



Evento:XXX Jornada de Pesquisa

**MODELAGEM MATEMÁTICA DO EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO DA SOJA
UTILIZANDO OS MODELOS GAB E OSWIN¹****Patrick Stiehl Silva², Manuel Osorio Binelo³, Marcia de Fatima Brondani Binelo⁴**

¹ Projeto de Pesquisa desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Trabalho vinculado à disciplina de Trabalho de Pesquisa.

² Mestrando em Modelagem Matemática e Computacional – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ).

³ Professor Doutor, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional – UNIJUÍ.

⁴ Professora Doutora, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional – UNIJUÍ.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, desempenhando papel fundamental para o agronegócio nacional devido ao seu valor econômico e sua ampla utilização na produção de óleo, farelo e outros derivados (Silva, Lima e Batista, 2011). A qualidade dos grãos armazenados está diretamente relacionada ao seu teor de umidade, sendo essencial o conhecimento do equilíbrio higroscópico, que descreve a relação entre a umidade de equilíbrio e a umidade relativa do ar em diferentes temperaturas (Zeymer et al., 2022).

Diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever as isotermas de sorção, entre eles os modelos de Oswin e GAB, amplamente empregados em grãos e sementes (Aviara, Ajibola e Oni, 2004; Basu et al., 2006). O ajuste adequado desses modelos permite prever o comportamento higroscópico e otimizar processos de secagem e armazenamento.

Neste trabalho, foram utilizados dados experimentais obtidos em laboratório para ajuste dos modelos GAB e Oswin à umidade de equilíbrio da soja. O objetivo principal é avaliar o desempenho dos dois modelos na representação das isotermas e comparar os resultados obtidos.

Este estudo também se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente ao ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao buscar estratégias



que contribuam para a redução de perdas pós-colheita e a melhoria da eficiência no armazenamento da soja, promovendo práticas mais sustentáveis na cadeia produtiva.

METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no laboratório de bromatologia da UNIJUÍ, utilizando o método de estufa a 105 °C por 24 horas (Moritz et al., 2012; Tillmann, 1993). As amostras foram previamente condicionadas em diferentes níveis de umidade relativa e temperatura, em câmara climática controlada, até atingir o equilíbrio higroscópico. O teor de umidade foi calculado pela diferença de massa antes e após a secagem.

O modelo **Oswin** é dado por:

$$X_{eq} = a \left(\frac{aw}{1 - aw} \right)^b$$

O modelo **GAB** (Guggenheim–Anderson–de Boer) é expresso por:

$$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot aw}{(1 - K \cdot aw)(1 - K \cdot aw + C \cdot K \cdot aw)}$$

Onde:

- X_{eq} = umidade de equilíbrio (% b.s.)
- aw = atividade de água (fração decimal da umidade relativa)
- a, b, X_m, C, K = parâmetros ajustáveis dos modelos.

O ajuste foi realizado em Python utilizando o método de otimização não linear por mínimos quadrados (`scipy.optimize.curve_fit`). Inicialmente, os parâmetros foram definidos com base na literatura (Aviara et al., 2004; Zeymer, 2015) e, em seguida, refinados para melhor aproximação aos dados experimentais.

Neste trabalho foi utilizado o ajuste por mínimos quadrados. Como continuidade da pesquisa, está prevista a implementação de uma abordagem baseada em Algoritmo Genético (AG) para aprimorar a estimação dos parâmetros (Holland, 1975).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicaram que ambos os modelos apresentaram bom ajuste aos dados experimentais, com coeficientes de determinação superiores a 0,95. O modelo GAB apresentou maior flexibilidade na faixa de alta umidade relativa, enquanto o modelo Oswin mostrou melhor desempenho em umidades relativas intermediárias.



A análise comparativa sugere que os parâmetros obtidos neste trabalho para o modelo GAB se aproximam daqueles mencionados por Aviara et al. (2004) e Zeymer et al. (2022), enquanto os parâmetros do modelo Oswin diferiram mais, possivelmente devido a variações de cultivar, local de produção e métodos experimentais.

A Tabela 1 apresenta os valores de coeficiente de determinação (R^2) e erro médio quadrático (RMSE) para cada modelo, permitindo avaliar quantitativamente o desempenho das equações.

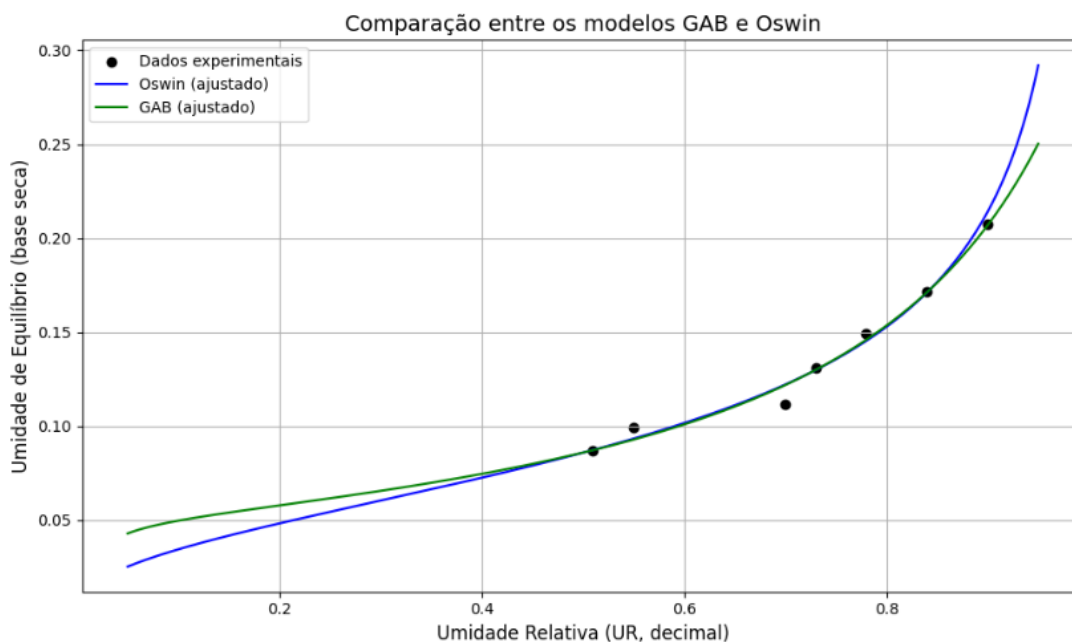
Tabela 1 – Desempenho dos modelos ajustados aos dados experimentais.

Modelos	R^2	RMSE
GAB	0,97	0,012
OSWIN	0,95	0,018

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A comparação entre as curvas ajustadas dos modelos GAB e Oswin é apresentada na Figura 1, evidenciando o comportamento distinto nas diferentes faixas de umidade relativa.

Figura 1 – Comparação entre os modelos GAB e Oswin ajustados aos dados experimentais de umidade de equilíbrio da soja.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS



Os modelos GAB e Oswin mostraram-se adequados para a representação do equilíbrio higroscópico da soja, sendo o GAB mais preciso em altas umidades relativas e o Oswin mais representativo em faixas intermediárias. O estudo fornece subsídios para o dimensionamento e operação de sistemas de secagem e armazenamento de soja, podendo contribuir para a redução de perdas e manutenção da qualidade dos grãos.

Palavras-chave: Soja. Equilíbrio higroscópico. Modelo GAB. Modelo Oswin. Algoritmos genéticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVIARA, N. A.; AJIBOLA, O. O.; ONI, S. A. Sorption equilibrium and thermodynamic characteristics of soya bean. *Biosystems Engineering*, v. 87, n. 2, p. 179–190, 2004.

BASU, S.; SHIVHARE, U. S.; MUJUMDAR, A. S. Models for sorption isotherms for foods—A review. *Drying Technology*, v. 24, p. 917–930, 2006.

HOLLAND, John. adaptation in natural and artificial systems, university of michigan press, ann arbor,”. Cité page, v. 100, p. 33, 1975.

MORITZ, A. et al. Comparação de métodos para a determinação do teor de umidade em grãos de milho e de soja. *Applied Research & Agrotechnology*, v. 5, n. 2, p. 145–154, 2012.

SILVA, A. da; LIMA, E. de; BATISTA, H. R. A importância da soja para o agronegócio brasileiro: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação. In: *V Encontro de Economia Catarinense*, 2011.

TILLMANN, M. A. A. Comparação entre os métodos da estufa e de Karl Fischer na determinação do grau de umidade de sementes de milho e soja. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 1993.

ZEYMER, J. S. Modelagem matemática dos fenômenos de equilíbrio higroscópico e atividade respiratória de grãos de soja armazenados. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 2015.



ZEYMER, J. S. et al. Moisture sorption isotherms and hysteresis of soybean grains. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 45, p. e56615, 2022.