

VARIAÇÕES NA TEMPERATURA, UMIDADE RELATIVA DO AR E CO₂ INTERGRANULAR AO LONGO DO DIA EM GRÃOS DE ARROZ ARMAZENADOS

**João Guilherme Trevisan Spagnollo¹; Rafael Schmechel Sell²; Adamo de Sousa
Araújo³; Marcos Vinicius Dos Santos Leitzke⁴; Ricardo Scherer Pohndorf⁵.**

¹ Estudante de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Pelotas. Pelotas – RS. E-mail: joaoguilhermesspagnollo66@gmail.com

² Estudante de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Pelotas. Pelotas – RS. E-mail: rafael.sell@outlook.com

⁵ Professor de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Pelotas. Pelotas – RS. E-mail: ricardoscherer.eng@gmail.com

RESUMO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, sendo alimento básico de relevância econômica e nutricional. A conservação de sua qualidade depende do armazenamento adequado, no qual o monitoramento de variáveis como temperatura, umidade relativa e dióxido de carbono (CO₂) é essencial para reduzir perdas e assegurar a estabilidade da massa de grãos. Nesse contexto, o trabalho avaliou o comportamento de grãos de arroz em silos experimentais, com diferentes teores de água iniciais. O experimento foi conduzido em três silos cilíndricos de aço galvanizado (300 mm de diâmetro e 1500 mm de altura), cada um armazenando aproximadamente 40 kg de arroz com teores de umidade de 12%, 13,5% e 15%. O monitoramento interno foi realizado com sensores DS18B20 (temperatura), SHT45 (umidade relativa e temperatura) e MH-Z16 (CO₂), conectados a um microcontrolador ESP32, que registrou os dados a cada hora, durante 24 horas. Os resultados indicaram que o silo com 12% de umidade apresentou maior estabilidade térmica próxima a 20 °C, menores valores de CO₂ e umidade relativa ~60%, refletindo baixa atividade metabólica. Em contrapartida, os silos com 13,5% e 15% mostraram elevação da temperatura acima de 25 °C, maior acúmulo de CO₂ >750 ppm e valores de umidade superiores a 80%, associados à intensificação da respiração dos grãos e possíveis processos microbiológicos. Conclui-se que menores teores de umidade inicial favorecem a conservação do arroz armazenado e que o uso de sensores eletrônicos representa uma alternativa eficiente para monitoramento e prevenção de perdas.

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza Sativa* L.) é considerado um dos cereais mais cultivados no mundo devido as propriedades econômicas e nutricionais, pertencente à família Poaceae, cultura que é alimento básico e fundamental no mundo todo (WALTER et al., 2008).

Os silos constituem estruturas fundamentais para a manutenção da qualidade dos grãos ao longo do tempo, o que explica sua ampla utilização em indústrias e unidades de produção animal. Nesse contexto, observa-se uma crescente adoção de sistemas informatizados de armazenagem têm substituído os métodos de controle manual, que demandam tempo e mão de obra (FERREIRA, 2024).

No armazenamento de grãos, o monitoramento da temperatura dos silos é indispensável, pois elevações indicam atividade metabólica dos grãos e microrganismos, comprometendo a qualidade. Nessas situações, torna-se necessária a adoção de estratégias de manejo que promovam a redução uniforme da temperatura, garantindo a conservação da massa (ELIAS et al., 2018).

A ausência de monitoramento eficiente pode resultar em perdas significativas, decorrentes da deterioração da massa de grãos, enquanto, sistemas automatizados oferecem dados em tempo real, permitindo decisões preventivas possibilitando decisões ágeis frente a eventuais problemas. Nesse contexto, este estudo avaliou o comportamento dos grãos em um protótipo de silo, projetado para reproduzir condições de armazenagem reais, equipado com sensores de temperatura, umidade relativa e concentração de dióxido de carbono (CO₂).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Engenharia de Pós-colheita, utilizando um protótipo de silo em escala reduzida, desenvolvido para simular as condições de armazenamento de grãos. O protótipo foi constituído por três cilindros confeccionados em aço galvanizado, cada um com 300 mm de diâmetro e 1500 mm de altura. Foi armazenado aproximadamente de 40 kg de grãos de arroz por unidade.

Os grãos foram previamente padronizados quanto ao teor de água, ajustados para três diferentes condições: 12% (silo 1), 13,5% (silo 2) e 15% (silo 3), determinados segundo as metodologias descritas nas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Após a homogeneização, a massa de grãos foi acondicionada de forma uniforme no interior dos silos

experimentais.

O monitoramento das condições internas foi realizado por meio de sensores eletrônicos instalados em diferentes pontos da massa armazenada. Para isso, empregou-se o sensor DS18B20, destinado à mensuração da temperatura, o SHT45, utilizado para a determinação simultânea da umidade relativa do ar e da temperatura, e o MH-Z16, responsável pela medição da concentração de dióxido de carbono (CO_2).

Todos os sensores foram conectados a um microcontrolador ESP32, responsável pela coleta e transmissão dos dados. As informações foram registradas em intervalos de uma hora, ao longo de um período de 24 horas. Foram coletados dados do dia 31/08/2025 e posteriormente armazenadas em planilhas do software *Microsoft Excel*, utilizado para a organização e análise dos resultados.

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva, através do *SigmaPlot 15.0*, permitindo a caracterização do comportamento da massa de grãos em relação às variáveis monitoradas temperatura, umidade relativa e concentração de CO_2 .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se comportamentos distintos conforme o teor de umidade inicial (Figura 1). O silo com 12% manteve temperatura estável, próximas a 20 °C, indicando baixa atividade metabólica, enquanto os silos de 13,5% e 15% apresentaram elevação acima de 25 °C após 12 horas, associada à maior respiração dos grãos. As variações ocorreram principalmente em função da umidade inicial, e não do ambiente externo.

No silo de 15%, registrou-se o maior acúmulo de CO_2 , acima de 750 ppm, refletindo intensa respiração celular e maior degradação do material armazenado. O silo de 13,5% apresentou valores intermediários, enquanto o de 12% manteve a concentração de CO_2 estável e próxima à condição externa, reforçando a importância de teores de umidade mais baixos para retardar a deterioração.

A umidade relativa variou com o teor de água dos grãos. O silo com 15% manteve valores em torno de 80%, criando condições favoráveis à proliferação de microrganismos, enquanto o de 12% estabilizou em níveis próximos a 60%. O silo de 13,5% apresentou valores intermediários, mas com leve tendência de aumento ao longo do período. A condição externa mostrou oscilações mais acentuadas, demonstrando que o silo atuou como regulador microclimático, uma vez que não foi realizada aeração, embora a umidade inicial dos grãos tenha sido determinante para a dinâmica interna.

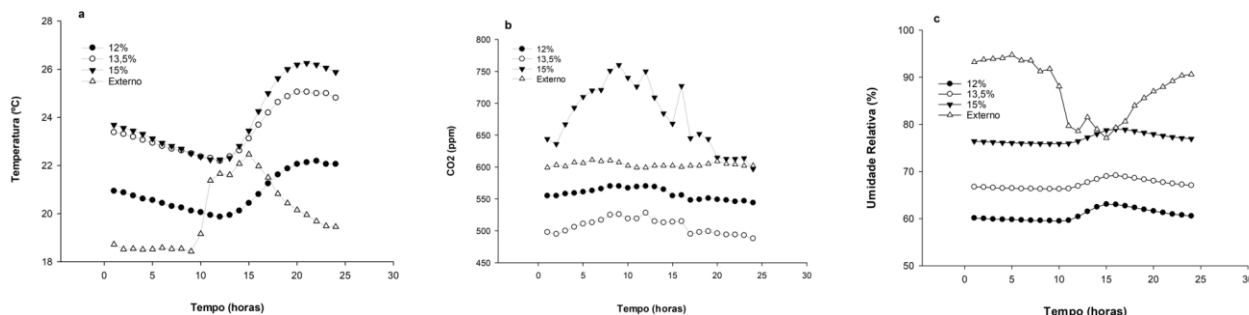


Figura 1: Variação da temperatura (a), concentração de dióxido de carbono – CO₂ (b) e umidade relativa do ar (c) em grãos de arroz armazenados em silos experimentais com diferentes teores de água iniciais (12%, 13,5% e 15%) durante 24 horas de monitoramento, comparados às condições externas.

Fonte: Autores.

4. CONCLUSÃO

O monitoramento da massa de grãos em silos experimentais evidenciou que o teor de umidade inicial exerce influência direta sobre a estabilidade do armazenamento. O silo com 12% apresentou condições mais estáveis de temperatura, umidade relativa e CO₂, demonstrando menor atividade metabólica e maior conservação da massa. Já os silos com 13,5% e 15% mostraram elevação gradual desses parâmetros, indicando maior respiração e risco de deterioração. Os resultados confirmam a importância de manter baixos teores de água dos grãos no armazenamento de arroz, reforçando a eficiência do uso de sensores eletrônicos no acompanhamento em tempo real, como ferramenta para prevenir perdas e subsidiar práticas de manejo mais seguras e sustentáveis.

5. REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009.

ELIAS, M.C.; OLIVEIRA, M.; VAINER, N. L. **Tecnologias de pré-armazenamento, armazenamento e conservação de grãos**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2018.

FERREIRA, Rafael Florenciano. **Sistema de monitoramento interno para silos elevados de armazenagem de grãos**. 2024. 58 f. Monografia (Graduação em Sistemas de Informação) – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2024.

WALTER, Melissa et al. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 38, n. 4, p. 1184-1192, ago. 2008. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782008000400049>. Acesso em: 16 set. 2025.