

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE SEMENTES EM SEMEADORAS NÃO AUTOMATIZADAS

BATISTA, Lucas Vinicius Nogueira¹

PRESTES, Cristine Oliveira²

RESUMO: A modernização das práticas agrícolas tem se mostrado essencial, principalmente em pequenas propriedades familiares que operam com maquinário funcional, mas sem automação. A agricultura de precisão, embora amplamente aplicada em grandes fazendas, enfrenta barreiras como custos elevados e dificuldade de acesso à capacitação técnica. Pesquisas demonstram que sensores ópticos em semeadoras convencionais aumentam a uniformidade da distribuição de sementes e reduzem perdas durante o plantio. Sistemas de monitoramento eletrônico oferecem soluções de baixo custo, adaptáveis às condições de pequenos produtores, e podem melhorar a segurança do trabalhador rural e gerar dados históricos para futuras decisões de manejo. Propõe-se, assim, o desenvolvimento de um sistema eletrônico de monitoramento baseado em microcontroladores, sensores ópticos e software embarcado, permitindo a modernização de máquinas existentes e integração gradual à agricultura digital.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de Precisão; Sensores Ópticos; Monitoramento de Sementes; Automação Agrícola

ABSTRACT: The modernization of agricultural practices has become essential, especially for small family farms operating with functional machinery but without automation. Precision agriculture, although widely applied in large farms, faces barriers such as high costs and limited access to technical training. Studies show that optical sensors in conventional seeders increase seed distribution uniformity and reduce seeder losses. Electronic monitoring systems offer low-cost solutions adaptable to smallholders, improving worker safety and generating historical data for future crop management decisions. Therefore, the development of an electronic monitoring system based on microcontrollers, optical sensors, and embedded software is proposed, enabling the modernization of existing machines and gradual integration into digital agriculture.

KEYWORDS: Precision Agriculture; Optical Sensors; Seed Monitoring; Agricultural Automation

¹Graduando de Engenharia Elétrica no Centro Universitário Campo Real.
enge-lucasbatista@camporeal.edu.br

²Graduada em Engenharia Mecânica. Especialização em Engenharia de Manutenção 4.0. Professora no Centro Universitário do Campo Real. prof_cristineprestes@camporeal.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A modernização das práticas agrícolas tem se tornado uma necessidade crescente, principalmente nas pequenas propriedades familiares que ainda operam com maquinário funcional, mas sem qualquer tipo de automação. Embora a chamada agricultura de precisão esteja cada vez mais presente em grandes fazendas, sua adoção ainda enfrenta barreiras significativas no Brasil, como o elevado custo das tecnologias e a dificuldade de acesso à capacitação técnica (SILVA et al., 2020; KNOB, 2006).

De acordo com levantamento da Kleffmann Group, citado pelo portal Rehagro, aproximadamente 45% dos agricultores já utilizam alguma técnica de agricultura de precisão, embora apenas uma pequena parcela consiga empregar sistemas de monitoramento eletrônico durante o plantio de culturas como o milho (REHAGRO, 2020). Essa realidade evidencia a importância de desenvolver tecnologias adaptadas à realidade do pequeno produtor, priorizando facilidade de uso e ganho operacional, como apontam estudos da Embrapa sobre a aplicação de ferramentas de agricultura de precisão em pequenas propriedades (EMBRAPA, 2015; EMBRAPA, 2021).

tecnologias de agricultura 4.0 de sistema de monitoramento de sementes têm potencial para reduzir perdas durante o estabelecimento da lavoura, ampliando a eficiência operacional (DALACORT ET AL., 2015). Trabalhos como “Sistema de monitoramento óptico da distribuição de sementes em semeadoras agrícolas” oferecem exemplos práticos de desenvolvimento e testes de detectores ópticos aplicados em semeadoras, indicando a viabilidade técnica desta abordagem em condições reais de campo (DALACORT ET AL., 2015). Esse tipo de solução torna possível modernizar equipamentos sem necessidade de substituição completa (OLIVEIRA; BORDIGNON; ALVES, 2017).

Em localidades onde o suporte institucional é menor, a adoção de sistemas de monitoramento de semeadora é atrasada pela precariedade de incentivos e pela falta de extensão rural com conhecimentos sobre automação simples (EMBRAPA, 2021). Essas limitações se refletem em custos de implantação e curva de aprendizado elevada para quem nunca trabalhou com instrumentos eletrônicos (BORGES; NASCIMENTO; MORGADO, 2022). No estado do Paraná, embora existam alguns estudos de caso e trabalhos acadêmicos aplicados à agricultura de

precisão, não há ainda dados amplamente divulgados que mostrem a proporção de pequenos produtores que usam monitoramento eletrônico em plantio de milho ou outros cereais em máquinas sem automação (KNOB, 2006). Essa carência de dados reforça a relevância da pesquisa científica na busca por alternativas viáveis ao pequeno produtor (GOMES; SILVA, 2018).

Conforme Dalacort et al. (2015), um sistema óptico de monitoramento pode ser construído com detectores simples, microcontroladores e registro de dados – numa solução de menor custo que os monitores comerciais de alta gama. Trabalhos de avaliação como o de Gomes e Silva (2018) testaram sensores ópticos em diferentes condições de plantio, demonstrando eficiência aceitável (OLIVEIRA; BORDIGNON; ALVES, 2017). Além do ganho operacional e da uniformidade na semeadura, espera-se também melhora na segurança para o trabalhador rural, reduzindo exposição a calor, poeira e esforço físico intenso (KNOB, 2006). Essa perspectiva dialoga com estudos sobre condições de trabalho rural e mecanização em pequenas propriedades, que reforçam a importância de soluções de baixo custo e fáceis de operar (BORGES; NASCIMENTO; MORGADO, 2022).

Outro ponto relevante é que a digitalização do monitoramento de sementes permite gerar dados históricos, que podem apoiar decisões de manejo em safras futuras. Estudos de Oliveira, Bordignon e Alves (2017) sobre visão computacional aplicada a sementes mostram que tecnologias digitais podem ser adaptadas ao contexto de pequenos agricultores com objetivo de aproximar pequenos agricultores a práticas de agricultura 4.0 (EMBRAPA, 2021). Visa integrar tecnologias avançadas, como sensores, automação, inteligência artificial e análise de dados, para tornar a produção agrícola mais eficiente, precisa e sustentável. Seu objetivo principal é otimizar processos, reduzir custos, aumentar a produtividade e garantir um uso mais inteligente dos recursos naturais.

Propõe-se, portanto, o desenvolvimento de um sistema eletrônico de monitoramento usando microcontroladores, sensores ópticos e software embarcado, com etapas de: concepção de software; prototipagem do circuito; teste de bancada; simulação em campo; e validação prática, conforme metodologias empregadas em pesquisas nacionais (GOMES; SILVA, 2018). Essa abordagem pode trazer ganhos de produtividade e segurança, com custo viável para agricultores familiares (DALACORT ET AL., 2015).

2 METODOLOGIA

O trabalho adotou uma abordagem metodológica experimental, com o objetivo de proporcionar maior conforto e segurança à rotina do pequeno produtor rural, além de oferecer soluções tecnológicas mais simples e acessíveis. Para tanto, a pesquisa foi conduzida por meio de experimentos realizados em condições reais de trabalho, envolvendo a participação direta do agricultor, o que permitiu validar as tecnologias propostas de forma prática e contextualizada (FERNANDES, 2000; EMBRAPA, 2021).

O desenvolvimento do protótipo concentrou-se na criação de um sistema de monitoramento da deposição de sementes no solo, voltado para ambientes agrícolas não automatizados. A implementação foi realizada utilizando a plataforma ARDUINO, que possibilita a modelagem e simulação de sistemas em tempo real, integrando sensores e lógicas de controle. Essa estratégia permite analisar e otimizar processos de semeadura, alinhando-se às práticas da agricultura de precisão e às recomendações de estudos anteriores, que ressaltam a importância da modelagem e simulação para a eficiência e sustentabilidade no campo (DALACORT ET AL., 2015; MODOLO ET AL., 2015).

2.1 DEFINIÇÃO DOS SENSORES E PLATAFORMA

Nesta etapa, foram definidos sensores e a plataforma. A plataforma ARDUINO tem diversos recursos, como bluetooth que auxiliou no desenvolvimento do protótipo sem contar o alto nível de processamento e memória que a plataforma oferece.

Tratando-se de sensores, o melhor caminho é a utilização do sensor infravermelho de barreira, um sensor dividido em dois componentes, um lado emissor e outro receptor de sinal, que detectam o fluxo de sementes durante o plantio pela interrupção do sinal. No sistema, esses sensores foram representados por entradas digitais com os seguintes estados:

- Estado “1”: semente detectada no momento da deposição;
- Estado “0”: ausência de semente, caracterizando possível falha ou obstrução.

Após a leitura do sensor e processamento dos dados, as informações foram enviadas a um display Lcd acoplado junto à cabine do trator, permitindo que o operador possa realizar o controle de falhas em tempo real.

O sensor óptico TCRT5000 detectou variações de refletância causadas pela passagem de sementes, gerando sinal elétrico proporcional à intensidade refletida. Destaca-se por alta sensibilidade, rápido tempo de resposta e baixo consumo, sendo adequado para monitoramento agrícola em tempo real. O Arduino lê o sinal por pinos digitais ou analógicos, utilizando seu conversor A/D de 10 bits para discriminar pequenas variações, e oferece fácil integração, baixo custo e ampla compatibilidade com sensores, garantindo precisão e confiabilidade mesmo em ambientes sujeitos a vibração ou poeira.

2.2 LISTA DE MATERIAIS

Para a implementação do sistema de monitoramento de sementes, utilizou-se uma placa microcontroladora Arduino Uno R3, responsável pelo processamento e controle lógico do sistema (ARDUINO, 2023). Para detecção da passagem das sementes, adotou-se um sensor de barreira de feixe infravermelho, que possui rápida resposta e alta precisão, características recomendadas para aplicações de monitoramento de objetos em movimento (CS ELETRÔNICA, 2017; JFL ALARMES, 2023).

A exibição das informações em tempo real é realizada por um display LCD 16x2 com interface I2C, permitindo facilmente a integração com o microcontrolador e reduzindo a quantidade de conexões necessárias (FILIPEFLOP, 2022). Para facilitar as ligações sem solda, foi utilizada uma protoboard, juntamente com cabos jumper para interligação dos componentes. Além disso, um resistor de 220 Ω foi empregado para a proteção do LED indicador, responsável por sinalização visual, e um buzzer piezoelétrico foi incluído para alerta sonoro opcional (TEM INDÚSTRIA, 2022). A alimentação do circuito foi feita por uma fonte de 5v. Todos esses itens que constituem o software se encontram no (Quadro 1), podendo ser fornecida pela porta USB do computador ou por fonte externa. Para garantir a estabilidade do conjunto, foi confeccionada uma estrutura de suporte artesanal construída em 3D, garantindo o correto alinhamento entre sensor e sementes durante os testes.

Quadro 1 – Materiais e aplicações.

| ITENS DO PROJETO | APLICAÇÃO | REPRESENTAÇÃO VISUAL |
|----------------------------------|---|---|
| Arduino Uno | Atuou como unidade central de controle, responsável pelo processamento das informações; |  |
| Protoboard | Placa de circuito, permitindo conexões rápidas sem a necessidade de soldagem; |  |
| Sensores de Infravermelho | Estrategicamente posicionados na linha de plantio; |  |
| Cabos elétricos | Interligações entre os dispositivos; |  |
| Fonte de Alimentação | Garantiu a energia necessária para o funcionamento estável do protótipo; |  |
| Resistores, Botões e Capacitores | Essenciais para o correto desempenho do circuito e para a interface de interação com o usuário; |  |
| Placa de Soldagem | Utilizada para a fixação permanente das conexões e maior robustez do circuito, garantindo confiabilidade durante o uso prolongado em ambiente de campo. |  |

Fonte: Autor (2025).

O protótipo utilizou o Arduino Uno R3 operando a 16 MHz, com tempo médio de resposta na ordem de microssegundos para leitura digital, garantindo detecção rápida dos pulsos gerados pelo sensor TCRT5000, cujo tempo típico de comutação fica entre 10 μ s e 25 μ s. Esse conjunto permite registrar a passagem das sementes praticamente em tempo real, com baixa latência no processamento dos sinais e atualização imediata das rotinas de monitoramento. A lógica implementada utiliza funções baseadas em *millis()* para temporização não bloqueante, assegurando precisão no intervalo crítico de 5 segundos sem detecção e acionamento do buzzer, além de atualização contínua do display I2C, cuja comunicação opera a 100 kHz no modo padrão.

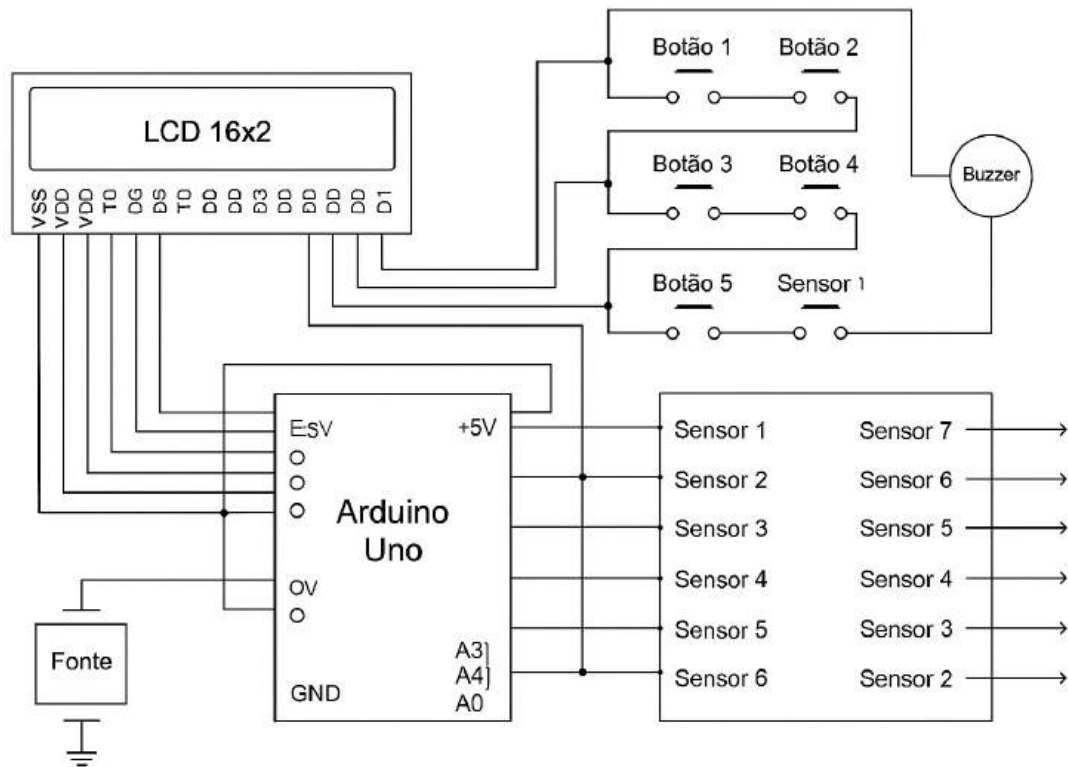
2.3 MODELAGEM NO SOFTWARE HARDWARE

Com base nas especificações previamente definidas, realizou-se a modelagem lógica do sistema na plataforma de desenvolvimento Arduino Ide contemplando blocos de leitura contínua dos sensores, bem como rotinas de decisão baseadas em lógica condicional para geração de alertas em situações de falha. O sistema foi programado para monitorar constantemente o fluxo de sementes e emitir um alerta caso seja detectada ausência de passagem por um período superior a 3 segundos, indicando possível falha mecânica. Nessa condição, um buzzer é acionado para emissão de alerta sonoro, e a ocorrência é registrada no display como erro, permanecendo visível até que a anomalia seja corrigida e o sistema seja resetado, permitindo o retorno à operação normal.

2.4 ESQUEMA ELÉTRICO SIMPLES

A Figura 1 apresenta o esquema elétrico simplificado do protótipo, mostrando a disposição dos componentes e as conexões elétricas necessárias para seu funcionamento. Este esquema tem caráter ilustrativo, servindo como referência para a montagem e compreensão do circuito, possibilitando uma visualização clara da integração entre os elementos do sistema.

Figura 1– Esquema Elétrico.



Fonte: Autor (2025).

2.5 EXECUÇÃO DO PROTÓTIPO

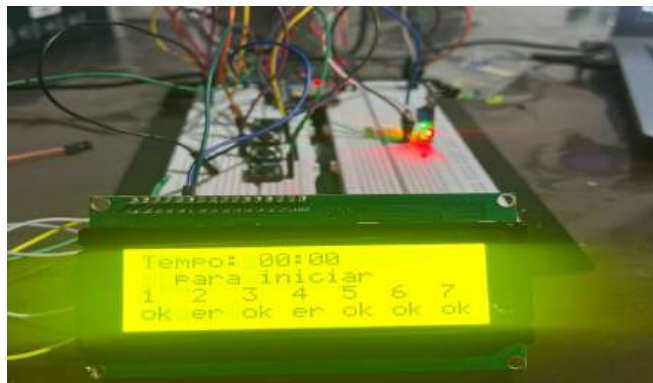
Após a escolha e desenvolvimento do software IDE ARDUINO do protótipo, iniciou-se o processo de construção e monitoramento da versão física, seguindo o esquema elétrico previamente elaborado. Nesse estágio, optou-se pelo uso de uma placa de solda para fixação dos componentes, devido à sua versatilidade para diferentes tipos de elementos eletrônicos.

No início da manufatura, realizou-se um estudo detalhado sobre os tipos de solda mais adequados para microcontroladores, concluindo que a solda estanhada oferecia melhor desempenho e confiabilidade.

Com a seleção e montagem de todos os componentes finalizada, procedeu-se à soldagem de fixação e aos contatos necessários. Dessa forma, obteve-se a versão física do protótipo, minimizando riscos de problemas como curtos-circuitos causados por manuseio inadequado, que poderiam comprometer o funcionamento do microcontrolador.

plântio de um trator/ semeadora, reproduzindo a queda de sementes semelhante à de uma semeadora em funcionamento, simulando assim sua atuação no campo, porém sem adversidades como trepidações e intempéries climáticas. Nesses testes os protótipos de sistema de monitoramento mostraram-se eficazes e totalmente viáveis pelo baixo custo, como mostrado na imagem abaixo, representada na Figura 3, que demonstra o desempenho do sistema durante o processo de simulação.

Figura 3 - Primeiro protótipo de laboratório e montagem na protoboard.



Fonte: Autor (2025).

O protótipo foi desenvolvido para ser de fácil operação e apresentar uma interface intuitiva. Ele conta com quatro botoeiras responsáveis por realizar as ações necessárias para o manuseio do equipamento, garantindo simplicidade e praticidade durante o uso.

Quando energizado, o protótipo (Figura 4) inicia em uma interface de espera, exibindo a mensagem “Em espera — pressione START para iniciar”. Ao pressionar o botão START, o sistema muda para a interface operacional, onde são apresentados os dados de funcionamento do equipamento.

Figura 4 - Teste da versão final do protótipo ainda em laboratório, demonstrando a interface ao ligar a energia



Fonte: Autor (2025)

A interface de trabalho (Figura 5) é o ambiente onde são apresentados, em tempo real, os dados referentes ao processo de plantio. Entre as informações exibidas, está o tempo de operação, que é iniciado e pausado pelo operador por meio do botão *PLAY*. Esse controle permite o monitoramento preciso da duração das atividades.

Além disso, a interface apresenta a quantidade total de linhas de plantio (neste caso, sete) e inclui um indicador de erro geral, que sinaliza falhas simultâneas em todas as linhas. É importante destacar que, caso a máquina esteja parada, o sistema exibirá essa condição, pois não haverá leitura de sementes nos condutores.

Também são exibidas as informações individuais de cada linha: a palavra *OK* indica funcionamento normal, enquanto a sigla *ER* (erro) sinaliza falha específica na linha correspondente.

Figura 5 - Teste da versão final do protótipo ainda em laboratório, demonstrando a interface após iniciar o programa.



Fonte: O autor (2025).

Após o acionamento da tecla *PLAY* do protótipo (figura 6), o cronômetro é iniciado e as leituras das linhas individuais passam a ser realizadas pelos sensores instalados nos condutores de sementes. Essas informações são exibidas em tempo real no display, na parte inferior da interface, representando o status de cada linha de plantio de forma contínua e atualizada.

Figura 6 - Acionamento da tecla *PLAY* do protótipo.



Fonte: Autor (2025).

A terceira botoeira (Figura 7) possui a função de *RESET*, sendo responsável por zerar o cronômetro, apagar as falhas e reinicializar o sistema, permitindo que a operação seja iniciada novamente. É importante destacar que essa função somente é executada quando o botão é pressionado por mais de 3 segundos consecutivos, evitando acionamentos acidentais.

Figura 7- Demonstração da terceira botoeira que possui a função de *RESET*.



Fonte: O autor (2025)

A quarta botoeira (Figura 8) é responsável pelo desligamento do sistema de monitoramento. Quando pressionada por 5 segundos consecutivos, o sistema é desligado, o display é desativado e todos os dados monitorados são apagados.

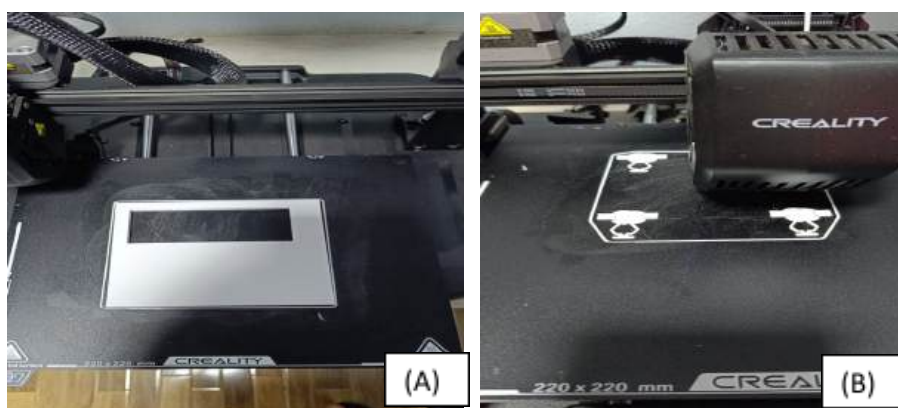
Figura 8 - Demonstração da quarta botoeira responsável pelo desligamento do sistema de monitoramento.



Fonte: O autor (2025)

Posteriormente ao teste iniciou-se o desenvolvimento do projeto 3D de um CASE e suporte para componentes internos de hardware. A modelagem e simulação foram feitas no Tinkercad, garantindo o ajuste correto dos elementos eletrônicos. Em seguida, o protótipo foi impresso em 3D na impressora Creality, usando filamento PLA, resultando em uma estrutura funcional, organizada e resistente.

Figura 9 – Demonstra o processo de impressão 3D no CASE do protótipo e seu projeto.



Fonte: Autor (2025).

O ensaio de campo foi realizado com o objetivo de avaliar o desempenho do Protótipo de Monitor de Sementes (Versão 1) em uma operação de plantio de milho. O sistema testado consistiu no monitor acoplado ao trator e sensores instalados nas linhas de plantio da semeadora. O principal objetivo da avaliação foi validar a funcionalidade do sistema de monitoramento em tempo real para semeadoras não automatizadas, assegurando a precisão das informações relativas ao plantio.

Os testes ocorreram em uma lavoura de milho localizada na Propriedade Nossa Senhora Aparecida, no município de Laranjeiras do Sul, Paraná, no dia 10 de setembro de 2025, data que marcou a abertura do plantio da safra 2025/2026, sob condições climáticas favoráveis. Para a realização dos testes, foram utilizados os seguintes equipamentos: o Protótipo de Monitor de Sementes (Versão 1), um Trator John Deere, ano 2002 (Sub Figura A), e uma Semeadora Semeato, modelo 9 linhas, utilizada em plantio direto (Sub Figura B). O período de operação contínua durante o teste foi de 3,3 horas.

Figura 10 - (A) Trator John Deere; (B) Semeadora Semeato.



Fonte: Autor (2025)

O protótipo foi desenvolvido em 3D, usando filamento PLA, resultando em uma estrutura funcional, organizada e resistente. Segundo Martins et al. (2024), o PLA usado em processos de manufatura aditiva (como a FDM) apresenta propriedades mecânicas adequadas para aplicações biomecânicas, o que reforça a escolha desse material para o case do projeto (MARTINS; BRANCO; MARTINS et al., 2024).

Durante o período de operação, o sistema de monitoramento registrou um total de 11 falhas. Em todos os casos, o sensor e o monitor atuaram de forma preditiva, indicando a ocorrência da falha no display, por exemplo, com mensagens do tipo “Falha Linha 1”. As falhas observadas foram classificadas em três tipos distintos. O primeiro tipo, Queda de Corrente Motriz Individual de Linha, ocorreu nove vezes, caracterizando uma falha mecânica na transmissão de movimento para uma linha de plantio específica. O segundo tipo, Queda de Corrente Motriz Central, ocorreu uma vez, representando uma falha mecânica crítica, pois interrompe o

movimento de todas as correias motrizes das linhas individuais. Por fim, houve um registro de falta de alimentação de sementes, de natureza operacional, decorrente da ausência de insumos no reservatório da semeadora. Assim, das 11 falhas observadas, duas foram de origem mecânica (corrente central e correntes individuais) e uma de natureza operacional.

Os testes de campo demonstraram que o Protótipo de Monitor de Sementes (Versão 1) operou adequadamente, fornecendo informações de plantio precisas e em tempo real. A capacidade do sistema de identificar e sinalizar os três tipos de falhas constatadas valida a premissa de que o protótipo é eficaz para o monitoramento de sementes em semeadoras não automatizadas, contribuindo para maior confiabilidade e eficiência nas operações de plantio.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos demonstram que a versão final do protótipo apresentou desempenho estável e coerente com os parâmetros definidos para o monitoramento de sementes. A integração do hardware baseado em Arduino, aliado ao case em PLA com encaixes dedicados para botoeiras e display, contribuiu para maior confiabilidade operacional e melhor organização dos componentes. Durante os testes, o sistema respondeu de forma consistente à passagem das sementes, mantendo precisão adequada ao propósito do projeto e demonstrando potencial de aplicação prática em condições reais de plantio.

3.1 APRESENTAÇÃO DO MODELO FÍSICO CONSTRUÍDO

A versão final do protótipo do Sistema de Monitoramento de Sementes está em funcionamento. O hardware, baseado em Arduino, foi integrado a um case impresso em PLA, projetado com áreas específicas para as botoeiras e para o acoplamento do display, garantindo organização estrutural e facilidade de operação.

Figura 11 - Demonstra modelo do protótipo com hardware montado e pronto para os testes realizados.



Fonte: Autor (2025).

A Figura 11 apresenta o protótipo final do monitor de sementes totalmente montado em sua case 3D, evidenciando a disposição interna dos componentes e o acabamento estrutural. Também é possível observar a botoeira integrada à interface frontal, responsável pelo controle das funções operacionais do sistema. O conjunto demonstra a evolução do projeto, consolidando uma solução robusta, funcional e adequada ao uso em campo.

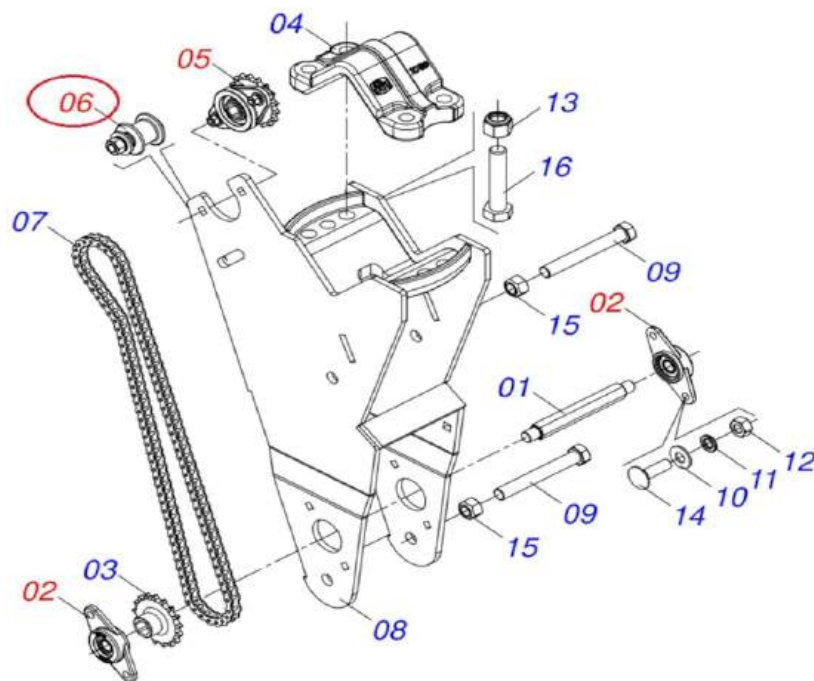
3.2 RESULTADOS OBTIDOS EM PERÍODO DE VALIDAÇÃO

Para validar o protótipo, foi realizada a operação de abertura das linhas de plantio e a verificação da deposição de sementes no solo. Também foi realizada a contagem de sementes, relacionando os resultados à configuração mecânica das engrenagens semeadoras. Além disso, outros testes foram conduzidos, incluindo a

simulação dos três tipos possíveis de falhas em quatro ensaios, todos monitorados pelo protótipo. No primeiro ensaio, simulou-se a queda ou quebra da corrente motriz da semeadora (Figura 12), permitindo verificar que o monitor de sementes indicou corretamente a falha geral em todas as linhas de plantio, conforme configurado.

A Figura (12) demonstra o projeto mecânico e o modo de funcionamento da corrente motriz, destacando o ponto onde ocorreu a falha da corrente durante os testes. Também é possível observar como ela atua sobre o componente 7, além dos demais elementos móveis que compõem o sistema e são igualmente responsáveis pelo bom funcionamento do conjunto.

Figura 12 - Esquema abaixo demonstra o sistema de corrente motriz da semeadora responsável por movimentar os eixos e polias das demais linhas de plantio.



Fonte: Loja Novo Campo (2004).

No segundo ensaio, (Figura 12) simulou-se a queda das correntes de linhas específicas da semeadora. Para isso, foi desativada a corrente de comando das linhas 3 e 4, sendo possível observar o envio dos dados para o monitor e a indicação da falha correspondente no display.

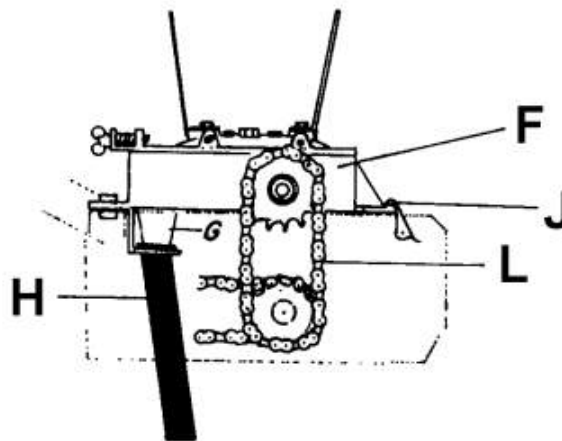
A Figura 13 apresenta o esquema de funcionamento mecânico da linha individual de plantio, conforme o manual técnico do equipamento. Destaca-se que o item indicado pela letra "H" representa o condutor de sementes, componente no qual

está acoplado o sensor de barreira, responsável pelo monitoramento da passagem das sementes durante a operação.

Os itens identificados pelas letras “L”, “J” e “F” correspondem às correntes de comando individuais de cada linha de plantio, locais sujeitos a possíveis falhas mecânicas.

Essas regiões foram utilizadas como pontos de simulação das falhas durante os testes de campo, permitindo avaliar o comportamento do sistema sob condições de anomalia controlada.

Figura 13 - Sistema de condutor de sementes da semeadora e corrente de comando individual de cada linha.



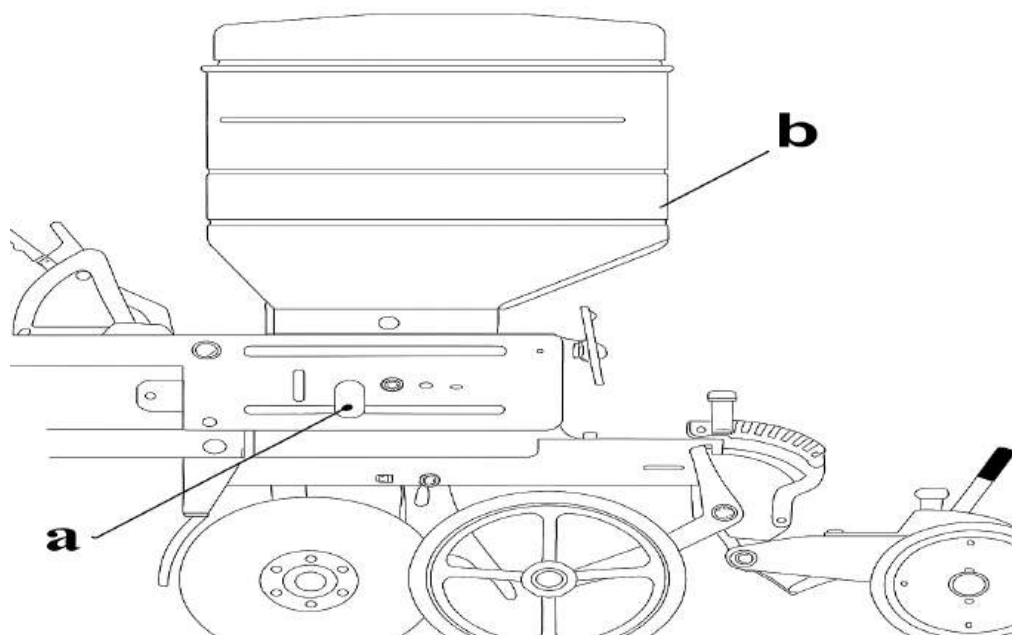
Fonte: Manual de Operação (1999).

O terceiro ensaio consistiu na retirada de todas as sementes do reservatório da semeadora (Figura 14). Posteriormente, ao acionar o comando de início de operação no monitor, foi registrada, em aproximadamente 1,5 segundos, a indicação de falha geral, demonstrando simultaneamente a ausência de sementes em todas as linhas de plantio.

No quarto ensaio, removeu-se apenas o conteúdo de um reservatório de sementes e iniciou-se a operação. Também em 1,5 segundos, o protótipo indicou a falha, sendo exibida a palavra “Erro” no display, confirmando o correto funcionamento do sistema em situações de falha parcial. A Figura 15 apresenta o carrinho de plantio, no qual as correntes, condutores de sementes e polias trabalham em conjunto para garantir o correto funcionamento do sistema de deposição de sementes no solo durante a operação de plantio.

A letra A indica o compartimento onde estão acondicionadas as correntes individuais de acionamento de cada linha de plantio. A letra B identifica o reservatório de sementes, local onde foram realizadas as ações referentes ao Teste 3.

Figura 14 - Carrinho de plantio conjunto onde fica as correntes e polias e sensor adaptado para o monitoramento.



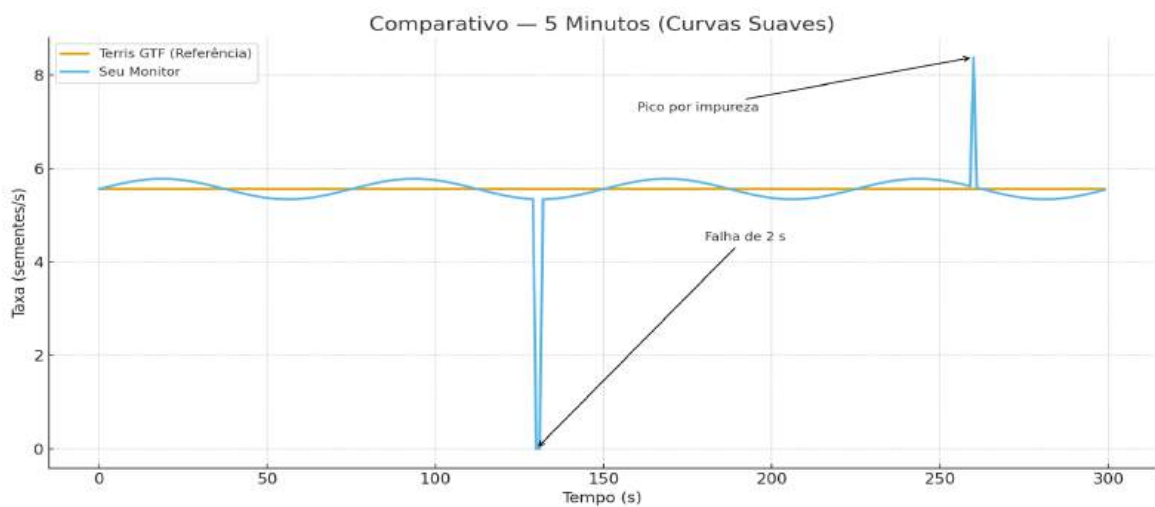
Fonte: Manual de Operação (1999)

Durante o teste comparativo (Gráfico 1), realizado ao longo de cinco minutos entre o protótipo de monitoramento de sementes e o equipamento comercial Terris GTF, observou-se um comportamento estável em ambos os sistemas. Nesse período, a máquina percorreu aproximadamente 416,67 metros, e a quantidade total de sementes foi estimada com base na densidade de semeadura do milho (4 sementes por metro) e na metragem percorrida, resultando em cerca de 1.667 sementes depositadas. A linha de referência se manteve constante, enquanto o protótipo apresentou pequenas oscilações regulares ao redor desse valor, comportamento típico em sistemas de leitura contínua.

Também foram identificados dois eventos pontuais: um pico associado à passagem de impurezas no fluxo de sementes e uma interrupção de aproximadamente dois segundos, o que representa cerca de 11 sementes não registradas, considerando a taxa média de 5,56 sementes por segundo. Após o

ensaio, a conferência manual indicou um déficit próximo de 2%, equivalente a aproximadamente 33 sementes, valor compatível com o cálculo estimado pela densidade e que demonstra que, mesmo com pequenas variações, o protótipo apresentou desempenho muito próximo ao equipamento comercial, confirmando sua confiabilidade.

Gráfico 2-comparação entre o Terris GTF (Anexo 1) e o monitor desenvolvido, mostrando oscilações suaves de leitura, um pico por impureza e uma falha momentânea de 2 segundos durante 5 minutos total de operação.



Fonte: Autor (2025).

Dessa forma, constatou-se que o protótipo de monitor de sementes para semeadoras não automatizadas é válido, realizando funções similares às de equipamentos já existentes no mercado, porém com custo reduzido, conforme evidenciado na Tabela 1

Tabela 1 - Orçamento parcial de custos do projeto.

| Componente | Quantidade | Valor Unitário(R\$) | Subtotal |
|-----------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------|
| Arduino Uno R3 | 1 | 55,00 | 55,00 |
| Sensor Óptico TCRT50 | 2 | 4,50 | 9,00 |
| Display LCD 16x4 I2C | 1 | 35,00 | 35,00 |
| Buzzer Piezoelétrico | 1 | 2,50 | 2,50 |
| Botões (push-button) | 5 | 1,00 | 5,00 |
| Resistores 10kΩ | 7 | 0,15 | 1,05 |
| Protoboard | 1 | 20,00 | 20,00 |
| Fonte USB 5V | 1 | 8,00 | 8,00 |
| Total Estimado (R\$) | | 150,55 | 150,00 |

Fonte: Autor (2025).

Nesta etapa do estudo, verificou-se um comparativo de valores entre produtos já existentes no mercado, entre eles o Terris GTF(anexo 3) e o Pro Solus (anexo 4). Ambas as marcas eram amplamente consolidadas e ofereciam funcionalidades semelhantes às propostas pelo protótipo desenvolvido.

A análise (tabela 2) permitiu avaliar não apenas o custo agregado de cada solução comercial, mas também identificar como o protótipo confeccionado se posicionava em relação aos sistemas profissionais disponíveis, considerando desempenho, acessibilidade financeira e viabilidade de adoção por pequenos produtores. Esse comparativo deu suporte técnico para justificar o desenvolvimento de uma alternativa de menor custo, mantendo características essenciais de monitoramento e confiabilidade operacional.

Tabela 2 - comparativo de valores entre o protótipo e produtos encontrados no mercado

| Sistema | Preço Base | Custo em 7 Linhas |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Terris GTF-400 | R\$ 6.700 a R\$ 7.000 | R\$ 6.700 a R\$ 7.000 |
| Pro Solus PSX | R\$ 5.800 a R\$ 7.500 | R\$ 5.800 a R\$ 7.500 |
| Protótipo | R\$ 150,55 | R\$ 150,55 |

Fonte: Autor (2025).

O quadro comparativo evidencia a grande diferença de custos entre os monitores comerciais Terris GTF-400 e Pro Solus PSX, que variam entre R\$ 5.800,00 e R\$ 7.500,00 e o protótipo desenvolvido, cujo valor é de apenas R\$ 150,55. Apesar da simplicidade, o Protótipo mantém a funcionalidade principal de monitoramento de sementes, oferecendo uma alternativa acessível e eficaz para pequenos produtores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de sistemas de monitoramento de sementes em semeadoras não automatizadas representa um avanço significativo na busca por soluções tecnológicas acessíveis voltadas à agricultura familiar. Segundo o Censo Agropecuário de 2017, a agricultura familiar corresponde a aproximadamente 77% dos estabelecimentos agropecuários no Brasil, ocupando cerca de 23% da área agrícola total do país (BRASIL, 2024). Apesar de sua relevância, esses produtores enfrentam desafios no acesso a inovações tecnológicas adequadas às suas realidades, o que limita a adoção de tecnologias mais avançadas (EMBRAPA, 2023). O projeto proposto busca suprir essa lacuna, oferecendo uma solução de baixo

custo e fácil implementação, alinhada às necessidades específicas dos pequenos produtores rurais).

O protótipo desenvolvido demonstrou ser capaz de identificar falhas na deposição de sementes em tempo real, permitindo a tomada de decisões rápidas e contribuindo para a melhoria da eficiência do plantio. Além disso, a utilização de recursos como sensores infravermelhos, display LCD e alertas sonoros comprovaram a eficácia do sistema em condições simuladas.

Com base nos resultados obtidos, considera-se que o sistema apresenta grande potencial de aplicação prática, podendo ser ampliado para monitorar mais linhas de plantio e integrado a outras tecnologias, como sistemas de georreferenciamento ou armazenamento de dados na nuvem. Futuramente, sugere-se o desenvolvimento de uma versão comercial do dispositivo, bem como a realização de testes em campo para validação em ambientes reais.

Por fim, este trabalho contribuiu não apenas para a construção de uma solução tecnológica, mas também para o crescimento pessoal e profissional dos envolvidos, promovendo o aprendizado em áreas como automação, eletrônica, programação e agricultura de precisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO. **Arduino UNO Rev3 – Technical Specifications**. Ivrea, 2023. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>. Acesso em: 26 set. 2025.

BORGES, L. C.; NASCIMENTO, A. dos R.; MORGADO, C. M. A. **Agricultura de precisão: ferramenta de gestão na rentabilidade e produtividade de grãos**. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 2022. Disponível em: <https://scientificalelectronicarchives.org/index.php/SEA/article/view/1520>. Acesso em: 26 set. 2025.

CS ELETRÔNICA. **Sensor de barreira (ativo): manual de referência e instalação**. São Paulo, 2017. Disponível em: https://cs.ind.br/wp-content/uploads/2017/02/02.009.030.015.01-Manual-de-refer%C3%A2ncia-e-instala%C3%A7%C3%A3o-Sensor-de-Barreira-_Ativo_.internet.pdf. Acesso em: 26 set. 2025.

DALACORT, R.; LINARES, K. S. C.; TORRICO, C. R. C.; MODOLO, A. J.; ORTIZ, J. L. R. **Sistema de monitoramento óptico da distribuição de sementes em semeadoras agrícolas.** UTFPR, 2015. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br>. Acesso em: 26 set. 2025.

EMBRAPA. **Agricultura digital e agricultura de precisão.** Embrapa Instrumentação, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agricultura-digital>. Acesso em: 26 set. 2025.

EMBRAPA. **Uso da agricultura de precisão na pequena propriedade.** São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2015. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/923599>. Acesso em: 26 set. 2025.

FERNANDES, Ricardo Alves Thomaz. **Aplicação de conceitos da qualidade em operações mecanizadas na produção de milho (Zea mays L.) para silagem.** 2000. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) — Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11148/tde-20181127-161136/en.php>. Acesso em: 19 nov. 2025.

FILIPEFLOP. **Módulo Display LCD 16x2 com Interface I2C.** Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-display-lcd-16x2-com-interface-i2c/>. Acesso em: 26 set. 2025.

GOMES, Anderson Ravanny de Andrade; SILVA, Paulo Roberto Arbex. **Avaliação de sensores ópticos para monitoramento da operação de semeadura em milho e soja.** UNESP, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/05dedebb-d469-4652-85cf-db0ec6e2608f/full>. Acesso em: 26 set. 2025.

JFL ALARMES. **IRA-20: sensor de barreira infravermelho de um feixe.** Santa Rita do Sapucaí, 2023. Disponível em: <https://jflalarmes.com.br/familias/ira-20/>. Acesso em: 26 set. 2025.

KLEFFMANN GROUP. Levantamento sobre adoção da agricultura de precisão no Brasil. In: SILVA, C. A. et al. **Agricultura de precisão no Brasil: conjuntura atual,**

desafios e perspectivas. Research, Society and Development, v. 9, n. 11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9603>. Acesso em: 26 set. 2025.

KNOB, Marcelino João. **Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades.** UFSM, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br>. Acesso em: 26 set. 2025.

MODOLO, A. J.; DALACORT, R.; TORRICO, C. R. C. **Tecnologias para monitoramento de semeadura em plantadeiras.** UTFPR, 2015.

MARTINS, Rui F.; BRANCO, Ricardo; MARTINS, Miguel; MACEK, Wojciech; MARCINIAK, Zbigniew; SILVA, Rui; TRINDADE, Daniela; MOURA, Carla; FRANCO, Margarida; MALÇA, Cândida. ***Mechanical Properties of Additively Manufactured Polymeric Materials — PLA and PETG — For Biomechanical Applications.*** Polymers, v. 16, n. 13, p. 1868, 2024. DOI: 10.3390/polym16131868.

OLIVEIRA, Lucas Ferrari; BORDIGNON, Luiz Alberto; ALVES, Jeovane Honório. **Identificação de amostras de sementes utilizando visão computacional.** Revista de Informática Teórica e Aplicada, v. 24, n. 1, 2017. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/rita/article/view/VOL24-NR1-150>. Acesso em: 26 set. 2025.

REHAGRO. **Agricultura de precisão: desafios e oportunidades.** Blog Rehagro, 2020. Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/agricultura-de-precisao/>. Acesso em: 26 set. 2025.

SILVA, C. A.; MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão no Brasil: conjuntura atual, desafios e perspectivas.** Research, Society and Development, v. 9, n. 11, e2679119603, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9603>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/346981141_Agricultura_de_Precisao_no_Brasil_conjuntura_atual_desafios_e_perspectivas. Acesso em: 26 set. 2025.

SEMEATO S/A Indústria e Comércio. **Manual de Operação e Catálogo de Peças – Plantadeira Semeato PAR 1800 / 2800 / 3000 / 3600.** Passo Fundo: Semeato, [s.d.]. Disponível em: <https://www.semeato.com.br>. Acesso em: 29 out. 2025.

TEM INDÚSTRIA. **Sensor infravermelho ativo duoIVA-3010: manual técnico.** São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.tem.ind.br/manuais/duoiva3010.pdf>. Acesso em: 26 set. 2025.

TERRIS TECNOLOGIA. **Monitor de Plantio GTF-400.** Disponível em: (link do produto). Acesso em: 09 dez. 2025. terris.com.br

YPIRANGA IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS. **Pro Solus – Linha de produtos.** Disponível em: <https://ypirangarv.com.br/pro-solus>

ANEXOS

Anexo 1- Código do software desenvolvido no Arduino ide.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 4); // LCD 16x4

// ----- PINOS -----
const int btnInterface = 2;
const int btnStart = 3;
const int btnPause = 4;
const int btnReset = 5;
const int sensorLinha1 = 6; // TCRT5000 linha 1

const unsigned long LONG_PRESS_MS = 3000; // 3 segundos
const unsigned long debounceDelay = 50; // Debounce mais rápido
const unsigned long sensorTimeout = 2500; // Timeout mais rápido para ER

// ----- VARIÁVEIS -----
bool interfaceCronometro = false;
bool running = false;
bool paused = false;

bool displayLigado = false;
bool displayOff = false;

unsigned long startTime = 0;
unsigned long pauseOffset = 0;

// SENSOR
bool lastSensorState = HIGH;
unsigned long lastDebounceTime = 0;
unsigned long lastSensorTick = 0; // última passagem registrada
bool linha1OK = true;
```

```

bool erroGeral = false;

// detecção botão interface
bool ifaceWasDown = false;
unsigned long ifacePressedAt = 0;
bool ifaceLongHandled = false;

void setup() {
  pinMode(btnInterface, INPUT_PULLUP);
  pinMode(btnStart, INPUT_PULLUP);
  pinMode(btnPause, INPUT_PULLUP);
  pinMode(btnReset, INPUT_PULLUP);

  pinMode(sensorLinha1, INPUT);

  lcd.init();
  lcd.noBacklight();
  lcd.clear();
}

void loop() {

  // ===== SENSOR =====
  if (displayLigado && interfaceCronometro && running) {
    lerSensorLinha1();
  }

  // ===== SISTEMA PRONTO PARA REINICIAR =====
  if (displayOff) {
    if (!digitalRead(btnInterface)) {
      delay(150);
      if (!digitalRead(btnInterface)) {
        reiniciarSistema();
      }
    }
  }
  return;
}

```

```
}
```

```
bool ifaceDown = !digitalRead(btnInterface);
```

```
// ===== BOTÃO INTERFACE =====
```

```
if (ifaceDown && !ifaceWasDown) {
```

```
    ifaceWasDown = true;
```

```
    ifacePressedAt = millis();
```

```
    ifaceLongHandled = false;
```

```
}
```

```
if (ifaceDown && ifaceWasDown && !ifaceLongHandled) {
```

```
    if (millis() - ifacePressedAt >= LONG_PRESS_MS) {
```

```
        ifaceLongHandled = true;
```

```
        executarFinalizacao();
```

```
        return;
```

```
    }
```

```
}
```

```
if (!ifaceDown && ifaceWasDown) {
```

```
    unsigned long dur = millis() - ifacePressedAt;
```

```
    ifaceWasDown = false;
```

```
if (dur < LONG_PRESS_MS) {
```

```
    if (!displayLigado) {
```

```
        displayLigado = true;
```

```
        lcd.backlight();
```

```
        telaInicial();
```

```
        return;
```

```
    }
```

```
interfaceCronometro = true;
```

```
running = false;
```

```
paused = false;
```

```
pauseOffset = 0;
```

```
linha1OK = true;
```

```

    erroGeral = false;
    interfaceMonitorSementes();
}
}

// ===== START =====
if (!digitalRead(btnStart) && displayLigado && interfaceCronometro) {
    delay(150);
    if (!digitalRead(btnStart)) {
        if (!running && !paused) {
            running = true;
            startTime = millis();
        }
        else if (!running && paused) {
            running = true;
            paused = false;
            startTime = millis() - pauseOffset;
        }

        while (!digitalRead(btnStart)) delay(10);
        delay(150);
    }
}

// ===== PAUSE =====
if (!digitalRead(btnPause) && displayLigado && interfaceCronometro) {
    delay(150);
    if (!digitalRead(btnPause)) {
        if (running) {
            running = false;
            paused = true;
            pauseOffset = millis() - startTime;
        }
        while (!digitalRead(btnPause)) delay(10);
        delay(150);
    }
}

```

```
}
```

```
// ===== RESET =====
```

```
if (!digitalRead(btnReset) && displayLigado && interfaceCronometro) {
```

```
    delay(150);
```

```
    if (!digitalRead(btnReset)) {
```

```
        running = false;
```

```
        paused = false;
```

```
        pauseOffset = 0;
```

```
        linha1OK = true;
```

```
        erroGeral = false;
```

```
        interfaceMonitorSementes();
```

```
        while (!digitalRead(btnReset)) delay(10);
```

```
        delay(150);
```

```
    }
```

```
}
```

```
// ===== ATUALIZA CRONÔMETRO =====
```

```
if (displayLigado && interfaceCronometro) atualizarCronometro();
```

```
}
```

```
// ===== TELAS =====
```

```
void telaInicial() {
```

```
    lcd.clear();
```

```
    lcd.setCursor(0, 0);
```

```
    lcd.print(" Aguardando ");
```

```
    lcd.setCursor(0, 1);
```

```
    lcd.print("  iniciar  ");
```

```
}
```

```
// ===== INTERFACE MONITOR SEMENTES =====
```

```
void interfaceMonitorSementes() {
```

```
    lcd.clear();
```

```
atualizarCronometro();
```

```
lcd.setCursor(0, 1);
```

```
if (running) {
```

```
    if (erroGeral) lcd.print(" Erro Geral ");
```

```
    else lcd.print(" Sementes ");
```

```
} else {
```

```
    lcd.print(" Sementes ");
```

```
}
```

```
lcd.setCursor(0, 2);
```

```
lcd.print(" 1 2 3 4 5 6 7 ");
```

```
lcd.setCursor(0, 3);
```

```
if (running) {
```

```
    if (linha1OK) lcd.print("OK OK OK OK OK OK OK");
```

```
    else lcd.print("ER OK OK OK OK OK OK");
```

```
} else {
```

```
    lcd.print("OK OK OK OK OK OK OK");
```

```
}
```

```
}
```

```
// ===== CRONÔMETRO =====
```

```
void atualizarCronometro() {
```

```
    unsigned long elapsed;
```

```
    if (running) elapsed = millis() - startTime;
```

```
    else if (paused) elapsed = pauseOffset;
```

```
    else elapsed = 0;
```

```
    int segundos = (elapsed / 1000) % 60;
```

```
    int minutos = elapsed / 60000;
```

```
    lcd.setCursor(0, 0);
```

```
    char buf[17];
```

```
    snprintf(buf, sizeof(buf), " Tempo %02d:%02d ", minutos, segundos);
```

```
lcd.print(buf);  
}
```

```
// ===== FINALIZAÇÃO =====
```

```
void executarFinalizacao() {  
  lcd.clear();  
  lcd.setCursor(0, 0);  
  lcd.print(" Finalizando ");  
  lcd.setCursor(0, 1);  
  lcd.print(" ... ");  
  
  delay(3000);  
  
  lcd.noBacklight();  
  lcd.clear();  
  displayOff = true;  
}
```

```
// ===== REINICIAR =====
```

```
void reiniciarSistema() {  
  displayOff = false;  
  displayLigado = false;  
  interfaceCronometro = false;  
  running = false;  
  paused = false;  
  pauseOffset = 0;  
  linha1OK = true;  
  erroGeral = false;  
  
  lcd.clear();  
  lcd.backlight();  
  telaInicial();  
}
```

```

// ===== SENSOR =====

void lerSensorLinha1() {
  int reading = digitalRead(sensorLinha1);

  if (reading != lastSensorState) {
    lastDebounceTime = millis();
  }

  if ((millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {

    bool novoEstado = linha1OK;
    bool novoErroGeral = erroGeral;

    if (reading == LOW) {
      novoEstado = true;
      novoErroGeral = false;
      lastSensorTick = millis();
    } else {
      if (millis() - lastSensorTick > sensorTimeout) {
        novoEstado = false;
        novoErroGeral = true;
      }
    }
  }

  if (novoEstado != linha1OK || novoErroGeral != erroGeral) {
    linha1OK = novoEstado;
    erroGeral = novoErroGeral;
    interfaceMonitorSementes();
  }
}

lastSensorState = reading;
}

```

Anexo 2 – Sistema de monitoramento Terris GTF que foram utilizados para fazer os comparativos de sementes.



Fonte: Autor (2025).

Anexo 3 - monitor de sementes Pro Solus PSX disponível no mercado agrícola.



Fonte: Prosolus(2025).