

PRECISÃO E RASTREABILIDADE NA ANÁLISE PÓS-COLHEITA: UMA PLATAFORMA AUTOMATIZADA PARA GRÃOS

ALAN JUNIO DA SILVA BORELA¹; GABRIEL RODRIGUES²; DANIEL DE CASTRO MACIEL³; RAFAEL SCHMECHEL SELL⁴; RICARDO SCHERER POHNDORF⁵; ÁADAMO DE SOUSA ARAÚJO⁶

¹ UFPel – alanj.borela@gmail.com

² UFPel – gabriel.rd@icloud.com

³ UFPel – daniel.macie@ufpel.edu.br

⁴ UFPel – rafael.sell@outlook.com

⁵ UFPel – ricardoscherer.eng@gmail.com

⁶ UFPel – adamo.araujo@ufpel.edu.br

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

Este projeto visa o desenvolvimento de uma plataforma compacta para a medição precisa da umidade em grãos, um fator crítico para a qualidade e comercialização na indústria agrícola. A detecção de umidade será realizada por sensores capacitivos, que exploram a relação direta entre o teor de água e a constante dielétrica do material ($\epsilon_{\text{água}} \approx 80$) (HAN et al., 2024).

Para assegurar a integridade e a velocidade da coleta de dados, o sistema integrará um mecanismo eletrônico e mecânico automatizado. Esta automação é essencial para padronizar o processo de medição, minimizando a variabilidade causada por erro humano e fornecendo resultados instantâneos (HAN et al., 2024).

A construção da plataforma será viabilizada pela junção entre eletrônica embarcada e prototipagem com impressão 3D. Os dados obtidos serão armazenados automaticamente em formato de série temporal, possibilitando a criação de um histórico robusto e a rastreabilidade completa das amostras (HAN et al., 2024).

O projeto contempla inicialmente um dos dois designs de sensores existentes: cilindros concêntricos e placas paralelas, ambos confeccionados em cobre, sendo o modelo de cilindros concêntricos o escolhido para a fase inicial de implementação.

O grande diferencial desta inovação é sua capacidade de realizar uma análise multifatorial, adquirindo e correlacionando um conjunto de dados que inclui:

- umidade,
- temperatura da amostra e do ambiente,
- massa da amostra,
- umidade relativa do ar,
- frequência de operação

Além disso, o sistema considera a massa específica como um dos fatores críticos de erro nos sensores, buscando reduzir significativamente essa limitação encontrada em soluções convencionais (Bessa et al. (2013)).

Essa abordagem integrada proporciona resultados mais confiáveis e com maior precisão em comparação com os medidores de umidade atualmente disponíveis no mercado, tornando a plataforma um avanço significativo para a indústria agrícola.

2. ANÁLISE DE MERCADO

O público-alvo da plataforma é composto por produtores rurais, cooperativas agrícolas, empresas de beneficiamento e armazenagem de grãos, além de

indústrias de processamento que demandam alto controle de qualidade em suas cadeias produtivas. A inovação atende especialmente agricultores de médio e grande porte, que necessitam de monitoramento contínuo da umidade para evitar perdas econômicas decorrentes da deterioração ou da desvalorização da produção (BAGAL et al., 2025).

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

O produto será comercializado como uma plataforma integrada de hardware e software, composta por sensores capacitivos, sensores auxiliares (temperatura, massa, umidade ambiente) e firmware dedicado para aquisição, processamento e rastreabilidade dos dados.

O modelo de receita prevê:

- Venda direta de dispositivos (hardware + software);
- Licenciamento do software para gestão e análise dos dados;
- Suporte técnico e manutenção em contratos anuais;
- Potencial para parcerias estratégicas com cooperativas, empresas de armazenagem e agroindústrias.

Ainda não há registro de propriedade intelectual, mas há previsão de solicitar patente de modelo de utilidade para a configuração geométrica dos sensores e registro de software para o firmware e a plataforma de análise de dados.

Etapas de Desenvolvimento

Fase 1 – Projeto Conceitual: Definição do princípio de funcionamento e modelagem teórica (equações de capacidade para placas paralelas e cilindros concêntricos, conforme Sadiku, 6^a ed.).

Fase 2 – Protótipo Inicial: Construção de sensores com eletrodos de cobre e estrutura mecânica em impressão 3D, integrados a microcontrolador de alta velocidade.

Fase 3 – Integração de Hardware e Software: Inclusão de sensores auxiliares, desenvolvimento do firmware e interface de comunicação de dados.

Fase 4 – Testes de Laboratório: Validação da medição em diferentes amostras de grãos, ajustes nos algoritmos de cálculo e correção de interferências externas.

Fase 5 – Testes de Campo e Ajustes: Implantação em ambientes reais de armazenagem para análise de robustez, precisão e confiabilidade.

Fase 6 – Produto Final: Versão pronta para produção em escala e comercialização.

Atualmente, a inovação encontra-se em TRL 3–4, com princípios comprovados experimentalmente em ambiente laboratorial. A evolução para TRL 5–6–7 ocorrerá após testes de campo e ajustes no firmware e no design mecânico.

4. PROJETO MECÂNICO

O projeto mecânico completo é mostrado na Figura 2, e na Figura 1 a implementação mecânica do sensor capacitivo Fig. 1 (a), o adaptador para cilindros capacitivos para diferentes tamanhos ou geometrias Fig. 1 (b), comporta de descarte de amostras Fig. 1 (c), e célula de carga Fig. 1 (d), na estrutura interna encontrasse o servo motor e o compartimento de circuitos eletrônicos, onde se encontra o circuito de controle e aquisição de dados.

Figure 1. (a) Detalhe do sensor capacitivo cilíndrico. (b) Adaptador projetado para o acoplamento do sensor ao sistema, permitindo também o uso de outras geometrias. (c) Vista em corte do mecanismo de comporta para descarte de amostras

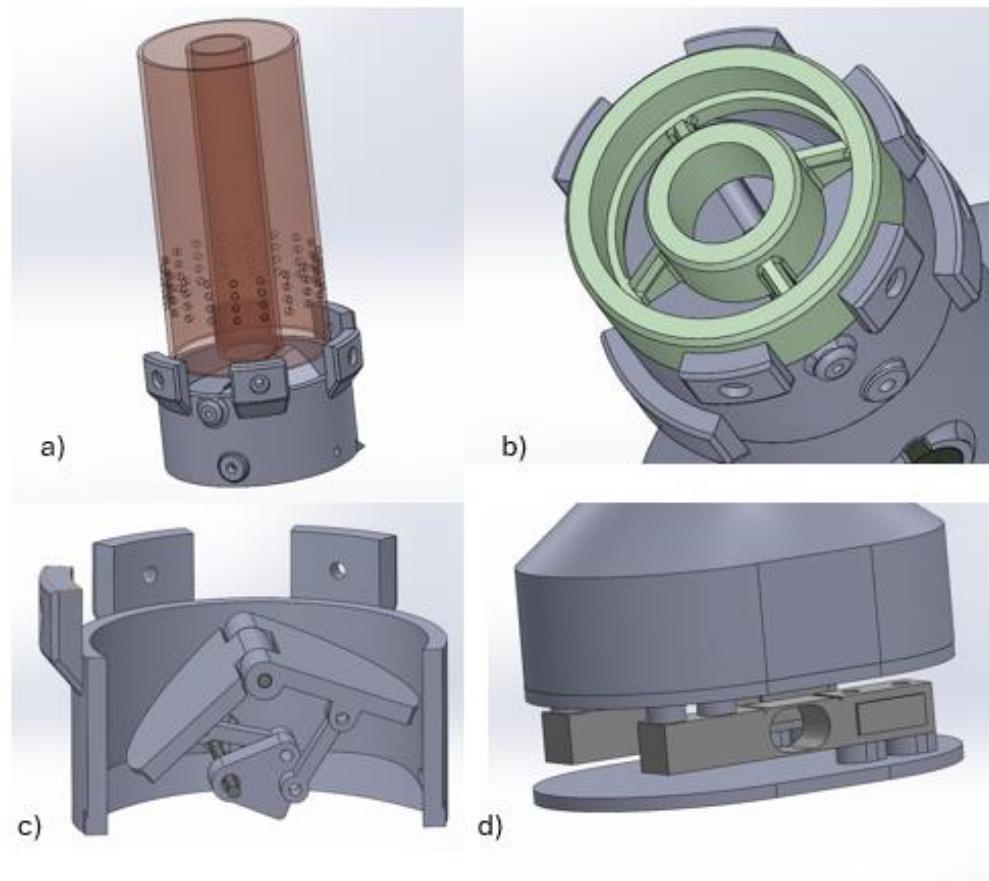


Figure 2. Projeto completo



5. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

A inovação contribui diretamente para o setor agrícola, possibilitando a medição precisa da umidade em grãos de forma autônoma e confiável. Isso reduz perdas pós-colheita, aumenta a qualidade dos produtos armazenados e fortalece a competitividade dos produtores.

Do ponto de vista social e econômico, a tecnologia auxilia agricultores de pequeno, médio e grande porte na tomada de decisão, permitindo a comercialização de grãos com maior valor agregado e menor risco de rejeição por excesso de umidade. Além disso, ao automatizar o processo de medição e calibração, reduz-se a dependência de mão de obra altamente especializada, democratizando o acesso à tecnologia.

No aspecto ambiental, o uso da inovação diminui desperdícios de alimentos e reduz a necessidade de reprocessamento e transporte de cargas inutilizadas, contribuindo para uma cadeia de suprimentos mais sustentável.

O projeto, inicialmente concebido e validado em ambiente de CAD SolidWorks, foi planejado para operar de forma totalmente autônoma, com sistema de auto calibração dos sensores e mecanismo automatizado de alimentação de amostras por atuadores e comportas mecânicas.

A implementação comercial da inovação tem potencial para gerar receita crescente nos próximos anos, mas ainda faltam amadurecimento do protótipo para especificar cenários realistas

No futuro, a inovação pode evoluir em diferentes frentes:

Integração com Internet das Coisas (IoT): permitindo que dados sejam transmitidos em tempo real para plataformas de monitoramento remoto.

- Uso de Inteligência Artificial: para aprimorar a interpretação dos resultados, criando algoritmos de previsão da qualidade do grão.
- Escalabilidade industrial: miniaturização dos sensores e produção em larga escala, reduzindo custos e ampliando o acesso.
- Expansão internacional: aplicação em diferentes culturas agrícolas e adaptação às demandas de exportação.

6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento desta plataforma de ensaios é fundamental para a aquisição de um conjunto de dados robusto e preciso, superando as limitações de instrumentos de uso geral. A análise em tempo real possibilitará a quantificação exata das correlações entre a umidade do grão e as variáveis que intervém no processo. Consequentemente, este trabalho fornecerá o embasamento teórico e prático necessário para a otimização de técnicas de medição existentes e para a proposição de novos modelos teóricos e práticos na área de análise de grãos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAGAL, S. A.; SAHARE, Y. A.; RAHATE, S. S.; BORKAR, D. D. S. A Systematic Study of Measurement and Detection of Moisture Level in Grains. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, v. 10, n. 3, p. 220-225, 2025

HAN, C.; WANG, Y.; SHI, Z.; XU, Y.; QIU, S.; MAO, H. The Design and Experimentation of a Corn Moisture Detection Device Based on Double Capacitors. *Sensors*, v. 24, n. 5, p. 1408, 2024.

BESSA, W. S. et al. Analysis of capacitive measurements at low frequencies for moisture content determination in soybeans. *Brazilian journal of Applied Instrumentation and Control*, v. 1, n. 1, 2013.