

MACHINE LEARNING APLICADO NA PREDIÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DE GRÃOS DE MILHO NO TRANSPORTE

**CAMILA FONTOURA NUNES¹, SABRINA DALLA CORTE BELLOCHIO²,
LANES BEATRIZ ACOSTA³, ROSANA SANTOS DE MORAES⁴, MARISA
MENESES LEAL⁵, PAULO CARTERI CORADI⁶**

¹Eng^a. Agrícola, Mestra no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia Rural, UFSM/PPGEA, Santa Maria – RS, camilafnunes.cf@gmail.com

²Eng^a. Agrônoma, Pós-Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFSM/PPGEA

³Eng^a. Agrícola, Pós-Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFSM/PPGEA

⁴Eng^a. Agrícola, Mestranda em Engenharia Agrícola, UFSM/PPGEA

⁵Acadêmica de Engenharia Agrícola e Bolsista de Iniciação Científica, UFSM/CS

⁶Eng^o. Agrícola, Professor Associado, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS), Laboratório de Pós-Colheita (LAPOS), paulo.coradi@ufsm.br

Apresentado no
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

RESUMO: O objetivo do estudo foi validar um sistema de sonda para monitoramento de temperatura, umidade relativa e difusão da concentração de dióxido de carbono na massa de grãos de milho, em tempo real, durante o transporte, em função de diferentes teores de água iniciais (12 e 16% b.u.), para detectar precocemente perdas e prever possíveis alterações na qualidade física dos grãos. Utilizou-se uma sonda com diâmetro de furo 6,5 mm e altura de perfuração de 225 mm composta por sensores de temperatura, umidade relativa do ar e CO₂ fixados na parte superior, central e inferior da sonda para o monitoramento em tempo real das variáveis. Posteriormente a umidade de equilíbrio higroscópico foi estimada. Para avaliação da qualidade, foram realizados testes de condutividade elétrica e germinação. Para prever precocemente as alterações físicas da massa de grãos utilizaram-se algoritmos Machine Learning e regressão linear. A condição de 16% de teor de água do milho e a posição de superior do perfil da massa de grãos sofreram as maiores alterações físicas de qualidade. A aplicação de algoritmos de Machine Learning predisse as perdas qualitativas de grãos de milho no transporte satisfatoriamente.

PALAVRAS-CHAVE: análises físicas, monitoramento, pós-colheita.

MACHINE LEARNING APPLIED IN THE PREDICTION OF THE PHYSICAL QUALITY OF CORN GRAINS IN TRANSPORT

ABSTRACT: The objective of the study was to validate a probe system for monitoring temperature, relative humidity and diffusion of the concentration of carbon dioxide in the mass of corn grains, in real time, during transport, as a function of different initial water contents (12 and 16% b.u.), to detect early losses and predict possible changes in the physical quality of the grains. A probe with a hole diameter of 6.5 mm and a drilling height of 225 mm was used, consisting of temperature, relative humidity and CO₂ sensors fixed on the top, center and bottom of the probe for real-time monitoring of the variables. Subsequently, the hygroscopic equilibrium moisture was estimated. To evaluate the quality, electrical conductivity and germination tests were performed. To early predict physical changes in grain mass, Machine Learning and linear regression algorithms were used. The condition of 16% of water content of

the corn and the position of superior of the profile of the mass of grains suffered the biggest physical alterations of quality. The application of Machine Learning algorithms predicted the qualitative losses of corn grains in transport satisfactorily.

KEYWORDS: physical analysis, monitoring, post-harvest, grain quality, road transport

INTRODUÇÃO: Apesar da elevada produção de grãos, verifica-se que há grandes perdas nas etapas de pós-colheita devido a precariedade dos setores de transporte, instalações e manuseio das operações de recebimento, secagem e armazenamento de grãos (CONAB, 2021). Considerando que o transporte de grãos no Brasil é realizado a longas distâncias, e que a massa de grãos transportada, muitas vezes encontra-se com elevados teores de água e impurezas, os riscos ao longo do transporte com transferência de calor e umidade, migração de umidade e aquecimento da massa de grãos são elevados (PEREIRA et al., 2019). Para evitar esses problemas no transporte e possíveis fatores potenciais de alterações nos processos seguintes de pós-colheita, torna-se importante realizar o monitoramento em tempo real da temperatura, umidade relativa do ar intergranular, dióxido de carbono e determinar a umidade de equilíbrio higroscópico para predição da qualidade física dos grãos a fim de reduzir possíveis perdas quanti-qualitativas. Portanto, o objetivo do estudo foi validar um sistema de sonda para monitoramento de temperatura, umidade relativa e difusão da concentração de dióxido de carbono na massa de grãos de milho, em tempo real, durante o transporte, em função de diferentes teores de água iniciais (12 e 16% b.u.), para detectar precocemente perdas e prever possíveis alterações na qualidade física dos grãos.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi conduzido no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Agrícolas (LAPOS) da UFSM. Utilizou-se uma sonda com diâmetro de furo 6,5 mm e altura de perfuração de 225 mm composta por sensores de temperatura e umidade relativa do ar, fixados na parte superior, central e inferior da sonda. As variáveis temperatura e umidade relativa na massa do grão intergranular foram monitorados em tempo real, a intervalos de 1,87 segundos por resposta, por vinte e quatro horas, simulando as condições de transporte. O enchimento de cada carga foi realizado com grãos com teores de água de 12 e 14% (b.u). As amostras foram coletadas nos tempos 0, 120, 480 e 1440 minutos de transporte, nas três posições (superior, central e inferior) da carga. Os grãos foram acondicionados em um reservatório de madeira no formato de um tubo quadrado com dimensões de 0,20 m de lado e 1,70 m de altura. A variação do equilíbrio higroscópico foi calculada usando a equação de Henderson modificada (Eq. 1):

$$U_e = \frac{1}{100} \left[\frac{\ln(1 - 0.01UR)}{-K(T + C)} \right]^{1/N} \quad (1)$$

em que U_e : umidade de equilíbrio higroscópico (%); UR : umidade relativa (%); T : temperatura (°C) e K , C , N : parâmetros ($K = 0,000305$, $C = 134,136$, $N = 1,2164$).

A perda de matéria seca foi calculada pela concentração de CO₂ monitorada ao longo do armazenamento para determinar a taxa respiratória e a perda de matéria do produto armazenado pela Eq.2:

$$Pms = 100(CO_2 - O_2) \left(\frac{\varepsilon P W_g}{2 \rho_g (1 - Mcd) RT} \right) \quad (2)$$

Em que: CO₂: concentração de O₂ (v/v) medida no interior dos silos metálicos; ΔCO₂: variação da concentração de O₂ ao longo do armazenamento considerando a concentração inicial de 21%; ε : porosidade da massa granular; P : pressão atmosférica local (96 kPa); W_g : massa molar da glicose (180 kg kmol⁻¹); P_g : massa específica aparente dos

grãos (kg m^{-3}); U : teor de água dos grãos (decimal b.u.); R : constante dos gases perfeitos ($8,314 \text{ kJ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) e T : temperatura (K).

A condutividade elétrica foi determinada de acordo a metodologia do ISTA (2008) e a germinação seguiu a metodologia descrita em BRASIL (2009). Para prever precocemente as alterações físicas da massa de grãos utilizaram-se algoritmos Machine Learning e regressão linear. Os modelos testados foram: redes neurais artificiais (RNA), regressão linear (LR), algoritmo M5P, árvore de poda com erro reduzido (REPTree) e floresta aleatória (RF).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O aumento da temperatura, umidade relativa do ar intergranular e da umidade de equilíbrio higroscópico (Figura 1), proporcionou aquecimento e uma maior intensidade respiratória da massa de grãos, principalmente para os grãos com teores de água de 16%. O aumento da atividade metabólica dos grãos com 16% de teor de água (hidratados) dentro do período de 24 horas de monitoramento, simulando-se um sistema de transporte de grãos, colaborou para o aumento do percentual de germinação, quando submetidos ao teste. Ressalta-se que durante o transporte não é desejável que haja germinação dos grãos, ou seja, neste caso os resultados obtidos de germinação são indicativos de possíveis alterações físicas que podem inferir sobre a qualidade final da massa de grãos.

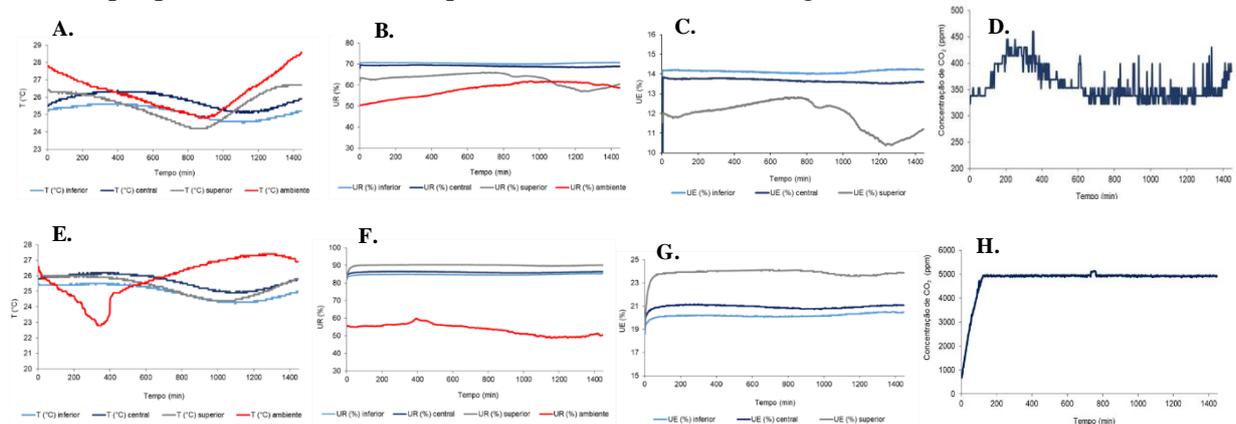


FIGURA 1. Monitoramento da temperatura do ar intergranular (A); umidade relativa (B) e umidade de equilíbrio higroscópico (C); concentração de CO_2 (D) na massa de grãos de milho com teores de água 12% (b.u.) e monitoramento da temperatura do ar intergranular (E); umidade relativa (F) e umidade de equilíbrio higroscópico (G) e concentração de CO_2 (H) na massa de grãos de milho com teores de água 16% (b.u.) ao longo do tempo.

O teste de condutividade elétrica (Figura 2A) indicou que a estrutura celular dos grãos de milho foi afetada ao longo do tempo de monitoramento, em função dos teores de água iniciais (12 e 16%) e pela posição de avaliação (camada inferior, central e superior) da massa de grãos. Entre as camadas, observou-se que os grãos posicionados na parte superior do transporte (superior) sofreram, levemente, as maiores alterações físicas. Entretanto, os maiores danos físicos nos grãos foram encontradas nos teores de água de 12%. Os resultados de condutividade elétrica refletiram sobre a germinação dos grãos (Figura 2B), em que o percentual de grãos germinados foi menor na posição superior da camada de grãos e principalmente, para os grãos com teores de água de 12%. As técnicas ANN, LR, M5P e REPTree apresentaram as maiores médias de r entre os valores estimados e preditos da condutividade elétrica (Figura 3A). Contudo, ao analisar o MAE, observa-se que a LR apresentou os menores valores. Para a germinação (Figura 3B), as técnicas ANN, LR, M5P e REPTree apresentaram os maiores valores de r , sem diferir estatisticamente entre si. Quanto ao MAE, estas mesmas técnicas, com exceção da ANN, apresentaram as menores médias.

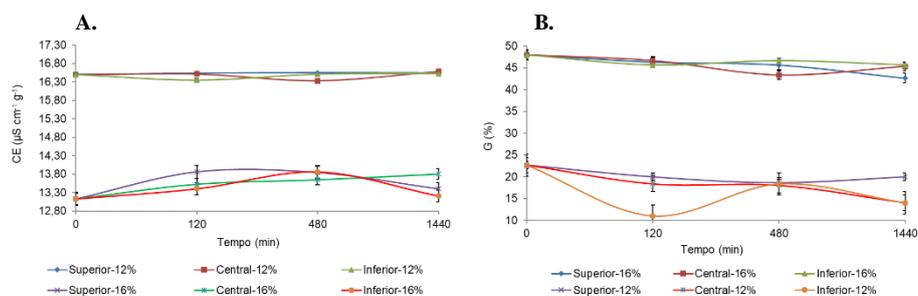


FIGURA 2. Avaliação de estrutura celular (A) e do percentual de germinação (B) dos grãos de milho com teores de água 12 e 16% (b.u.), pelo teste de condutividade elétrica, ao longo do período de monitoramento.

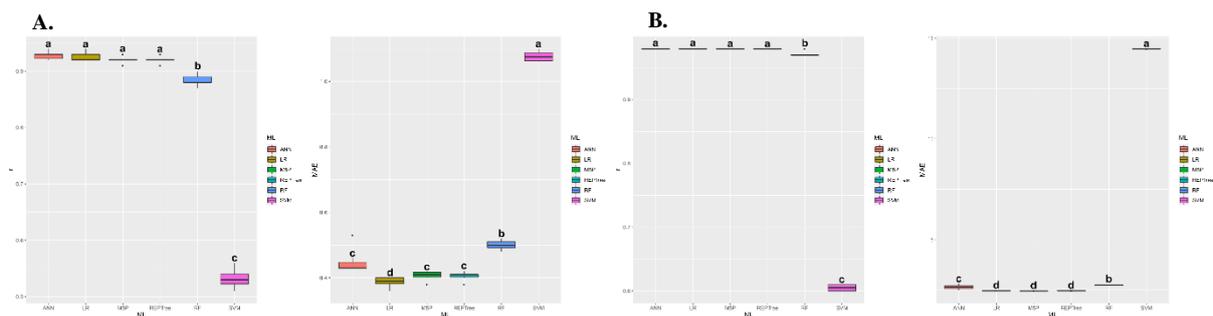


FIGURA 3. Boxplot para as variáveis, coeficiente de correlação de Pearson (r) e erro médio absoluto (MAE) entre os valores observados e estimados da condutividade elétrica (A) e germinação (B) em grãos de milho por diferentes modelos de aprendizagem de máquina e entradas. Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES: A condição de 16% de teor de água do milho e a posição de superior do perfil da massa de grãos sofreram as maiores alterações físicas de qualidade ao longo do tempo. A aplicação de algoritmos de Machine Learning predisse as perdas qualitativas de grãos de milho no transporte satisfatoriamente.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem a Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, ao Research Group at Postharvest Innovation: Technology, Quality & Sustainability (UFSM), Laboratório de Pós-Colheita (LAPOS-UFSM), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pela concessão de bolsas de estudos, recursos financeiros e espaços físicos para desenvolvimento dos experimentos.

REFERÊNCIAS:

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária, Brasília, Mapa / ACS, p. 399, 2009.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira, grãos**. 2021. Documento online. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>.
- ISTA. International Seed Testing Association. Determination of other seeds by number. In: **International rules for seed testing**, ed. 2008. Bassersdorf, cap. 4, p. 41-43, 2008.
- PEREIRA, Pedro Silvério Xavier et al. Percentage of corn grain losses in roads transport based on weight of loads. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 37, p. 1-10, 2019.