

Desenvolvimento e aplicação de sistema de monitoramento de umidade do solo baseado em Arduino para apoio ao manejo hídrico em cultivo protegido de feijoeiro: relato técnico

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF AN ARDUINO-BASED SOIL MOISTURE MONITORING SYSTEM TO SUPPORT IRRIGATION MANAGEMENT IN PROTECTED BEAN CULTIVATION: TECHNICAL REPORT

Maria Clara Defendi¹, Beatriz Alves Barboza¹, José Eduardo Ribeiro Pereira¹, José Felype Krulihoski¹, Guilherme Henrique Ribeiro Woicik¹, Adriely Cristina Santos Wenneck²

O monitoramento contínuo da umidade do solo é uma estratégia importante para otimização do manejo hídrico e redução do desperdício de água em sistemas agrícolas. Nesse contexto, sensores de baixo custo associados a plataformas abertas, como Arduino, apresentam potencial para aplicações em agricultura de precisão e automação simplificada. Este trabalho teve como objetivo desenvolver e aplicar um sistema de monitoramento da umidade do solo baseado em Arduino Uno, utilizando sensor calibrado, display OLED e alerta sonoro para acompanhamento das condições hídricas em cultivo protegido de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). O protótipo foi testado sob diferentes níveis de irrigação, permitindo leituras contínuas da umidade do solo e emissão de alertas em condições críticas. Adicionalmente, foram observadas características do desenvolvimento vegetal para verificação da correspondência entre as leituras do sistema e o comportamento do cultivo. Os resultados indicaram que o sensor foi capaz de identificar variações na disponibilidade hídrica, registrando valores entre aproximadamente 49% e 96% de umidade do solo, além de apresentar coerência com alterações visuais observadas nas plantas submetidas a menores níveis de irrigação. O sistema demonstrou potencial para monitoramento hídrico em aplicações de baixo custo, podendo ser empregado em atividades de ensino, experimentação agrícola e sistemas simplificados de irrigação.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. Automação agrícola. Irrigação.

Continuous soil moisture monitoring is an important strategy for optimizing irrigation management and reducing water waste in agricultural systems. In this context, low-cost sensors associated with open-source platforms such as Arduino have potential applications in precision agriculture and simplified automation. This study aimed to develop and apply an Arduino Uno-based soil moisture monitoring system using a calibrated sensor, OLED display, and sound alert to monitor water conditions in protected common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivation. The prototype was tested under different irrigation levels, enabling continuous soil moisture readings and automatic alerts under critical conditions. In addition, plant development characteristics were observed to verify the correspondence between system readings and crop behavior. Results indicated that the sensor was able to detect variations in water availability, recording values between approximately 49% and 96% soil moisture, while showing coherence with visual changes observed in plants under lower irrigation levels. The system demonstrated potential for low-cost water monitoring applications and may be useful in educational activities, agricultural experimentation, and simplified irrigation systems.

Keywords: Precision agriculture. Agricultural automation. Irrigation.

Autor Correspondente:
Guilherme Henrique Ribeiro Woicik

E-mail: guilherme.woicik@escola.pr.gov.br

Declaração de Interesses:
Os autores certificam que não possuem implicação comercial ou associativa que represente conflito de interesses em relação ao manuscrito.

¹ Estudante do curso Técnico em Agropecuário, Centro Estadual de Educação Profissional Agrícola de Campo Mourão.

² Engenheira de Alimentos, Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Professora, Centro Estadual de Educação Profissional Agrícola de Campo Mourão.

INTRODUÇÃO

A agricultura enfrenta crescente pressão para aumentar produtividade utilizando menor volume de recursos naturais, especialmente água. Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), aproximadamente 70% da água doce consumida globalmente destina-se à agricultura irrigada (FAO, 2021). O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) apresenta elevada importância econômica e nutricional no Brasil, sendo uma das principais culturas alimentares cultivadas no país. O desenvolvimento adequado da cultura depende diretamente das condições hídricas do solo, uma vez que períodos prolongados de deficiência de água podem comprometer crescimento vegetativo, florescimento e produtividade (EMBRAPA, 2012).

O manejo inadequado da irrigação pode resultar tanto em déficit hídrico quanto em excesso de água no solo, comprometendo produtividade agrícola, eficiência do uso da água e sustentabilidade dos sistemas produtivos (Allen *et al.*, 1998). Nesse contexto, sensores de umidade do solo têm sido amplamente empregados para monitoramento em tempo real das condições hídricas, permitindo tomada de decisão mais precisa quanto à irrigação (Bogena *et al.*, 2007). Entretanto, equipamentos comerciais frequentemente apresentam custo elevado, dificultando adoção em pequenas propriedades rurais e instituições de ensino.

Plataformas abertas de prototipagem eletrônica, como Arduino®, ampliaram possibilidades de desenvolvimento de sistemas de monitoramento agrícola de baixo custo (Louis, 2016). A integração entre sensores, microcontroladores e dispositivos de alerta permite construção de soluções acessíveis para agricultura de precisão. Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e aplicação de um sistema eletrônico baseado em Arduino® destinado ao monitoramento da umidade do solo em ambiente protegido, avaliando sua operacionalidade em cultivo experimental de feijoeiro.

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

O trabalho foi conduzido no Centro Estadual de Educação Profissional Agrícola de Campo Mourão, no município de Campo Mourão-PR. O sistema de monitoramento de umidade do solo foi desenvolvido com o objetivo de fornecer uma alternativa de baixo custo para acompanhamento contínuo das condições hídricas em ambiente agrícola protegido. O protótipo foi baseado na plataforma Arduino Uno R3®, escolhida devido à ampla disponibilidade, facilidade de programação e potencial aplicação em sistemas embarcados voltados à agricultura de precisão (Louis, 2016). A arquitetura do sistema integrou sensor resistivo de umidade do solo, display OLED para visualização em tempo real das leituras e buzzer passivo para emissão de alertas sonoros em condições críticas de disponibilidade hídrica.

O princípio de funcionamento baseou-se na leitura da resistência elétrica do sensor inserido no solo. Alterações no teor de água modificam a condutividade do meio, produzindo sinais analógicos convertidos pelo microcontrolador em valores percentuais de umidade. Diferentemente de sistemas que utilizam apenas leituras brutas do sensor, o presente trabalho incluiu uma etapa prévia de calibração, relacionando os valores analógicos registrados pelo sensor com condições reais de umidade do solo.

O procedimento de calibração permitiu estabelecer correspondência entre as leituras eletrônicas e a disponibilidade hídrica do substrato, reduzindo erros interpretativos e aumentando a confiabilidade das medições obtidas durante a aplicação experimental. A calibração de sensores é considerada etapa essencial para utilização em monitoramento agrícola, uma vez que textura do solo, densidade aparente, matéria orgânica e salinidade podem interferir diretamente na resposta elétrica do equipamento (Bogena *et al.*, 2007; Gomes *et al.*, 2017).

Após calibração, os dados passaram a ser apresentados em porcentagem estimada de umidade, facilitando interpretação pelo operador. O código embarcado implementado no Arduino® realizou aquisição contínua dos sinais, estabilização das leituras, exibição em display OLED e acionamento automático do buzzer quando níveis críticos foram detectados.

A integração entre monitoramento contínuo, visualização instantânea e alerta sonoro ampliou a funcionalidade do sistema, permitindo identificação rápida de condições potencialmente associadas ao déficit hídrico. Essa característica aproxima o protótipo de aplicações empregadas em sistemas simplificados de automação da irrigação.

Estudos têm demonstrado que sensores de baixo custo, quando submetidos à calibração adequada, podem apresentar desempenho satisfatório em monitoramento hídrico agrícola, reduzindo discrepâncias em relação a equipamentos comerciais (Bogena *et al.*, 2007). Gomes *et al.* (2017), avaliando sensores de baixo custo para monitoramento da umidade do solo, destacam que procedimentos de calibração específicos são determinantes para melhoria da precisão operacional.

Apesar do potencial observado, sensores resistivos permanecem suscetíveis à degradação dos eletrodos ao longo do tempo, o que reforça a necessidade de manutenção periódica ou validações complementares em aplicações prolongadas.

APLICAÇÃO EXPERIMENTAL DO SISTEMA EM CULTIVO PROTEGIDO

Para avaliação operacional do sistema desenvolvido, o protótipo foi aplicado em cultivo protegido de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) conduzido em ambiente de estufa no Colégio Estadual Agrícola de Campo Mourão – PR. O cultivo foi estabelecido em vasos individuais contendo substrato agrícola, sob condições controladas de irrigação.

O experimento foi estruturado com diferentes volumes de aplicação hídrica, buscando gerar condições contrastantes de disponibilidade de água no solo e, conseqüentemente, diferentes respostas do sensor de monitoramento. Foram utilizados quatro níveis de irrigação distribuídos entre tratamentos experimentais, com três repetições por condição, totalizando doze unidades experimentais.

Durante o período experimental, foram realizadas leituras contínuas da umidade do solo por meio do sistema eletrônico desenvolvido. Paralelamente, foram registradas características do desenvolvimento vegetal para observação do comportamento das plantas sob diferentes condições hídricas.

As variáveis acompanhadas incluíram determinada da altura das plantas, número de folhas, quantidade de vagens, ocorrência de sintomas visuais de estresse hídrico e a umidade do solo registrada pelo sensor. O monitoramento das características vegetativas

teve caráter complementar, sendo utilizado para verificar possível correspondência entre leituras do sensor e respostas visuais do cultivo frente à disponibilidade hídrica.

Durante o desenvolvimento das plantas observou-se que tratamentos associados a menores níveis de umidade apresentaram redução do vigor vegetativo, amarelecimento foliar e menor formação de estruturas reprodutivas. Em contraste, unidades submetidas a maiores volumes de irrigação apresentaram maior manutenção do desenvolvimento vegetativo e formação de vagens. Embora o presente trabalho não tenha como objetivo principal quantificar respostas fisiológicas do feijoeiro ao déficit hídrico, tais observações permitiram avaliar a coerência operacional entre as leituras do sensor calibrado e o comportamento visual das plantas ao longo do cultivo.

RESULTADOS OPERACIONAIS E DISCUSSÃO

A aplicação experimental do sistema desenvolvido permitiu avaliar o comportamento operacional do protótipo em condições reais de cultivo protegido, utilizando o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) como plataforma para validação do monitoramento da umidade do solo. O sistema apresentou funcionamento contínuo durante o período experimental, realizando leituras da umidade do substrato, exibindo informações em tempo real no display OLED e acionando alertas sonoros em condições previamente definidas como críticas.

As leituras registradas pelo sensor calibrado variaram aproximadamente entre 49% e 96% de umidade do solo, indicando capacidade do sistema em detectar diferentes níveis de disponibilidade hídrica entre tratamentos submetidos a distintos volumes de irrigação. Os maiores valores foram observados em vasos com maior fornecimento de água, enquanto menores leituras ocorreram em condições associadas à redução da irrigação.

Os tratamentos submetidos a maiores volumes hídricos apresentaram leituras próximas a 96% de umidade, mantendo condições mais favoráveis à disponibilidade de água no substrato. Em contraste, tratamentos com menor irrigação apresentaram valores reduzidos, próximos a 49%, indicando diminuição da umidade disponível. Essa diferença demonstra sensibilidade operacional do protótipo para identificar alterações na condição hídrica do solo.

A capacidade de distinguir níveis de umidade representa característica relevante para sistemas de monitoramento agrícola, uma vez que o manejo inadequado da irrigação constitui um dos principais fatores associados à redução da eficiência do uso da água e perdas produtivas em diferentes culturas (Allen *et al.*, 1998). Segundo a FAO (2021), estratégias que favoreçam monitoramento contínuo da disponibilidade hídrica apresentam potencial para aumentar sustentabilidade dos sistemas agrícolas e otimizar uso de recursos.

Além das diferenças registradas pelo sensor, observou-se correspondência entre as leituras obtidas e características visuais do desenvolvimento do feijoeiro cultivado nos vasos experimentais. Tratamentos associados às menores leituras de umidade apresentaram redução do vigor vegetativo, amarelecimento foliar e menor desenvolvimento aparente de estruturas reprodutivas. Em contraste, vasos submetidos a maiores níveis de irrigação apresentaram folhas visualmente mais verdes, maior desenvolvimento da parte aérea e presença mais evidente de vagens em maturação.

Essas observações sugerem coerência entre os valores registrados pelo sistema eletrônico e respostas morfológicas visualmente observadas nas plantas ao longo do experimento. Embora o presente trabalho não tenha como objetivo principal quantificar efeitos fisiológicos do déficit hídrico sobre o feijoeiro, o comportamento observado reforça a funcionalidade do sistema para identificação de condições potencialmente associadas ao estresse hídrico.

Estudos envolvendo *Phaseolus vulgaris* indicam que a redução da disponibilidade de água promove fechamento estomático, menor expansão foliar, redução do crescimento vegetativo e alterações na formação de estruturas reprodutivas (Jacinto Júnior; Lucena, 2022). Alterações semelhantes foram observadas visualmente nas unidades experimentais associadas às menores leituras de umidade, sugerindo compatibilidade entre o monitoramento eletrônico realizado e manifestações típicas do déficit hídrico descritas na literatura.

A presença de folhas amareladas em alguns tratamentos submetidos a menores níveis de irrigação pode estar relacionada à redução da absorção e transporte de nutrientes minerais, processo frequentemente comprometido sob condições prolongadas de restrição hídrica (Araújo; Silva; Monteiro, 2021). Apesar de tais observações não constituírem avaliação fisiológica controlada, elas fornecem evidências complementares da correspondência entre disponibilidade hídrica monitorada e condição visual do cultivo.

Durante o período experimental verificou-se funcionamento adequado do sistema de alerta sonoro integrado ao protótipo. O buzzer foi acionado automaticamente quando níveis críticos de umidade foram atingidos, permitindo indicação imediata da necessidade potencial de intervenção no manejo hídrico. Essa funcionalidade amplia a aplicabilidade prática do sistema, principalmente em contextos de pequena escala produtiva, ambientes educacionais e sistemas simplificados de automação agrícola.

A literatura demonstra que sensores de baixo custo podem apresentar desempenho satisfatório para monitoramento agrícola quando submetidos à calibração específica para as condições do substrato utilizado. Gomes *et al.* (2017), avaliando sensores de baixo custo para monitoramento da umidade do solo, destacam que procedimentos de calibração aumentam significativamente a confiabilidade das leituras. De forma semelhante, Bogena *et al.* (2007) observaram que sensores simplificados podem apresentar desempenho adequado para acompanhamento de tendências de variação hídrica, especialmente em aplicações de monitoramento contínuo.

No presente estudo, a etapa prévia de calibração do sensor constituiu componente importante para interpretação das leituras obtidas, permitindo conversão dos valores registrados em estimativas associadas à umidade real do solo. Esse procedimento fortalece a aplicabilidade do sistema desenvolvido, reduzindo limitações associadas ao uso exclusivo de valores analógicos brutos frequentemente observados em sensores resistivos.

Embora a análise estatística realizada no estudo original não tenha identificado diferenças significativas entre grupos avaliados ($p > 0,05$), esse resultado deve ser interpretado considerando o caráter preliminar e tecnológico da aplicação experimental. O objetivo principal desta etapa consistiu na verificação do desempenho operacional do sistema em ambiente de cultivo, e não na realização de inferências agrônômicas robustas acerca do efeito do estresse hídrico sobre o feijoeiro.

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos indicam que o sistema apresentou capacidade funcional para monitoramento contínuo da umidade do solo, identificação de

diferentes condições hídricas e emissão automatizada de alertas operacionais. Em conjunto, os achados sugerem potencial aplicação do protótipo em atividades de ensino técnico, agricultura familiar, monitoramento experimental e desenvolvimento de sistemas simplificados de irrigação automatizada.

A associação observada entre leituras do sensor e características do desenvolvimento vegetal indica que o sistema pode atuar como ferramenta auxiliar na identificação precoce de condições favoráveis ao estresse hídrico. Em propriedades de pequena escala ou contextos educacionais, soluções de baixo custo integradas a sistemas automáticos de alerta podem contribuir para decisões mais eficientes de irrigação, reduzindo desperdício hídrico e favorecendo maior sustentabilidade no manejo agrícola. Os resultados obtidos neste relato técnico reforçam o potencial de plataformas abertas baseadas em Arduino® para desenvolvimento de tecnologias acessíveis voltadas ao monitoramento agrícola, embora estudos futuros devam incluir validação comparativa com sensores comerciais, ampliação do número de repetições experimentais e avaliação em diferentes tipos de solo e condições de cultivo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de monitoramento de umidade do solo baseado em Arduino apresentou desempenho satisfatório em ambiente protegido, sendo capaz de identificar variações na disponibilidade hídrica e emitir alertas automáticos em condições críticas. A calibração prévia do sensor contribuiu para maior confiabilidade das leituras, permitindo aplicação do protótipo no acompanhamento do manejo hídrico em cultivo de feijoeiro.

Os resultados indicam potencial de uso do sistema em atividades de ensino, monitoramento experimental e aplicações simplificadas de irrigação de baixo custo. Estudos futuros devem ampliar a validação do protótipo por meio de comparação com sensores comerciais e testes em diferentes condições de cultivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO, 1998. Disponível em: <https://www.fao.org/3/X0490E/X0490E00.htm>

ARAÚJO, L. F.; SILVA, J. R. A.; MONTEIRO, M. M. S. Estresse hídrico em plantas: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, e3111101523155, 2021.

BOGENA, H. R.; HUISMAN, J. A.; OBERDÖRSTER, C.; VEREECKEN, H. Evaluation of a low-cost soil water content sensor for wireless network applications. **Journal of Hydrology**, v.344, p.32–42, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.06.032>

EMBRAPA. **Cultivo do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012.

FAO. **The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at Breaking Point (SOLAW 2021)**. Rome: FAO, 2021.

GOMES, F. H. F. *et al.* Calibração de sensor de umidade do solo de baixo custo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 4, p. 1509–1516, 2017. <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n400625>

JACINTO JUNIOR, S. G.; LUCENA, E. M. P. Alterações morfofisiológicas e metabólitos secundários produzidos por feijoeiros submetidos ao estresse hídrico. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, 2022.

LOUIS, L. Working principle of Arduino and using it as a tool for study and research. **International Journal of Control, Automation, Communication and Systems**, v. 1, n. 2, p. 21–29, 2016.

Recebido: 03 de dezembro de 2025

Versão Final: 25 de maio de 2026

Aprovado: 03 de junho de 2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.