

Tornando Inteligentes Secadores de Grãos de Baixo Custo

Andressa Assae Perri Tamara Rodrigues¹, Lanes Beatriz Acosta Jaques¹,
Débora Taís Neves Barros¹, Fábio Righi da Silva¹, Rodrigo Brandão Mansilha¹

¹ ¹Campus Alegrete – Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)

{andressatamara, deborabarros}.aluno@unipampa.edu.br

{lanesjaques, fabiosilva, rodrigomansilha}@unipampa.edu.br

Abstract. *Family farming faces significant challenges in the post-harvest stage, especially in grain drying. This process aims to achieve a moisture range considered safe (11–13%) to improve grain preservation and quality during storage. However, in many operations (both small and large), drying parameters are still defined based on the operator's empirical experience, which can compromise efficiency and deteriorate the quality of the final product. This work proposes investigating Machine Learning techniques to optimize the parameters of a low-cost grain dryer designed for the context of family farming, currently being developed as part of a broader project. This represents the first step toward adding intelligence to an innovative, efficient, sustainable, and accessible solution to improve drying processes.*

Resumo. *A agricultura familiar enfrenta desafios significativos na etapa de pós-colheita, especialmente na secagem de grãos. Esse processo busca atingir uma faixa de umidade considerada segura (11–13%) para melhorar a conservação e a qualidade dos grãos durante o armazenamento. No entanto, em muitas operações (pequenas e grandes), os parâmetros de secagem ainda são definidos com base na experiência empírica do operador, o que pode comprometer a eficiência e deteriorar a qualidade do produto final. Este trabalho propõe a investigação de técnicas de Aprendizado de Máquina para otimizar os parâmetros de um secador de grãos de baixo custo voltado para a realidade da agricultura familiar que está sendo desenvolvido em projeto mais amplo. Este é o primeiro passo em direção à agregação de inteligência a uma solução inovadora, eficiente, sustentável e acessível para melhorar os processos de secagem.*

1. Introdução

No Brasil, a agricultura familiar corresponde a 77% dos estabelecimentos rurais e impulsiona a economia de 90% dos municípios com até 20 mil habitantes [IBGE 2017], porém encontra dificuldades para modernizar seus processos [Santos et al. 2024]. Entre as etapas da pós-colheita, a secagem é crítica para reduzir o teor de água a níveis seguros, assegurando a conservação e a qualidade dos grãos durante o armazenamento. Uma secagem inadequada pode resultar em perdas expressivas: a secagem insuficiente aumenta o risco de deterioração e contaminação por fungos, enquanto a excessiva implica desperdício energético, redução de massa e queda da qualidade fisiológica. Além disso, o processo de secagem demanda tempo significativo e elevado consumo de energia, tornando-se ainda mais desafiador para pequenos produtores e agricultores familiares, que muitas vezes não dispõem de infraestrutura adequada ou de sistemas energeticamente eficientes.

Apesar da relevância da secagem, muitos operadores, sobretudo na agricultura familiar, ainda definem parâmetros como temperatura, tempo e fluxo de ar de forma empírica, o que pode resultar em degradação de qualidade e ineficiência energética. Em [Nath et al. 2024], os autores destacam que parte significativa dos grãos de cereais é perdida anualmente por manuseio inadequado, baixa eficiência técnica e infraestrutura insuficiente. Com o avanço da automação, surgiram estratégias mais precisas: [Schmidt et al. 2018] descreveram um sistema baseado em CLP que otimizou o controle de temperatura e reduziu o consumo de recursos, enquanto [Jibril et al. 2024] mostraram que a combinação de infravermelho distante, placas de grafeno e aprendizado de máquina permite prever com precisão a cinética de secagem de milho. A tese de [Acosta 2017] estabeleceu as bases metodológicas para o uso de aprendizado de máquina na predição da qualidade de grãos durante o transporte. Estudos internacionais têm explorado redes neurais e modelos não lineares para prever curvas de umidade ao longo do tempo [Xing et al. 2024]. Os secadores rotativos comerciais disponíveis¹ atendem principalmente grãos de alto valor, como café e cacau, e possuem custo elevado. Além disso, ainda não incorporam tecnologias modernas, como a radiação infravermelha, que poderia tornar o processo mais eficiente e acessível.

Estamos desenvolvendo uma solução de secagem de grãos de baixo custo para ser usado pela agricultura familiar, por exemplo. Neste artigo propomos a investigação de técnicas de Aprendizado de Máquina para otimizar a secagem de grãos considerando múltiplos objetivos incluindo a qualidade final dos grãos (e.g., entre 11% e 13%), eficiência energética e restrições, como aquelas impostas no âmbito da agricultura familiar. Nosso sistema poderá receber como entrada múltiplos parâmetros: duração da secagem (e.g., 1h a 5h), volume de grãos (e.g., entre 10 e 50 kg), velocidade do ar de secagem (e.g., 0,4, 0,9, 1,2, 1,6, 2,0 m/s), temperatura de secagem (e.g., 40, 65 e 90°C), velocidade de rotação do cilindro (e.g., 0,20 - 0,84 rpm) e potência da radiação (4, 6 8 kW). Como primeiro passo, vamos considerar especificamente grãos de milho para fazer a validação do protótipo.

2. Materiais e Métodos

A Figura 1 apresenta (a) uma visão geral dos materiais e métodos a serem utilizados nesta proposta de trabalho e (b) uma ilustração do secador onde aplicaremos a inteligência.



Figura 1. Visão Geral: (a) Materiais e Métodos, e (b) secador.

Secador Rotativo de Baixo Custo. Estamos prototipando um secador portátil do tipo rotativo, com capacidade estática de até 50 kg de milho. O sistema conta com uma câmara cilíndrica rotativa, suspensores internos para movimentação dos grãos, sistema de aquecimento por radiação infravermelha e alimentação elétrica. Essa configuração deve permitir secagem homogênea, eficiência energética e aplicabilidade em agricultura familiar.

¹Por exemplo, <https://pinhalense.com.br/cafe/secagem/secadores/>.

Análise de Grãos. Para a análise da qualidade dos grãos serão consideradas as seguintes variáveis: classificação e identificação de defeitos, peso de mil grãos, germinação, condutividade elétrica, pH, acidez e viscoamilografia. Esses parâmetros serão utilizados para avaliar as condições dos grãos antes e após o processo de secagem.

Dimensionamento do Secador. Para dimensionar o secador e otimizar o processo de secagem, consideramos as seguintes constantes: densidade aparente do milho (750 kg/m^3), coeficiente de enchimento do cilindro (0,5), fluxo de ar (até $10 \text{ m}^3/\text{min.t}$) e tempo de residência determinado pela rotação e comprimento do tambor. Aplicamos equações clássicas de engenharia de secagem para calcular massa de grãos, diâmetro do tambor, vazão de ar necessária e carga nos suspensores, visando garantir mistura adequada e aquecimento uniforme.

Análise da Eficiência Energética. A eficiência energética será avaliada a partir da relação entre potência fornecida e potência útil transferida ao fluido de secagem, considerando variáveis de entrada como temperatura, fluxo de ar e dados de saída: massa de água retirada dos grãos. Também será determinada a eficiência mássica, calculada pela razão entre a massa inicial e final de água presente nos grãos.

3. Metodologia Proposta

Para otimizar a secagem de grãos de milho para agricultura familiar considerando múltiplos objetivos (qualidade do grão e eficiência energética) e múltiplos parâmetros de entrada (temperatura e velocidade do ar, giro do tambor, etc.) propomos a investigação de métodos de aprendizagem de máquina. A Figura 2 apresenta uma visão geral da investigação proposta. Em resumo, iniciaremos com um processo experimental para obter dados necessários para treinamento de algoritmos de aprendizado de máquina. Posteriormente, os algoritmos poderão ser alimentados com mais dados para maior precisão em ambientes mais diversificados conforme o secador seja utilizado.

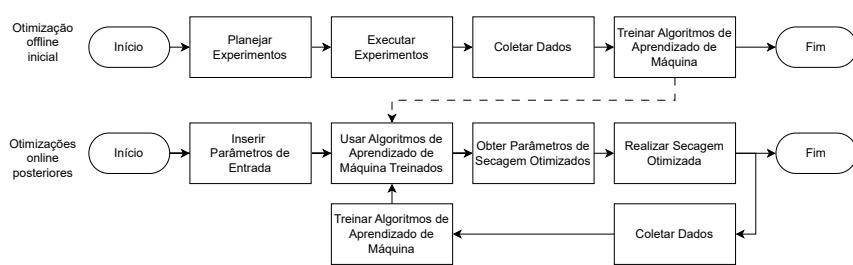


Figura 2. Metodologia Proposta para Otimizar a Secagem de Grãos.

Inicialmente faremos os processos de entrada e saída de dados de maneira manual (ou semi-automatizada). Futuramente, esperamos explorar tecnologias IoT e computação em nuvem para permitir treinamento federado, por exemplo.

Aprendizagem de Máquina. Os dados coletados (de entrada e saída) serão submetidos a pré-processamento e normalização. Por exemplo, adotaremos técnicas de *clustering* (k-means e DBSCAN) para identificar perfis de secagem e remover *outliers*.

Começaremos explorando modelos de referência (e.g., Regressão Linear e Random Forest). Posteriormente, exploraremos modelos avançados, como redes neurais arti-

ficiais. Para comparar os diversos algoritmos, aplicaremos métricas de desempenho como R^2 , RMSE e MAE para regressão; acurácia e F1-score para previsão.

Validação experimental. O secador será testado em condições de laboratório e de campo, variando parâmetros como temperatura do ar, fluxo de ar e velocidade de rotação. Serão avaliadas curvas de cinética de secagem, eficiência energética e qualidade fisiológica dos grãos após o processo. Modelos matemáticos e empíricos (Newton, Page, Midilli) serão ajustados às curvas experimentais para descrever o comportamento da secagem.

Resultados Esperados. O modelo proposto visa: (i) estimar com precisão o tempo de secagem necessário para que os grãos atinjam o teor de umidade seguro (11–13%); (ii) realizar a classificação automatizada da qualidade final, considerando parâmetros físicos e fisiológicos; (iii) reduzir secagens excessivas, promovendo maior eficiência energética; e (iv) validar a secagem por radiação infravermelha frente a técnicas convencionais.

O sistema oferecerá três modalidades de apoio à decisão: otimização do tempo de secagem (eficiência operacional), preservação da qualidade fisiológica (redução de danos e perdas de viabilidade) e equilíbrio entre tempo e qualidade final, ajustável às demandas do produtor. Essa flexibilidade amplia a aplicação prática do sistema, especialmente no fortalecimento da agricultura familiar.

4. Conclusão

Esta proposta de trabalho pretende agregar inteligência a um secador protótipo rotativo de grãos de baixo custo. Esperamos que adoção de técnicas de Aprendizado de Máquina possam melhorar a qualidade dos grão e a eficiência energética. Os resultados esperados apontam para uma solução acessível e sustentável, especialmente para a agricultura familiar, com potencial de aplicação em diferentes contextos produtivos.

Agradecimentos. Este trabalho recebeu apoio da FAPERGS.

Referências

- Acosta, L. (2017). *Uso de técnicas de aprendizado de máquina para predição da qualidade de grãos durante o transporte*. PhD thesis, Universidade Federal de Pelotas, Brasil.
- IBGE (2017). Censo agropecuário 2017. Acesso em: 10 nov. 2024.
- Jibril, A. M., Farah, S. T., and Shafie, A. S. (2024). Far infrared drying influence on machine learning algorithms in improving corn quality prediction. *Journal of Food Process Engineering*, 47(1):e14567.
- Nath, A., Singh, R., Sharma, P., and Kumar, V. (2024). Post-harvest cereal grain losses: causes, impacts and mitigation strategies. *Journal of Cereal Science*, 115:103789.
- Santos, N., Goulart, A., Kersten, D., Cornelio, J., Basso, F., and Mansilha, R. (2024). Proraf: Rastreamento da agricultura familiar. In *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pages 241–244, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Schmidt, L., Lorencena, M. C., and Teixeira, M. (2018). Controle de operações em secadores de grãos com redução do consumo de recursos naturais. *Revista de Informática Aplicada*, 14(1):26–37.
- Xing, S., Lin, Z., Gao, X., Wang, D., Liu, G., Cao, Y., and Liu, Y. (2024). Research on outgoing moisture content prediction models of corn drying process based on sensitive variables. *Applied Sciences*, 14(13):5680.