

## COMPARAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS NA SECAGEM DO MILHO

**Rafael Schmechel Sell<sup>1</sup>; Talisson Natan Tochtenhagen<sup>2</sup>; Marcos Vinícius dos Santos  
Leitzke<sup>3</sup>; Maiara Schellin Pieper<sup>4</sup>; Ricardo Scherer Pohndorf<sup>5</sup>.**

<sup>1</sup> Estudante de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Pelotas. Pelotas – RS. E-mail: rafael.sell@outlook.com.

<sup>2</sup> Estudante de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Pelotas. Pelotas – RS.

<sup>3</sup> Estudante de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Pelotas. Pelotas – RS.

<sup>4</sup> Estudante de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Pelotas. Pelotas – RS.

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

### RESUMO

O milho é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, destacando-se pela relevância econômica e social. O processo de secagem é essencial para garantir a qualidade e viabilidade de armazenamento dos grãos. Este trabalho teve como objetivo analisar comparativamente três modelos matemáticos, Lewis, Page e Henderson e Pabis, aplicados à cinética de secagem do milho amarelo. O experimento foi conduzido em secador de amostras, realizando medições periódicas da umidade até atingir valores inferiores a 14%. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos matemáticos, sendo calculados coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e variância explicada. Os resultados mostraram que o modelo de Page apresentou melhor desempenho ( $R^2 = 0,9981$ ), seguido pelo modelo de Henderson e Pabis ( $R^2 = 0,9929$ ) e pelo modelo de Lewis ( $R^2 = 0,9849$ ). Conclui-se que o modelo de Page é o mais adequado para descrever a cinética de secagem do milho amarelo, contribuindo para maior eficiência no planejamento de processos de pós-colheita.

## 1. INTRODUÇÃO

O milho é o segundo grão mais produzido e exportado no Brasil, atrás apenas da soja, consolidando o país como um dos principais exportadores agrícolas mundiais. De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2023), o Brasil é atualmente o maior exportador dessa cultura, destacando sua relevância econômica e social.

A secagem dos grãos pode ser realizada por diferentes métodos. A tradicional, de forma solar ou natural, utiliza vento e calor no campo, mas é lenta e limitada em certas condições. Já os secadores artificiais, que empregam fontes de energia como a elétrica, permitem reduzir rapidamente a umidade em diferentes temperaturas (SOUZA; RUFFATO, 2021).

Modelos matemáticos são amplamente aplicados para estimar o tempo de secagem e apoiar decisões no processo (ANDRADE et al., 2003; SIQUEIRA et al., 2013; SILVA et al., 2016). A cinética de secagem descreve a velocidade de perda de água, geralmente representada por curvas sigmóides decrescentes (BOTELHO et al., 2018; FURTADO et al., 2019a, 2019b). Nesse contexto, o presente trabalho compara três modelos matemáticos (Lewis, Page e Henderson e Pabis) na secagem do milho amarelo, considerando tempo de processo e teor de umidade.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

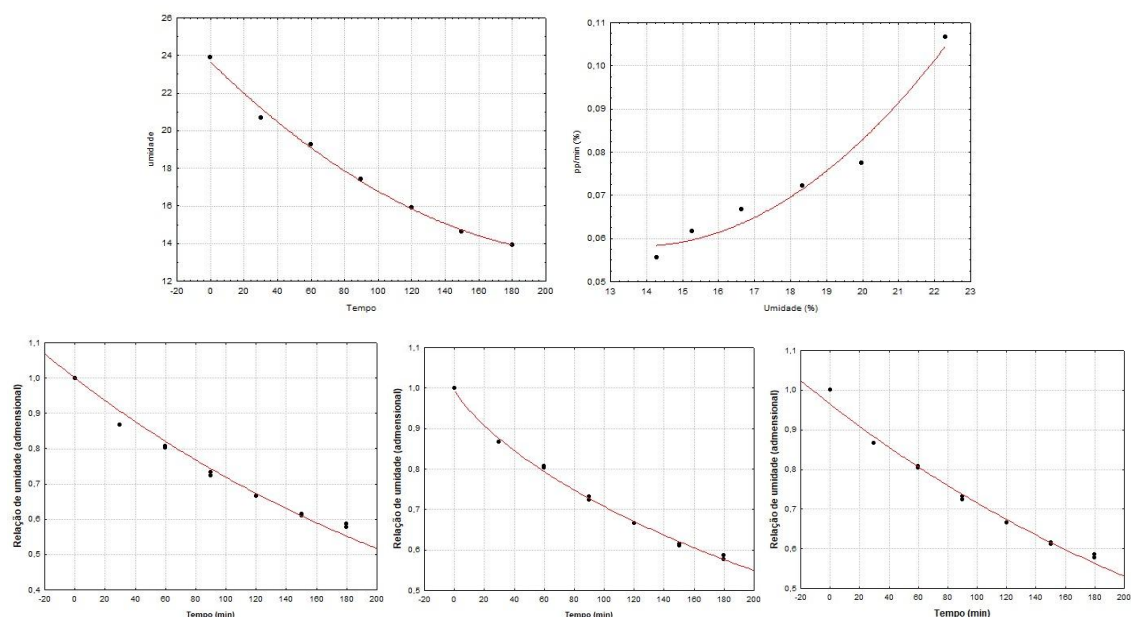
O experimento de secagem do milho foi realizado no Laboratório de Pós Colheita do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, onde foi utilizado o secador de amostras da Eagri para realizar a secagem dos grãos. O equipamento a ser utilizado para realizar a medição de umidade foi o GAC 2100 da Dickey John.

No experimento, foi realizada a medição da amostra com a umidade inicial na base umidade, após isso se deixou secando o milho amarelo e a cada 30 minutos se realizou a medição de umidade em duplicata, até o teor de umidade ser inferior a 14%.

Com os dados obtidos nas leituras de teor de umidade, foram reproduzidas as curvas de secagem, curva da taxa de secagem com o programa *Statistica 7*. Para realizar a análise da secagem, primeiro se calculou a razão de umidade, com a equação  $MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e}$ . Posteriormente foram avaliados os três modelos por regressão não linear: Lewis  $MR = \exp(-k \cdot t)$ , de Page  $MR = \exp(-k \cdot t^n)$  e também a de Henderson e Pabis  $MR = a \cdot \exp(-k \cdot t)$ . Com esses resultados foi possível realizar as curvas de cada equação para conseguir ver qual se ajusta melhor ao teste realizado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras iniciaram com um teor de umidade de 23,9%, e com o passar do tempo a mesma reduziu até 13,9% (a), sendo esta a umidade ideal tanto para a comercialização quanto para os valores nutricionais para o milho.



**Figura 1.** Relação Umidade x Tempo (a), Taxa de secagem (b), Curva de secagem, Lewis (c), Page (d) e Harrison e Pabis (e).  
Fonte: Autor.

A taxa de secagem do milho é mais rápida no início (b), quando o teor de umidade é alto devido à maior pressão de vapor. Com o tempo, a taxa diminui, pois a água residual fica mais fortemente retida nas estruturas internas do grão, dificultando sua remoção.

**Tabela 1.** Comparação entre os modelos matemáticos.

| Modelos Matemáticos | K       | R <sup>2</sup> |
|---------------------|---------|----------------|
| Lewis               | 0,00331 | 0,98497        |
| Page                | 0,00912 | 0,99815        |
| Henderson e Pabis   | 0,00300 | 0,99291        |

Fonte: Autor.

Os resultados da secagem do milho amarelo mostraram diferenças marcantes entre os três modelos matemáticos avaliados no que se refere à precisão e ao ajuste aos dados experimentais (c, d, e). O modelo de Page destacou-se como o mais eficiente na descrição da cinética de secagem, corroborando estudos como o de Radünz et al. (2010), que também

identificaram sua superioridade na secagem de outros produtos agrícolas. O modelo de Lewis, por sua vez, é mais simples e reflete de forma prática o processo real, mas apresenta menor exatidão. Já o modelo de Henderson e Pabis obteve bom desempenho, sendo uma alternativa válida. É importante salientar que esses modelos permitem determinar o coeficiente de secagem (K) e que cada um possui características próprias, podendo se ajustar melhor conforme o tipo de grão ou produto analisado.

#### 4. CONCLUSÃO

Entre os três modelos testados, o Modelo de Page foi o que apresentou o melhor desempenho na previsão da secagem do milho, com um  $R^2$  superior a 0,998. Isso significa que ele explica mais de 99% da variação nos dados, sendo o mais preciso para prever o comportamento da umidade. Sua aplicação é valiosa para otimizar a eficiência e o controle em operações de secagem, armazenamento e processamento de grãos.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. T. et al. Cinética de secagem do café cereja, bóia e cereja desmucilado, em quatro diferentes tipos de terrenos. **Revista Brasileira de Armazenamento – Especial Café, Viçosa**, v. 1, n. 7, p. 37-43, 2003.
- BOTELHO, F. M. et al. Cinética de secagem de grãos de soja: influência varietal. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 13-25, 2018.
- FURTADO, T. D. R. et al. Drying kinetics of jabuticaba pulp by regression models. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, p. e-097, 2019a.
- FURTADO, T. D. R. et al. Natural convection drying kinetics of 'Prata' and 'D'água' banana cultivars (Musa ssp) by nonlinear regression models. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, 2019b.
- RADÜNZ, L. L. et al. Análise da cinética de secagem de folhas de sálvia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 979-986, 2010.
- SIQUEIRA, V. C. et al. Mathematical modelling of the drying of jatropha fruit: an empirical comparison. **Revista Ciência Agronômica, Fortaleza**, v. 44, n. 2, p. 278-285, 2013.
- SILVA, R. B. et al. Estudo da cinética de secagem de polpa de carambola. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 10, n. 2, 2016.
- SOUZA, Í. P.; RUFFATO, S. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho secados naturalmente. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e44010817334, 2021.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Disponível em: <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde0623.pdf>. Acesso em: 12 set. 2025.