

## MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS PSICROMÉTRICAS E PRODUÇÃO DE CO<sub>2</sub> NO ARMAZENAMENTO DE ARROZ COM DIFERENTES TEORES DE UMIDADE

**RAFAEL SCHMECHEL SELL<sup>1</sup>; MARCOS VINICIUS DOS SANTOS LEITZKE<sup>2</sup>;**  
**MAIARA SCHELLIN PIEPER<sup>3</sup>; ADAMO DE SOUZA ARAÚJO<sup>4</sup>; RICARDO SCHERER POHNDORF<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>UFPel-Universidade Federal de Pelotas – [rafael.sell@outlook.com](mailto:rafael.sell@outlook.com)

<sup>2</sup>UFPel-Universidade Federal de Pelotas – [marcosvinileitzke@gmail.com](mailto:marcosvinileitzke@gmail.com)

<sup>3</sup>UFPel-Universidade Federal de Pelotas – [maiaraampieper@gmail.com](mailto:maiaraampieper@gmail.com)

<sup>5</sup>UFPel-Universidade Federal de Pelotas – [adamoeng@gmail.com](mailto:adamoeng@gmail.com)

<sup>5</sup>UFPel-Universidade Federal de Pelotas – [ricardoscherer.eng@gmail.com](mailto:ricardoscherer.eng@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das culturas mais cultivadas e consumidas globalmente. Na safra 2024/25 a produção brasileira atingiu 12.320,6 mil toneladas, sendo 16,5% a mais que na safra anterior. O Rio Grande do Sul se destaca como principal produtor, sendo responsável por aproximadamente 70% da produção nacional (CONAB, 2025).

Diante deste cenário, o armazenamento dos grãos colhidos é essencial antes de realizar a comercialização do mesmo, contudo, a infraestrutura de armazenagem no Brasil ainda apresenta limitações significativas. Segundo AGWEB (2023), apenas 15% das fazendas brasileiras possuem armazéns ou silos, além disso, dados mais recentes apontam que em janeiro de 2025 a capacidade de armazenagem do Brasil era suficiente para armazenar apenas 58,9% da produção total de grãos (PRESSINOTT, 2025).

Essa limitação estrutural reforça a importância de adotar estratégias adequadas de conservação, uma vez que, o alto nível de teor de água ou temperatura na massa de grãos podem alterar a atividade metabólica e a respiração do produto, dependendo do ecossistema de armazenamento (ZHANG et al., 2014). Para MÜLLER et al. (2022), as condições ideais para garantir a qualidade do arroz por até 12 meses, é recomendado mantê-lo em um ambiente controlado, com teor de água entre 11% e 15%, temperaturas variando de 16 °C a 20 °C e umidade relativa intergranular próxima de 60%.

A termometria e a aeração se destacam como práticas essenciais para monitorar a temperatura e evitar a perda de grãos, além de melhorar as condições e manter a qualidade do produto armazenado (KHATCHATOURIAN et al., 2017). A aeração é definida como o movimento de ar ambiente através da massa de grãos com temperatura e umidade adequadas (BINELO et al., 2019). Já a termometria é um método para medir a temperatura utilizando uma rede de sensores posicionados de forma estratégica na massa de grãos. Assim, o uso combinado dessas práticas contribui de forma significativa para preservar a integridade do arroz ao longo do tempo. Porém, mesmo com sensores de temperatura posicionados na massa de grãos, é comum a ocorrência de focos de calor e umidade entre os sensores, e uma demora na detecção do aumento de temperatura da massa de grãos pelos sensores, ocasionando perdas qualitativas e proliferação de insetos e fungos. Neste sentido, o uso de sensores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pode auxiliar na rápida detecção dos focos de calor e umidade.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo realizar o monitoramento da temperatura e umidade relativa intergranular e a produção de

CO<sub>2</sub> em um período de dois meses de arroz armazenado, este com diferentes teores de umidade em cada silo, analisando as alterações nessas variáveis psicrométricas.

## 2. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido no Laboratório de Engenharia de Pós-Colheita de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Foram utilizados grãos de arroz da variedade Irga 424, colhidos no sul do Rio Grande do Sul da safra 24/25 com teor de umidade inicial de 22%, os quais foram secos até atingirem diferentes teores de água para o armazenamento (12%, 13,5% e 15%).

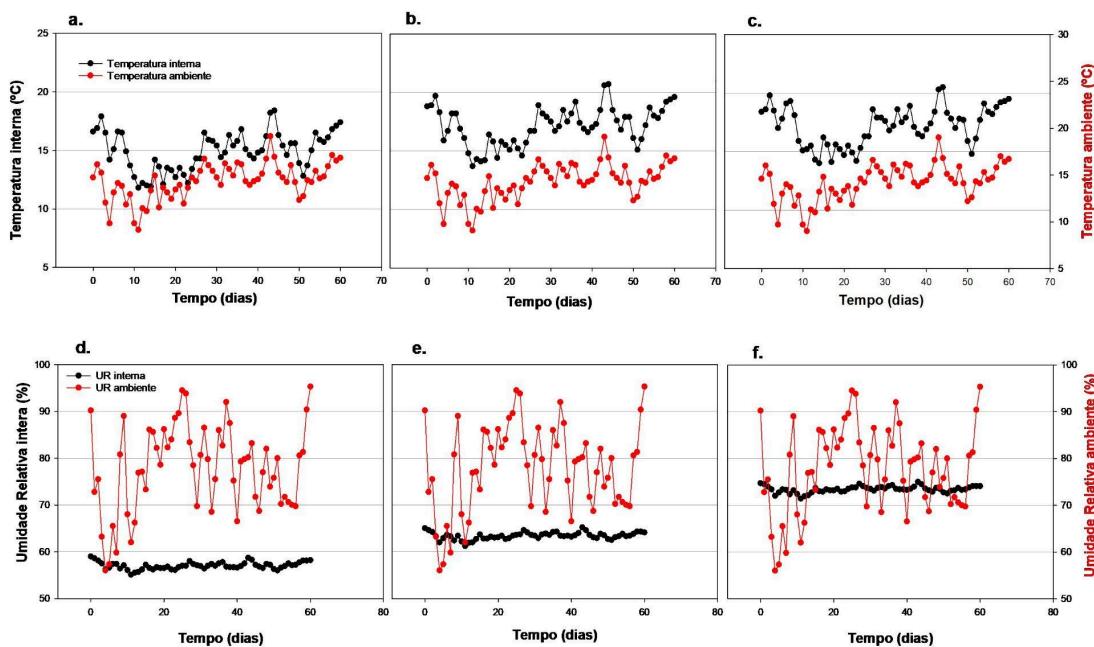
Para o experimento, foram construídos três protótipos de silos, com dimensões de 120 cm de altura e 30 cm de diâmetro, projetados para simular de forma realista as condições de armazenagem. Em cada silo, foram acondicionados 40 kg de grãos de arroz em casca com os diferentes teores de água, sendo os grãos armazenados por um período de dois meses (julho e agosto). Foram instalados sensores de temperatura, umidade relativa e CO<sub>2</sub> em diferentes pontos, tanto no interior quanto no exterior dos silos. A coleta dos dados ocorreu de forma automática, em intervalos de hora em hora, durante todo o período experimental.

Os dados obtidos foram organizados em planilhas no *Microsoft Excel*, onde foram calculadas as médias diárias. Posteriormente, as análises estatísticas e a elaboração dos gráficos foram realizadas no software *SigmaPlot 15*, comparando-se os parâmetros internos dos silos, em cada nível de umidade, com as condições externas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

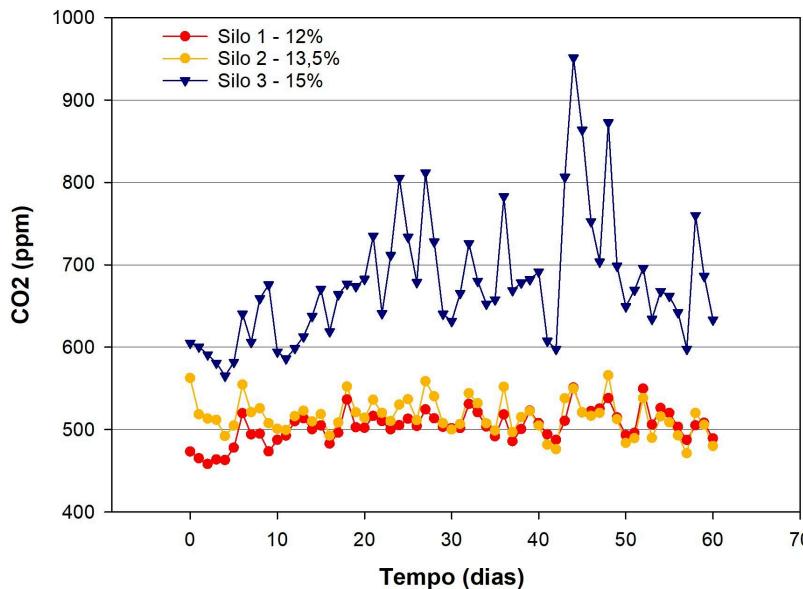
A Figura 1 apresenta as curvas de temperatura e umidade relativa do ar intersticial no armazenamento de grãos de arroz com diferentes teores de água inicial. Ao longo do período de armazenamento, observou-se que a temperatura interna da massa de grãos variou proporcionalmente com a temperatura externa. De forma geral, a temperatura interna apresentou valores superiores à temperatura ambiente em todos os tratamentos. Isto está relacionado com o fato do armazenamento ocorrer no inverno, sendo a temperatura ambiente mais baixa. No teor de umidade de 12%, essa diferença entre as temperaturas interna e externa foi pequena, com variações pouco expressivas. Já nos teores de água de 13,5% e 15%, as variações internas de temperatura foram mais acentuadas, evidenciando maior atividade metabólica dos grãos com maior teor de água.

Em relação à umidade relativa interna da massa de grãos, os resultados mostraram que ela não acompanhou as variações da umidade relativa do ar externo, mantendo-se praticamente estável ao longo de todo o período experimental para as três amostras analisadas. No entanto, quando comparada aos diferentes teores de água dos grãos, observou-se um comportamento distinto, quanto maior o teor de água, maior foi a umidade relativa interna, indicando uma relação direta entre essas variáveis. Isto se deu devido ao equilíbrio higroscópico do grãos com o ar intersticial. Os grãos armazenados com teores de água incial de 12%, apresentaram umidade relativa do ar intersticial variando entre 55 e 60%. Nos grãos armazenados com 13,5% de teor de água, a umidade relativa do ar variou aproximadamente entre 60 e 65% e por fim, para os arroz armazenado com teor de água de 15%, a umidade relativa do ar variou entre 70 e 75%, aproximadamente.



**Figura 1.** Temperatura interna vs temperatura ambiente, 12% (a), 13,5% (b) e 15% (c), UR interna vs UR ambiente, 12% (d), 13,5% (e) e 15% (f).

Na Figura 2, observa-se a concentração de CO<sub>2</sub> em diferentes teores de água inicial dos grãos durante o armazenamento. Nos silos com teores de água de 12% e 13,5%, os níveis de CO<sub>2</sub> apresentaram comportamentos semelhantes, com valores relativamente estáveis, embora no teor de 13,5% tenham ocorrido picos de concentração levemente mais acentuados. Já no silo com 15% de teor de água inicial, verificou-se uma taxa de respiração significativamente mais intensa, com tendência de aumento ao longo do tempo, indicando maior atividade metabólica da massa de grãos devido ao maior teor de água.



**Figura 2.** Produção de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo entre os teores de água de 12, 13,5 e 15%.

A taxa de respiração dos grãos de arroz está diretamente relacionada ao seu teor de água. Quando esse teor ultrapassa 20–25%, a respiração torna-se

ainda mais acentuada, podendo ocasionar o amarelecimento e a degradação dos grãos durante o armazenamento (DILLAHUNTY et al., 2000).

#### 4. CONCLUSÕES

No presente estudo, verificou-se que o armazenamento de grãos com teores de umidade elevados resulta em maiores valores de temperatura interna, aumento da umidade relativa intergranular e incremento na concentração de CO<sub>2</sub> intergranular. Essas condições favorecem a aceleração do processo de deterioração, comprometendo a qualidade e a conservação do produto.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGWEB. BRAZIL Is Short on Bin Space As Grain Output Outpaces Storage Capacity. AgWeb, 2 fev. 2023. Disponível em: <<https://www.agweb.com/markets/world-markets/brazil-short-bin-space-grain-output-outpaces-storage-capacity?>>. Acesso em: 27 ago. 2025.

BINELO, M. O.; FAORO, V.; KHATCHOURIAN, O. A.; ZIGANSHIN, B. Airflow simulation and inlet pressure profile optimization of a grain storage bin aeration system. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 164, p. 104923, 2019.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 12, safra 2024/25, n. 11 décimo primeiro levantamento, agosto 2025. Disponível em:[https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safr-a-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/11o-levantamento-safra-2024-25/e-book\\_boletim-de-safras-11o-levantamento-2025.pdf](https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safr-a-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/11o-levantamento-safra-2024-25/e-book_boletim-de-safras-11o-levantamento-2025.pdf). Acesso em: 25 ago. 2025.

DILLAHUNTY, A.; SIEBENMORGGEN, T.; BUESCHER, R.; SMITH, D.; MAUROMOUSTAKOS, A. Efeito do teor de umidade e da temperatura na taxa de respiração do arroz. *Cereal Chemistry*, v. 77, p. 541-543, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.5.541>. Acesso em: 25 ago. 2025.

KHATCHOURIAN, O. A.; BINELO, M. O.; NEUTZLING, R.; FAORO, V. Models to predict the thermal state of rice stored in aerated vertical silos. *Biosystems Engineering*, v. 161, p. 14-23, 2017.

MÜLLER, A. et al. Rice Drying, Storage and Processing: Effects of Post-Harvest Operations on Grain Quality. *Rice Science*, v. 29, n. 1, p. 16–30, jan. 2022. DOI: [10.1016/j.rsci.2021.12.002](https://doi.org/10.1016/j.rsci.2021.12.002).

PRESSINOTT, F. Armazenagem atende só 59% da safra no Brasil. *Globo Rural*, 30 jun. 2025. Disponível em: <https://globorural.globo.com/agricultura/noticia/2025/06/armazenagem-atende-so-59percent-da-safra-no-brasil.ghml>. Acesso em: 27 ago. 2025.

ZHANG, S. B.; ZHAI, H. C.; HUANG, S. X.; CAI, J. P. A site-directed CO<sub>2</sub> detection method for monitoring the spoilage of stored grains by insects and fungi in Chinese horizontal warehouses. *Journal of Stored Products Research*, v. 59, p. 146-151, 2014.