C.; GONELI, A.L.D. Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canephora*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p.1047-1052, 2014.

DILLAHUNTY, A. L.; SIEBENMORGEN, T. J. BUESCHER, J. B. SMITH, D. E. MAUROMOUSTAK, A. Efeito do teor de umidade e temperatura na taxa de respiração do arroz. **Cereal Chemistry**, 77, pp. 541 – 543, 2000.

LIKHAYO, P.; BRUCE, A.Y.; TEFERA, T.; MUEKE, J. Maize grain stored in hermetic bags: effect of moisture and pest infestation on grain quality. **Journal of Food Quality**, v.2018, p.1-9, 2018.

LIN, S. S. Efeito do período de armazenamento na lixiviação eletrolítica dos solutos celulares e qualidade fisiológica da semente de milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v.10, p.59-67, 1988.

NEETHIRAJAN, S. FREUND, M. S. JAYAS, D. S. SHAFI, C. THOMSON, D. J. White. Development of carbon dioxide (CO₂) sensor for grain quality monitoring. **Biosystems engineering**. v.106, p. 395 - 404, 2010.

NEVES, E.; SAVELLI, R. A. Determinação da perda de peso de grãos de milho armazenados através de diferentes métodos. **Enciclopédia biosfera**, v. 14, n. 26, p. 257-270, 2017.

RANI, P.R. CHELLADURAI, V, JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; KAVITHA-ABIRAMI, C.V. Storage studies on pinto beans under different moisture contents and temperature regimes. **Journal of Stored Products Research**, v. 52, p. 78-85, 2013.

SCHIAVON, R. A.; NOGUEIRA, I. S.; BORGES, G. B.; HOLANDA, H. S.; CASTRO, L. K. Arduino uma tecnologia de baixo custo para a termometria de grãos armazenados. **Brazilian Journal of Development**. v. 5, n. 10, p. 18825-18839, 2019.

SMANIOTTO, T. A. de S.; RESENDE, O.; MARÇAL, K. A. F.; OLIVEIRA, D. E.; SIMON, G. A. Qualidade fisiológica de sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.4, p.446–453, 2014.

SHAHIN, M. A. SYMONS, S. J. Detecção de grãos danificados por Fusarium no Canadá Trigo Western Red Spring usando imagem hiperespectral visível/infravermelho próximo e análise de componentes principais, *Comput. Elétron. Agrícola*, v.75, p.107-112, 2011.

SULEIMAN, R.; BERN, C.J.; BRUMM, T.J.; ROSENTRATER, K.A. Impact of moisture content and maize weevils on maize quality during hermetic and non-hermetic storage. *Journal of Stored Products Research*, v.78, p.1-10, 2018.

SULEIMAN, R.A.; ROSENTRATER, K.A. Measured and predicted temperature of maize grain (*Zea mays* L.) under hermetic storage conditions. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, v.7, n.1, p.1-10, 2016.

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. **Teste de condutividade elétrica**. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 1. ed. Londrina: ABRATES, 1999. cap. 4, p. 1-26.

ZIEGLER, V. MARINI, L.J. FERREIRA, C.D. BERTINETTI, I.A. SILVA, W.S.V. GOEBEL, J.T. OLIVEIRA, M. ELIAS, M.C. Effects of temperature and moisture during semi-hermetic storage on the quality evaluation parameters of soybean grain and oil *Semina Ciências Agrárias*, 37, pp. 131-144, 2016.