

**UM ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DE MEDIDAS ELÉTRICAS NA  
DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM GRÃOS DE SOJA<sup>1</sup>****A STUDY ON THE INFLUENCE OF ELECTRICAL MEASUREMENTS IN THE  
DETERMINATION OF THE MOISTURE CONTENT IN SOYBEANS****Marcelo Carvalho Antunes<sup>2</sup>, Manuel Osório Binelo<sup>3</sup>, Marcia de Fátima  
Brondani Binelo<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Projeto de pesquisa desenvolvido na UNIJUÍ.

<sup>2</sup> Estudante do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, UNIJUÍ.

<sup>3</sup> Professor do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, UNIJUÍ.

<sup>4</sup> Professora do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, UNIJUÍ.

**RESUMO**

O Brasil situa-se entre os maiores produtores de soja do mundo. No entanto, apresenta um elevado desperdício nos processos de pós-colheita, passando pela rede de transportes até o armazenamento. Neste estágio, por exemplo, as condições das instalações influenciam diretamente o teor de umidade provocando avarias na produção, que tendem a ser incrementadas por ocasião da morosidade e pouca acurácia de métodos destinados a mensurar a umidade na massa de grãos. Qualquer tipo de insuficiência em um sistema de aferição de umidade em grãos causará implicações na cadeia produtiva, pois o valor econômico dos grãos sofre influência direta dos teores de umidade, considerando que o comércio é realizado por peso de grãos. O presente trabalho tem por objetivo investigar a influência das variáveis tensão, frequência e temperatura na verificação do teor de umidade de grãos de soja. A determinação dos teores de umidade em grãos, em geral, é realizada por dois tipos de métodos: diretos e indiretos. Os primeiros, como a dessecação por estufa, têm como princípio mensurar a massa de água que é subtraída após a secagem. Os métodos indiretos, apesar de serem menos precisos, demandam menores quantidades de tempo e são mais práticos que os primeiros. Como parâmetros para a medição do teor de umidade, utilizam algumas propriedades elétricas dos grãos, estabelecendo, dessa maneira, medidas de correlação com o teor de umidade. Os dados foram fornecidos por uma empresa que coletou amostras e realizou experimentos com grãos de soja à temperatura ambiente. A modelagem matemática baseou-se no modelo de Regressão Linear Simples (RLS) e múltipla (RLM) e a implementação computacional utilizou planilha eletrônica e o software MATLAB. Uma equação que estima os teores de umidade foi obtida, para que fosse possível realizar uma comparação com os valores medidos. O trabalho mostra que os valores estimados se aproximam consideravelmente dos valores medidos.

**Palavras-chave:** Umidade. Soja. Temperatura. Tensão. Frequência.

**ABSTRACT**

Brazil is among the largest soybean producers in the world. However, it presents a high waste in post-harvest processes, passing through the transport network to storage. At this stage, for example, the conditions of the installations directly influence the moisture content, causing



production failures, which tend to be increased due to the slowness and inaccuracy of methods intended to measure the moisture in the grain mass. Any type of insufficiency in a grain moisture measurement system will have implications for the production chain, as the economic value of the grains is directly influenced by the moisture content, considering that the trade is carried out by weight of grains. The present work aims to investigate the influence of tension, frequency and temperature variables in the verification of the moisture content of soybeans. The determination of moisture content in grains, in general, is performed by two types of methods: direct and indirect. The former, such as drying by oven, have the principle of measuring the mass of water that is subtracted after drying. Indirect methods, despite being less accurate, require less time and are more practical than the first ones. As parameters for measuring the moisture content, they use some electrical properties of the grains, thus establishing correlation measures with the moisture content. The data were provided by a company that collected samples and carried out experiments with soybeans at room temperature. The mathematical modeling was based on the Simple Linear Regression (RLS) and multiple (LMR) models and the computational implementation used a spreadsheet and MATLAB software. An equation that estimates the moisture contents was obtained, so that it was possible to make a comparison with the measured values. The work shows that the estimated values are considerably close to the measured values.

**Keywords:** Moisture. Soybeans. Temperature. Voltage. Frequency.

## INTRODUÇÃO

Utilizando-se os dados fornecidos pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), o estudo intitulado *O agro no Brasil e no mundo: uma síntese do período de 2000 a 2020*, apresenta o Brasil como o 4º maior produtor de grãos (arroz, cevada, soja, milho e trigo) do mundo, atrás de Estados Unidos, China e Índia (EMBRAPA, 2020). A Tabela 1, abaixo, mostra a produção de grãos dos 5 países que mais se destacaram no período de 2000 a 2020.

Tabela 1.1 – Produção de grãos.

Grãos - Produção (Milhões de Toneladas)						
		1º	2º	3º	4º	5º
	Mundo	EUA	CHINA	ÍNDIA	<b>BRASIL</b>	ARGENTINA
2000 - 2020	50735	9980	9461	4523	<b>3124</b>	1868
	-	19,7%	18,6%	8,9%	<b>6,2%</b>	3,7%

Fonte: FAO (2022).

Dessa forma, é razoável o interesse em ações que possibilitem melhorias dos mais variados processos que se coadunam com a produção de grãos, levando em consideração desde etapas anteriores ao plantio até os desdobramentos comerciais. Logicamente, a cadeia produtiva



de grãos depende de inúmeros fatores, sejam eles bióticos, como a presença de micróbios, insetos, ácaros e roedores ou abióticos, como temperatura e umidade, capazes de influenciar seu funcionamento.

No estágio de armazenamento, por exemplo, o período e a qualidade das instalações influenciam diretamente o teor de umidade, podendo provocar, ou mesmo acelerar processos químicos e enzimáticos nos grãos (BAKHTAVAR; AFZAL, 2020). A umidade no grão pode ser compreendida como a quantidade de água presente no mesmo, enquanto a fração entre a massa de água presente no grão e sua massa total corresponde ao teor de umidade (OLIVO, 2010).

Desta maneira, com vistas a garantir as qualidades fisiológicas dos grãos, torna-se necessário que a determinação do teor de umidade nos estágios de colheita e armazenamento seja realizada de forma funcional e com rapidez. A determinação dos teores de umidade em grãos apresenta duas grandes categorias: métodos diretos e indiretos.

No Brasil, adota-se o método por dessecação em estufa (BRASIL, 2022) como oficial de determinação de umidade em grãos. Este procedimento, assim como os outros métodos diretos, resume-se a retirar a água dos grãos e, após, verificar a diferença de peso das amostras, que define o teor de umidade (PUZZI, 1986). No entanto, a exigência por decisões imediatas tem preterido tais métodos, por alternativas capazes de responder com maior celeridade (NELSON *et al.*, 2007).

Desta forma, surgem como alternativa os métodos indiretos, que utilizam como parâmetros propriedades elétricas dos grãos. Apesar de apresentarem menor acurácia, necessitam de intervalos menores de tempo (KIN; MONÇALVES; SILVA, 2010); a literatura, infere-se, ainda apresenta um número insuficiente de estudos que considerem mais de uma grandeza elétrica juntamente com a temperatura como parâmetros para a determinação do teor de umidade.

O estado da arte realizado para esta pesquisa indica que grande parte dos trabalhos (BAO *et al.*, 2005; OLIVO, 2010; MORITZ *et al.*, 2012; BESSA, 2013; NELSON *et al.*, 2010, 2007; SHAFIQ, 2015; JONES *et al.*, 2022) que utilizam parâmetros elétricos para a determinação do teor de umidade em grãos se concentra no processo de medição da capacitância em capacitores que utilizam os grãos como dielétrico.



O objetivo deste trabalho concentrou-se na investigação sobre a influência de algumas variáveis elétricas, como diferença de frequência e tensão na verificação do teor de umidade de grãos de soja. Para isto, foi realizado um experimento com grãos de soja e, posteriormente, foi implementado um modelo matemático de regressão linear múltipla, através de planilhas eletrônicas e do software MATLAB (*MATrix LABoratory*).

As pesquisas direcionadas à determinação do teor de umidade em grãos podem ser justificadas pelos impactos causados desde o armazenamento até sua comercialização, influenciando, significativamente, o valor de venda da mercadoria (BESSA, 2017). Neste contexto, a modelagem matemática e computacional justifica-se como uma alternativa interessante, enquanto ferramenta científica, para o incremento de ações que possibilitem um controle satisfatório dos teores de umidade em grãos. O texto apresenta uma divisão proposta em 5 seções: Introdução, Metodologia, Resultados e Discussões, Considerações Finais e Referências Bibliográficas.

## REGRESSÃO LINEAR

O modelo de Regressão Linear Simples (RLS) possui o objetivo de estimar a função afim, geometricamente representada por uma reta, que melhor descreve a relação entre duas variáveis, dependendo de suas médias aritméticas, desvios-padrões e da correlação entre elas (COHEN *et al.*, 2003). A função de regressão (amostral) com  $i$  observações pode ser representada da seguinte maneira:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i, \quad \text{com } i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Os parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$  são o intercepto e o coeficiente angular, respectivamente. O termo  $e_i$  representa o erro, ou seja, a diferença entre o valor observado ( $y_i$ ) e o valor previsto ( $\hat{y}_i$ ). A partir dos valores observados na base de dados, obter valores para  $\beta_0$  e  $\beta_1$  e suas variâncias (CHEIN, 2019). As estimativas  $\hat{\beta}_0$  e  $\hat{\beta}_1$  são obtidas, considerando-se uma amostra de  $n$  pares de valores  $x_i, y_i$ , (com  $i = 1, 2, \dots, n$ ), que correspondem a  $n$  pontos num gráfico (HOFFMANN, 2016). A variável,  $\hat{y}_i$ , mostrada na equação (2), é a estimativa de  $y_i$ .

$$\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i \quad (2)$$



De acordo com Stock e Watson (2010), o Método dos Mínimo Quadrados (MMQ), resumidamente, consiste em adotar como estimativas dos parâmetros, os valores que minimizam a soma dos quadrados dos resíduos (erros)  $\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ . Isto ocorre para a resolução do sistema:

$$\frac{\partial (\sum_{i=1}^n [y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i)]^2)}{\partial \hat{\beta}_0} = 0 \quad \Rightarrow \quad \hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (3)$$

$$\frac{\partial (\sum_{i=1}^n [y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i)]^2)}{\partial \hat{\beta}_1} = 0 \quad \Rightarrow \quad \hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

Assim, os valores das estimativas  $\hat{\beta}_0$  e  $\hat{\beta}_1$  dos parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$  são obtidos.

No caso de a variável dependente estar relacionada a duas ou mais variáveis independentes, por exemplo,  $k$  variáveis, a equação modelo (RLM), pode ser determinado a partir de uma ampliação conceitual (COHEN *et al.*, 2003) da função de RLS (amostral) com  $i$  observações:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + e_i, \quad \text{com } i = 1, \dots, n. \quad (5)$$

O coeficiente  $\beta_0$  é o intercepto e os parâmetros  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  representem as inclinações nas  $i$  retas de um sistema. Os procedimentos matemáticos para encontrar os coeficientes da regressão, soma dos quadrados dos erros e outros parâmetros, na RLM, são consideravelmente complexos. Neste sentido, uma abordagem matricial pode simplificar o trabalho computacional. Pode-se reescrever (5) da seguinte forma:

$$Y = X\beta + \epsilon, \quad \text{ou, equivalentemente} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix}. \quad (7)$$



## METODOLOGIA

O presente trabalho desenvolveu-se, inicialmente, a partir de uma revisão bibliográfica sobre os métodos de determinação de umidade em grãos. Foram utilizadas algumas plataformas de busca como o portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e a biblioteca eletrônica online SciELO. Os trabalhos foram categorizados a partir da leitura de seus títulos e resumos, produzindo-se 2 categorias: textos que concentravam informações sobre a determinação de umidade a partir de um grandeza elétrica e textos que descrevessem mais de uma grandeza. Foram encontrados poucos trabalhos pertencentes à última categoria. Em meio a esta seleção, foram identificados e descartados trabalhos que priorizavam o armazenamento e sistemas de secagem de grãos.

A etapa seguinte consistiu na realização de um experimento com grãos de soja utilizando-se um método indireto para a mensuração da umidade. Os ensaios foram conduzidos no laboratório de uma empresa no município de Ijuí, no Rio Grande do Sul. O equipamento utilizado foi um medidor de umidade de grãos, com estrutura em metal, medindo 30 cm de largura, 45 cm de altura e 30 cm de profundidade.

Foram utilizados grãos da safra 20/21, adquiridos em uma Cerealista, selecionados de forma aleatória. Primeiramente, os grãos foram homogeneizados, com o intuito de uniformizar o teor de umidade. Após 5 dias, eles foram retirados do refrigerador e, em algumas horas, atingiram a temperatura ambiente.

Assim, os grãos foram colocados no equipamento e foram realizadas as medições. Considerou-se, para efeitos de cálculo, os valores da temperatura com a presença de grãos e a diferença entre os valores obtidas para a frequência. No total, foram utilizadas 10 amostras com 10 repetições. O peso das amostras, com média de 414g, foi desconsiderado.

Os valores obtidos (tensão e frequência) com a variação da umidade foram todos armazenados em uma planilha eletrônica e, em seguida, foi realizada uma análise, através de uma comparação entre pares de variáveis, utilizando-se o coeficiente de correlação linear. Assim, concluiu-se que uma investigação preliminar poderia identificar correlações entre as variáveis, indicando que o melhor ajuste seria realizado por RLS.

A partir deste modelo, foram produzidos gráficos, que serviram para delinear algumas hipóteses iniciais acerca da relação biunívoca entre os pares de variáveis. O objetivo proposto



do trabalho, no entanto, foi de investigar a influência de 3 variáveis preditivas na determinação dos teores de umidade (variável dependente). Assim, o problema foi, em seguida, abordado através da RLM. Optou-se pelo método matricial, no MATLAB.

De forma resumida, a metodologia adotada seguiu alguns passos bem específicos. Um estudo teórico foi realizado, de forma antecipada. Em seguida, a realização do experimento. Após, foi seguida a seguinte sequência: definiu-se as variáveis, obteve-se os gráficos de dispersão (RLS), foi rodada a RLM, substituiu-se os dados na equação obtida por RLM, obteve-se o gráfico com dados observados e estimados e finalizou-se com a interpretação dos resultados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o experimento, foram consideradas 10 amostras numa faixa de umidade compreendida entre 9,5% e 21,4%, em temperatura ambiente, de 26,8°C a 32°C. Verificou-se que cada amostra apresentou o mesmo valor de umidade para os grãos de soja. A figura 1 apresenta os valores da umidade observada e os valores (média aritmética) das variáveis independentes em cada amostra.

Figura 1 – Dados do experimento

umidade observada [%]	média da temperatura [°C]	média da diferença de frequência [Hz]	média da tensão [V]
9,5	31,4	153527,1	0
10,9	31,2	185604,4	7
12,3	30,2	224467,7	31,7
13,9	29,3	261147,4	74,8
15,5	29,2	292261,6	119,9
16,7	28,4	312942,6	173,7
18,3	27,7	339664,8	241,6
19,6	27,4	358736,1	305,4
23,7	27,2	405214,7	402,4
21,4	26,9	380031,4	362,7

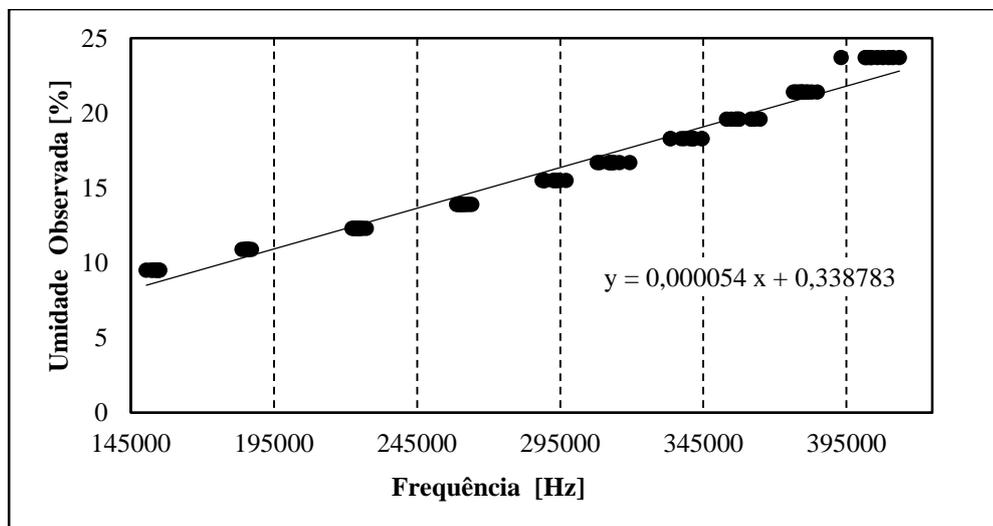
Fonte: própria dos autores.

Assim, foi verificada uma correlação bastante forte, segundo classificação sugerida pela literatura (DARLINGTON; HAYES, 2016), entre a umidade e as medidas elétricas, expressas pelos valores de  $r_{FU} = 0,987$  e  $r_{tU} = 0,983$ , respectivamente, para os pares frequência  $x$  umidade e tensão  $x$  umidade.



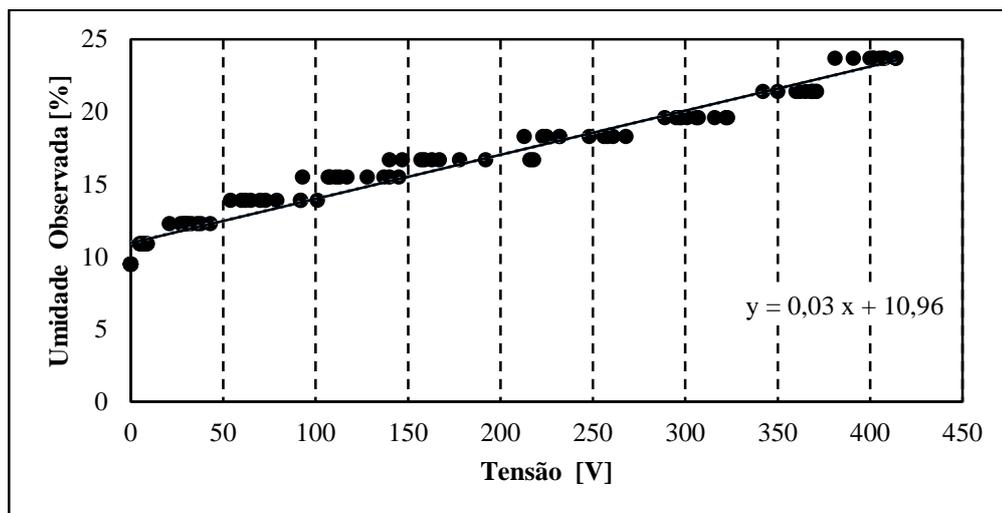
Em termos conceituais, a correlação mostra apenas a existência de alguma associação entre as variáveis, mas não informa qual delas é dependente ou independente. Para isto, é necessária a análise de regressão. A RLS procura estimar os pares de coordenadas que formam uma função linear (reta) que melhor descreve a relação entre 2 variáveis. As figuras 2 e 3 apresentam a RLS entre as variáveis.

Figura 2 – Dispersão: umidade observada x frequência



Fonte: própria dos autores

Figura 3 – Dispersão: umidade observada x tensão



Fonte: própria dos autores



Nota-se que a taxa de variação (inclinação) no segundo gráfico é maior do que no primeiro, indicando que a grandeza física tensão é mais suscetível (nesta faixa de umidade) a modificações nos teores de umidade. A frequência, apresenta uma variação menos abrupta.

Os coeficientes de correlação linear entre umidade e frequência e umidade e tensão apresentaram os valores 0,98 e 0,983, respectivamente, mostrando que há forte associação entre a umidade e as variáveis independentes. A temperatura – na faixa em que foi realizado o experimento – possui uma influência relativamente baixa. No entanto, esta mesma variável, pode apresentar comportamento diferente, quando associada a outras. Desta forma, para fins desta pesquisa, utiliza-se a equação de RLM:

$$\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \hat{\beta}_3 x_3, \quad (8)$$

onde  $\hat{\beta}_0$  é a constante (intercepto) e  $\hat{\beta}_1$ ,  $\hat{\beta}_2$  e  $\hat{\beta}_3$  são os coeficientes das variáveis independentes: temperatura ( $x_1$ ), frequência ( $x_2$ ) e tensão ( $x_3$ ). No MATLAB, foram inseridas as matrizes referentes a cada variável, rodada a RLM e realizada a análise dos dados. A figura 4 mostra os resultados.

Figura 4 – Regressão Linear Múltipla

```

Command Window
Linear regression model:
y ~ 1 + x1 + x2 + x3

Estimated Coefficients:

```

	Estimate	SE	tstat	pvalue
(Intercept)	-2.7465	4.0168	-0.68376	0.49577
x1	0.21902	0.11514	1.9021	0.060151
x2	3.5157e-05	3.0055e-06	11.698	3.5731e-20
x3	0.01371	0.0010502	13.054	5.3299e-23

```

Number of observations: 100, Error degrees of freedom: 96
Root Mean Squared Error: 0.418
R-squared: 0.991, Adjusted R-Squared: 0.991
F-statistic vs. constant model: 3.65e+03, p-value = 9.27e-99
fx >>
<

```

Fonte: própria dos autores



A figura 4, mostra que foram realizadas 100 observações, gerando 96 graus de liberdade. O valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), encontrado neste modelo, foi de 0,991, ou seja, as variáveis independentes explicam juntas 99,1% da variável dependente. Ainda, o diminuto valor do erro-padrão (0,418) indica que as variáveis independentes escolhidas explicam suficientemente o modelo proposto, ou seja, os valores residuais podem ser considerados insignificantes.

O teste F aponta que o modelo proposto é útil para explicar a variável dependente (umidade), visto que o valor obtido para o F de significação ficou extremamente abaixo do valor 0,05. A informação obtida para o “valor – P” indica que tanto a variável frequência quanto a variável tensão são significativamente relacionadas com a umidade, pois, apresentam valores menores do que 0,05, em um intervalo de 95% de confiança.

Os coeficientes  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são os números pelos quais as variáveis  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$  serão multiplicadas. A figura 4 mostra os valores de -2,7465 para  $\beta_0$ , 0,21902 para  $\beta_1$ , 0,000035157 para  $\beta_2$  e 0,01371 para  $\beta_3$ . Esses valores representam a alteração imposta à variável dependente quando a respectiva variável independente variar 1 unidade; isto possibilitará projetar a variável de desfecho a partir do conjunto de variáveis preditoras.

Desta forma, de acordo com o modelo proposto por Regressão Linear Múltipla (8), a umidade dos grãos pode ser estimada por:

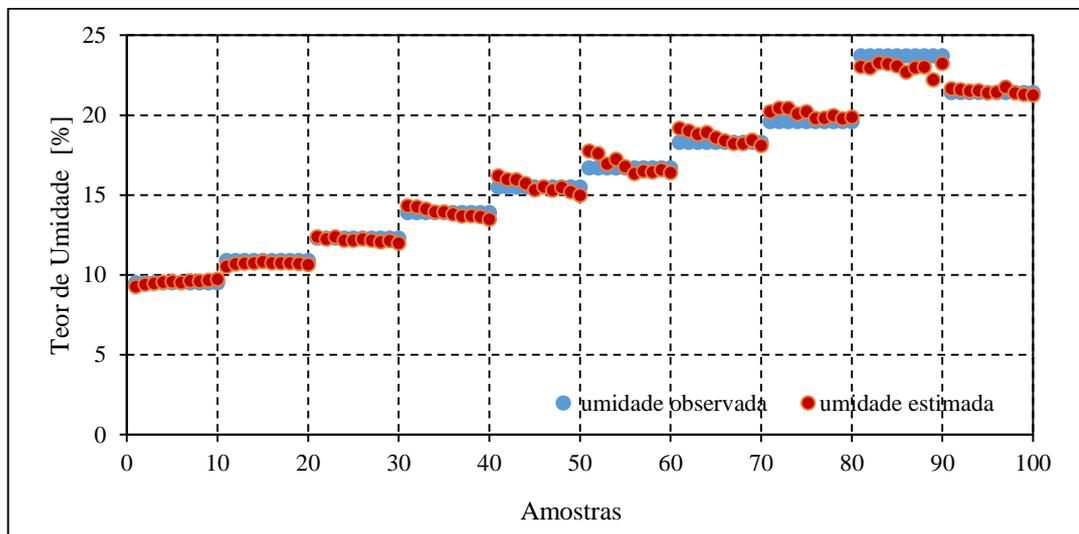
$$y(x_1, x_2, x_3) = -2,7465 - 0,21902 x_1 + 0,000035157 x_2 + 0,01371 x_3, \quad (9)$$

onde  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$  representam, respectivamente, a temperatura, a diferença de frequência e a tensão.

Por fim, constata-se que a cada aumento da variável temperatura ( $x_1$ ), o valor da umidade estimada ( $\hat{y}_i$ ) aumentará 0,21902. Da mesma forma, para cada aumento da variação da frequência ( $x_2$ ) ou da tensão ( $x_3$ ), a umidade sofrerá um incremento muito próximo de 0,0000351 e 0,0014, respectivamente.

A figura 5 apresenta uma comparação entre os valores observados e os valores calculados para o teor de umidade dos grãos de soja no experimento realizado. Foram consideradas 10 amostras com 10 repetições.

Figura 5 – Comparação entre umidade observada e umidade estimada



Fonte: própria dos autores

Pode-se inferir, a partir do gráfico acima, que os valores dos teores de umidade estimados pela equação (9), a partir da RLM, se aproximam dos valores observados (medidos), anteriormente. Ainda, preliminarmente, há indicativos de que as estimativas para amostras com menores teores de umidade possuem maior acurácia.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A determinação dos teores de umidade em grãos, na agricultura, é uma das rotinas pertencentes a esta cadeia produtiva. Métodos céleres e com maior acurácia são imprescindíveis para evitar perdas econômicas. Por conta desta demanda, a literatura que gravita as pesquisas sobre métodos indiretos de determinação de umidade tem se multiplicado. No entanto, a revisão bibliográfica, neste texto, sugere a pequena contingência de pesquisas que se ocupam com a influência de mais de uma variável. Desta forma, este trabalho procurou investigar se algumas medidas elétricas poderiam constituir um sistema de mensuração satisfatório, a partir de possíveis correlações com a umidade em grãos. Os resultados obtidos, mesmo que de forma preliminar, sugerem que as variáveis temperatura, frequência e tensão podem explicar os teores de umidade medidos experimentalmente, com aproximação satisfatória, através da equação produzida a partir do modelo de Regressão Linear Múltipla. Outros estudos, com diferentes tipos de grãos estão sendo realizados, no intuito de adicionar outros efeitos, como a morfologia dos grãos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKHTAVAR, M. A.; AFZAL, I. Seed storage and longevity: mechanism, types and management. In: **Advances in Seed Production and Management**. Springer, Singapore, 2020. p. 451-468.

BAO, Y. et al. Study on Rapid Measurement of Soybeans Moisture Content Based on Dielectric Properties. In: **2005 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings**. IEEE, 2005. p. 232-235

BESSA, W. K. S. **Avaliação do método capacitivo de placas coplanares para determinação da umidade dos grãos de soja em movimento**. 2013. 104 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas Eletrônicos) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BRASIL. Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Online. Acessado em 15/03/2022, <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/>.

CHEIN, F. **Introdução aos modelos de regressão linear: um passo inicial para compreensão da econometria como uma ferramenta de avaliação de políticas públicas**. Brasília: ENAP, 2009.

COHEN, J., COHEN, P., WEST, S.G.; AIKEN, L.S. **Applied Multiple Regression. Correlation Analysis for the Behavioral Sciences**. New jersey: 1983.

DARLINGTON, R.B.; HAYES, A.F. **Regression analysis and linear models: Concepts, applications, and implementation**. London: Guilford Publication, 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **VII Plano Diretor da Embrapa: 2020 – 2030**. Brasília/DF, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/vii-plano-diretor/a-agricultura-brasileira>. Acesso em: 23 mai. 2022.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: jun. 2022.

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.

NELSON, S.O., GUO, W.C., TRABELSI, S.; KAYS, S.J., Dielectric spectroscopy of watermelons for quality sensing. **Measurement Science and Technology**, IOP Publishing, v. 18, n. 7, p. 1887, 2007.

NELSON, S. O. Fundamentals of dielectric properties measurements and agricultural applications. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, 44(2), 98–113, 2010.

OLIVO, T. E. **Determinação da umidade da soja por medida capacitiva**. 2010. 78 p. Dissertação (Mestrado em Concentração em Sistemas Eletrônicos) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PAES, Maria Cristina Dias. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. 2006.

PUZZI, D. **Abastecimento e Armazenagem de Grãos, Campinas, SP**: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986.



SHAFIQ A. Grain Moisture Measuring Techniques - A Review. **Agricultural engineering today**. Vol. 39(2). April-June, 2015. ISSN: 0970-2962.

OLIVO, T. E. **Determinação da umidade da soja por medida capacitiva**. 2010. 78 p. Dissertação (Mestrado em Concentração em Sistemas Eletrônicos) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

R. A. KIN; V. A. MONÇALVES; L. H. DA SILVA. “Comparação entre métodos de determinação de umidade para arroz em casca (*Oryza sativa L*)”. Em: Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão 2.1 (2010).