

Desenvolvimento de sistema embarcado de baixo custo para monitoramento em pulverizadores agrícolas

ALLAN MALDANER RODRIGUES¹; SOFIA PAGLIARINI²; THAIS DE ALMEIDA LUCAS³; EDUARDO WALKER⁴; MARLON MAURICIO HERNANDEZ CELY⁵; GIUSEPE STEFANELLO⁶.

¹ Universidade Federal de Pelotas – maldaner.allan@gmail.com

² Universidade Federal de Pelotas – sofiapagliarini@gmail.com

³ Universidade Federal de Pelotas – thaisdealmeidalucas@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Pelotas – eduardowalker@yahoo.com.br

⁵ Universidade Federal de Pelotas – marlon.cely@ufpel.edu.br

⁶ Universidade Federal de Pelotas – giusepest@gmail.com

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

A agricultura exerce um papel importante na economia nacional e na segurança alimentar global. No cenário brasileiro, a agricultura familiar atua como a base produtiva do setor rural, representando 77% de todas as unidades agropecuárias do país (IBGE, 2017a). A dinâmica agrícola nacional é fortemente caracterizada pelo cultivo intensivo, o que exige intervenções constantes para o controle de pragas. Considerando que o Brasil é o maior consumidor mundial de agrotóxicos em volume, o uso intensivo e, por vezes, desregulado gera impactos severos ao ambiente e à saúde humana (MELLO *et al.*, 2019).

Um dos principais agravantes nesse processo são as falhas operacionais durante a aplicação dos defensivos. Sem a automação adequada para ajustar a vazão das pontas de pulverização à velocidade de deslocamento, a operação manual de calibração resulta frequentemente em erros na taxa de aplicação. Isso ocasiona subaplicação e superaplicação, que geram desperdício de insumos e contaminação ambiental (IZABRALDE *et al.*, 2024).

Apesar da mecanização agrícola ser necessária para o aumento da produtividade, a adoção de tecnologias de controle automático para mitigar esses erros esbarra na complexidade e nos custos elevados dos equipamentos disponíveis no mercado. Essa barreira tecnológica contrasta diretamente com a estrutura fundiária brasileira, que é extremamente fragmentada: cerca de 70% dos estabelecimentos rurais do país possuem até 50 hectares (IBGE, 2017b). Essa realidade restringe drasticamente o poder de investimento do agricultor familiar e evidencia uma carência histórica de infraestrutura de ponta.

Diante desse cenário, nota-se uma lacuna tecnológica, sendo necessária a pesquisa e o desenvolvimento de soluções de agricultura de precisão que não se restrinjam a equipamentos de alto custo. A criação de sistemas de automação acessíveis e de fácil operação garante a integração de agricultores que cultivam pequenas áreas, gerando eficiência na aplicação de defensivos, sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica.

Para atender às necessidades específicas desse setor, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema otimizado de monitoramento estruturado na integração entre um Controlador Lógico Programável (CLP) e uma Interface Homem-Máquina (IHM), que operam em conjunto por meio de um protocolo de comunicação industrial. Essa arquitetura monitora as variáveis de pressão e vazão

com o intuito de propor uma tecnologia robusta, acessível e voltada diretamente para a otimização de pulverizadores da agricultura familiar.

A operação baseia-se no monitoramento contínuo das variáveis do circuito mecânico-hidráulico. O CLP atua como a unidade principal de processamento, encarregado de adquirir os dados fornecidos pelos sensores de pressão e vazão da linha. A partir dessas leituras, o controlador executa a lógica programada para calcular a taxa de aplicação de forma precisa e em tempo real. A IHM, por sua vez, atua como o painel de interação direta com o usuário, exibindo os parâmetros dinâmicos do sistema e permitindo o acompanhamento visual da pulverização. Além do monitoramento padrão, a programação do controlador possui diagnóstico de falhas, onde o CLP avalia constantemente a ocorrência de desvios de pressão que possam indicar anomalias operacionais, como o entupimento de filtros ou de pontas de pulverização, permitindo uma intervenção rápida assegurando a qualidade da aplicação e atuando na minimização do desperdício de insumos.

O diferencial da inovação proposta é o seu baixo custo de implementação aliado à utilização de tecnologias acessíveis e confiáveis. Logo, pretende-se a criação de uma tecnologia modular e econômica e que apresenta um potencial de tração regional com base forte em *retrofit*. Embora o mercado agrícola já disponha de tecnologias de controle avançadas, o alto custo de aquisição desses equipamentos restringe o acesso por parte desses agricultores. Em contrapartida, o sistema desenvolvido democratiza o monitoramento da aplicação, entregando uma interface ergonômica.

2. ANÁLISE DE MERCADO

A inovação tecnológica desenvolvida tem como público-alvo a agricultura familiar e os produtores de média escala, especificamente aqueles que operam conjuntos trator-pulverizador desprovidos de sistemas de automação ou controle embarcado. Embora a carência tecnológica seja de escala nacional, o mercado inicial de atuação possui forte expressividade no Rio Grande do Sul. O estado conta com 365.094 estabelecimentos rurais distribuídos em mais de 21 milhões de hectares (IBGE, 2017c). Desse montante, cerca de 25% do território agrícola gaúcho é ocupado e cultivado exclusivamente pela agricultura familiar (IBGE, 2017a). Além disso, 36% da área total do estado é destinada a lavouras temporárias de ciclos rápidos (IBGE, 2017c), caracterizando um perfil de cultivo que exige aplicações frequentes de defensivos.

Ao analisar o cenário competitivo, observa-se que o mercado atual de automação agrícola é dominado por grandes empresas multinacionais. Essas corporações oferecem controladores automáticos de pulverização com altíssimo grau de confiabilidade, robustez e reconhecimento no setor. No entanto, o custo de aquisição, implementação e manutenção desses sistemas é proibitivo para produtores de menor porte. A alta complexidade dos equipamentos comerciais cria uma barreira de entrada restritiva para a agricultura familiar, deixando uma parcela significativa dos produtores à margem dos avanços da agricultura de precisão.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

A viabilidade comercial da inovação sustenta-se em um modelo de negócios estruturado em duas frentes complementares de atuação. Inicialmente, a estratégia concentra-se na venda direta e na instalação do sistema para um grupo seletivo de agricultores parceiros. Essa etapa inicial é necessária para a validação prática e para a demonstração do correto funcionamento da tecnologia em ambiente real de

operação. Com a validação, será iniciada uma promoção comercial para expansão regional. A longo prazo, o modelo prevê a transição para uma integração B2B (*Business-to-Business*). O objetivo é fornecer a tecnologia de forma modular para empresas que fabricam pulverizadores de entrada, permitindo agregar o sistema diretamente na linha de montagem. Dessa forma, o agricultor poderá adquirir um maquinário novo que já possua o monitoramento embarcado de forma nativa.

No que tange aos estágios de desenvolvimento, o projeto encontra-se em uma fase de consolidação técnica, apresentando um Nível de Maturidade Tecnológica (TRL) correspondente à conclusão e validação dos testes de bancada. Quanto ao alinhamento dos requisitos de projeto, será realizado junto aos agricultores para atestar que o dimensionamento estrutural, a lógica de programação do controlador (CLP) e a comunicação com a interface (IHM) irão operar de maneira satisfatória. A etapa subsequente consiste no aprimoramento do encapsulamento e do *design* do produto, conferindo-lhe a robustez necessária para suportar as intempéries operacionais durante os testes de monitoramento embarcado no campo.

Para resguardar essa tecnologia, o projeto encontra-se em fase de levantamento de anterioridades. Este estudo prospectivo tem como objetivo identificar elementos singulares na integração mecânico-hidráulica do sistema e na arquitetura do *software* de controle, avaliando a viabilidade técnica e legal para a proteção da invenção por meio de depósito de patente.

Apesar do elevado potencial de tração e escalabilidade, a introdução do sistema no mercado enfrenta desafios inerentes ao perfil do consumidor. O principal risco associado ao lançamento é a barreira cultural e técnica, uma vez que se observa que muitos agricultores familiares apresentam resistência à adoção de inovações tecnológicas por receio de não conseguirem operar os equipamentos, frequentemente em decorrência de um menor grau de familiaridade com interfaces digitais. A principal estratégia de mitigação desse risco reside no próprio cerne do desenvolvimento: o *design* da IHM. A interface foi projetada para ser visualmente intuitiva, de fácil leitura e de rápida interpretação.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

A adoção dessa interface simplificada e do controle automatizado reflete diretamente em impactos sociais, econômicos e ambientais. Os agrotóxicos representam uma fatia expressiva do custo operacional de qualquer lavoura. Ao fornecer dados precisos em tempo real e corrigir desvios operacionais instantaneamente, o sistema impede as falhas de superaplicação e subaplicação. Do ponto de vista econômico, isso se traduz na eliminação do desperdício de insumos, garantindo um retorno financeiro direto e imediato ao agricultor. Sob a ótica ambiental e agrônômica, a adequação da taxa de aplicação previne a contaminação do solo e dos recursos hídricos, evita a fitotoxicidade nas culturas e inibe o desenvolvimento de pragas resistentes aos princípios ativos, promovendo um ciclo de cultivo mais seguro e sustentável.

Embora o detalhamento de projeções financeiras quantitativas exatas dependa da taxa de penetração inicial no mercado regional, a sustentabilidade econômica do projeto está ancorada na sua alta escalabilidade. Como estratégia futura de crescimento, a geração de receita será impulsionada pela transição para um modelo integrado à linha de montagem de indústrias parceiras, embarcando a tecnologia nativamente na fabricação de pulverizadores genéricos de entrada.

À medida que os primeiros protótipos em campo consolidarem seus resultados práticos, a visão de futuro foca no aprimoramento contínuo da arquitetura do sistema. O objetivo é desenvolver módulos cada vez mais robustos

e tecnológicos, mantendo o foco principal na usabilidade. O propósito final da inovação é garantir que a tecnologia de ponta seja plenamente acessível para operadores com baixo nível de instrução, assegurando uma qualidade técnica de excelência na aplicação de defensivos, mesmo em cenários operados por mão de obra pouco qualificada.

5. CONCLUSÕES

Em síntese, a tecnologia desenvolvida atua como um catalisador para a modernização da agricultura familiar. Ao oferecer uma inovação acessível, robusta e de fácil operação, o sistema promove o aumento direto da renda do produtor por meio da redução drástica dos custos operacionais associados ao desperdício de insumos. Paralelamente, o projeto entrega uma contribuição ambiental, mitigando os severos riscos de contaminação do ecossistema por agrotóxicos e garantindo a sustentabilidade da lavoura a longo prazo.

Diante do nível de maturidade tecnológica alcançado e da validação técnica já estabelecida, o projeto encontra-se em um ponto de inflexão estratégico, ideal para a formação de parcerias sólidas. A equipe de desenvolvimento está aberta à colaboração de *stakeholders*, fabricantes de maquinário agrícola e investidores que compartilhem do propósito de democratizar a tecnologia no campo. O engajamento com parceiros estratégicos, dispostos a contribuir com novas demandas do setor, intercâmbio de ideias e aporte de recursos, será o passo definitivo para a consolidação e escalabilidade deste produto no mercado, transformando pesquisa aplicada em uma solução comercial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IZABRALDE, V. S. et al. Influência do desgaste de pontas de pulverização na aplicação de defensivos agrícolas. *Revista Ambientale*, v. 4, 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Agricultura Familiar. Rio de Janeiro, 2017a. Disponível em: [agricultura_familiar.pdf](#). Acesso em: 22 maio 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Estabelecimentos Agropecuários. Rio de Janeiro, 2017b. Disponível em: [estabelecimentos.pdf](#). Acesso em: 22 maio 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Estabelecimentos Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, 2017c. Disponível em: [estabelecimento_rs.pdf](#). Acesso em: 22 maio 2026.

MELLO, F. A.; FAGIANI, M. d. A. B.; SILVA, R. C. R.; NAI, G. A. Agrotóxicos: impactos ao meio ambiente e à saúde humana. *Colóquium Vitae*, v. 11, n. 2, p. 37–44, 2019.

NOTA METODOLÓGICA

O presente trabalho utilizou ferramentas de inteligência artificial (IA) generativa exclusivamente como apoio na revisão ortográfica, gramatical e no aprimoramento da clareza textual. Todo o conteúdo conceitual, desenvolvimento metodológico, análises e redação foram integralmente concebidos e revisados pelos autores.