

Monitoramento Ambiental de Hortaliças Utilizando Tecnologias IoT

Emília Ferlin*

Anubis Graciela de Moraes Rossetto

José Antônio Oliveira de Figueiredo

Vanessa Lago Machado

emiliaferlin18@gmail.com

{anubisrossetto,josefigueiredo,vanessamachado}@ifsul.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul)

Passo Fundo, RS, Brasil

Abstract

Climate change has intensified environmental variations like rising temperatures and irregular rainfall, stressing vegetable crops and reducing productivity, especially in family farming, which relies on natural conditions and lacks affordable monitoring technologies. In this context, this work proposes developing a low-cost intelligent system based on Internet of Things (IoT) technologies to identify climatic conditions that may cause plant stress. The system integrates temperature, air humidity, soil moisture, and luminosity sensors connected to an ESP32 microcontroller, which sends the data to an MQTT broker and subsequently to a Flutter-based mobile application that displays and stores the measurements in Firebase Firestore. The solution will be evaluated through a comparative experiment between two cultivation scenarios—one using the system and another conducted without technological support—in order to assess its effectiveness in reducing plant stress and improving the quality and productivity of the crop.

Keywords

Internet of Things (IoT), monitoramento ambiental, agricultura familiar

1 Introdução

As mudanças climáticas, intensificadas desde a Primeira Revolução Industrial devido à queima de combustíveis fósseis, ao desmatamento e a outras ações humanas, vêm alterando significativamente o equilíbrio dos ecossistemas agrícolas. O aumento das temperaturas, a irregularidade das chuvas e a escassez hídrica tornam o ambiente de cultivo cada vez mais imprevisível, afetando diretamente processos fisiológicos das plantas e gerando condições de estresse que comprometem a produtividade e a qualidade das hortaliças. Esses impactos são ainda mais severos para os pequenos produtores rurais, que dependem fortemente de fatores climáticos favoráveis, mas muitas vezes não dispõem de recursos financeiros, infraestrutura ou tecnologias adequadas para enfrentar tais desafios. Como consequência, sua renda torna-se vulnerável, ampliando riscos sociais, econômicos e ambientais.

Diante desse cenário, o uso de tecnologias capazes de monitorar o ambiente de cultivo surge como uma alternativa essencial para mitigar efeitos adversos e apoiar decisões mais precisas no manejo agrícola. Tecnologias baseadas em Internet das Coisas (IoT)

destacam-se por permitir a coleta contínua de dados ambientais, como temperatura, umidade do ar, umidade do solo e luminosidade, oferecendo ao agricultor informações em tempo real sobre condições que podem gerar estresse nas hortaliças. No entanto, os sistemas comerciais de agricultura de precisão ainda são, em grande parte, inacessíveis para pequenos produtores devido ao alto custo e à complexidade de operação. Assim, torna-se necessário desenvolver soluções de monitoramento ambiental que sejam de baixo custo, simples de usar e adequadas à realidade da agricultura familiar. Nesse contexto, o monitoramento ambiental de hortaliças utilizando tecnologias IoT representa uma estratégia viável, sustentável e capaz de democratizar o acesso às inovações tecnológicas, fortalecendo a resiliência produtiva frente às mudanças climáticas.

A proposta desta pesquisa é desenvolver um sistema inteligente, de baixo custo, baseado em tecnologias IoT, capaz de monitorar continuamente variáveis ambientais que influenciam o estresse em hortaliças e apresentar esses dados de forma simples e acessível. A solução visa permitir que o pequeno produtor rural interprete as informações de maneira autônoma e tome decisões mais precisas para reduzir impactos negativos e aumentar a produtividade de sua lavoura. Além de atender às necessidades práticas da agricultura familiar, o desenvolvimento deste sistema se alinha ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11 da ONU - Cidades e Comunidades Sustentáveis-, ao promover o uso eficiente dos recursos naturais, fortalecer a resiliência produtiva e estimular práticas agrícolas mais sustentáveis. Ao democratizar o acesso a tecnologias de monitoramento e apoiar decisões de manejo baseadas em dados, a proposta contribui para reduzir perdas, ampliar a autonomia dos agricultores e favorecer comunidades rurais mais preparadas e ambientalmente equilibradas [3].

2 Referencial Teórico

As mudanças climáticas têm intensificado a ocorrência de temperaturas extremas, variações na umidade e irregularidade das chuvas, fatores que afetam diretamente o desenvolvimento das plantas e ampliam o risco de estresse hídrico e térmico, especialmente em cultivos sensíveis como hortaliças [1, 2]. Na agricultura familiar, cuja produtividade depende fortemente das condições ambientais, a limitação de recursos tecnológicos agrava essa vulnerabilidade [9]. Nesse cenário, ferramentas digitais de monitoramento em tempo real surgem como alternativas estratégicas para apoiar decisões de manejo, prevenir estresses fisiológicos e reduzir perdas produtivas.

*Both authors contributed equally to this research.

No campo computacional, a IoT caracteriza-se pela conectividade de objetos físicos capazes de coletar, processar e transmitir informações por meio da internet, ampliando o surgimento de aplicações baseadas em novos fluxos de dados e serviços distribuídos [6]. Essa interconexão permite tanto o controle remoto dos dispositivos quanto seu uso como provedores de serviços, abrindo oportunidades de inovação em diferentes setores, incluindo ambientes acadêmicos e industriais [8]. No contexto agrícola, a IoT viabiliza a integração de sensores e atuadores que monitoram variáveis ambientais e automatizam tarefas como irrigação e controle climático, contribuindo para o uso eficiente dos recursos e maior sustentabilidade da produção.

Especificamente na agricultura de pequeno porte, a IoT tem se destacado como uma solução de baixo custo para monitoramento ambiental, permitindo a coleta contínua de dados por meio de sensores conectados a microcontroladores como o ESP32, que oferece baixo consumo energético, conectividade Wi-Fi integrada e suporte a múltiplos sensores [7, 11]. Para a comunicação entre dispositivos, o protocolo MQTT é amplamente utilizado devido à sua leveza, ao modelo baseado em tópicos e à capacidade de operar de forma eficiente em redes instáveis — características que o tornam adequado ao contexto agrícola [4].

A transmissão das mensagens pode ser gerenciada por brokers como o Adafruit IO, responsáveis pela publicação e assinatura dos dados enviados pelos dispositivos. Para garantir a persistência das leituras, serviços em nuvem como o Firebase Firestore são utilizados, permitindo armazenar informações estruturadas, realizar consultas eficientes e gerar visualizações temporais [5]. Essa integração entre hardware, comunicação e armazenamento em nuvem constitui a base de sistemas de monitoramento agrícola acessíveis.

3 Trabalhos Relacionados

Diversos estudos têm explorado o uso de tecnologias digitais e automação para otimizar o cultivo de plantas, especialmente no que diz respeito à irrigação e ao monitoramento do estresse hídrico. Sistemas baseados em IoT, como o de [11], demonstram eficiência no controle ambiental e no acionamento automático da irrigação em estufas. No entanto, tais resultados refletem apenas ambientes protegidos e limitam a avaliação dos efeitos reais das variações climáticas sobre o cultivo. De forma semelhante, [4] propôs um sistema automatizado voltado à produção agroecológica familiar, permitindo controle remoto via aplicativo, mas enfrentando fragilidades relacionadas à comunicação, à resposta do sistema e à resistência dos componentes quando expostos às condições externas.

Outros trabalhos ampliam essa abordagem ao integrar automação e inteligência artificial ao monitoramento de variáveis ambientais. É o caso de [7], que aplicou sensores e algoritmos em um sistema hidropônico, alcançando controle preciso das condições de cultivo e melhor uniformidade das mudas, apesar de limitações em etapas ainda manuais, como a dosagem de nutrientes. De maneira complementar, [5] apresentou um protótipo simples e de baixo custo para irrigação automática doméstica, demonstrando eficiência no monitoramento da umidade do solo, mas carecendo de conectividade e melhorias estruturais para maior robustez.

Por fim, trabalhos como o de [10] reforçam que a integração de sensores e a coleta de dados em tempo real são essenciais para a agricultura de precisão, embora muitos estudos permaneçam restritos a ambientes controlados, sem considerar desafios como intempéries, corrosão, instabilidades de rede ou danos físicos. Assim, observa-se que, apesar dos avanços significativos, os trabalhos compartilham limitações comuns: a maioria é realizada em ambientes controlados, como estufas ou cultivos internos, o que reduz a capacidade de avaliar a robustez dos sistemas sob condições climáticas reais. Ademais, muitos protótipos apresentam fragilidade física, lentidão na comunicação ou dependência de ajustes manuais.

Embora muitas soluções IoT aplicadas à agricultura tenham demonstrado bons resultados em ambientes controlados, ainda persistem desafios em aplicações de campo aberto, como exposição à chuva, variações térmicas, interferências externas e instabilidades de conexão [10]. Assim, a integração entre hardware, comunicação e interface de análise é fundamental para garantir robustez e aplicabilidade prática de sistemas destinados à agricultura familiar. O presente trabalho difere por propor e testar uma solução aplicada em campo aberto, sujeita a variações climáticas reais, com foco específico na realidade da agricultura familiar, priorizando baixo custo, acessibilidade, integração IoT e monitoramento contínuo dos principais fatores de estresse das plantas.

4 Solução Proposta

A metodologia adotada neste trabalho consiste no desenvolvimento e validação de um sistema IoT de baixo custo voltado ao monitoramento ambiental de hortaliças cultivadas em campo aberto. A arquitetura proposta (Figura 1) é estruturada em quatro módulos interconectados, como sensor:rocontrolador, broker MQTT e aplicativo móvel, permitindo a coleta, transmissão, armazenamento e visualização dos dados de forma integrada e em tempo real.

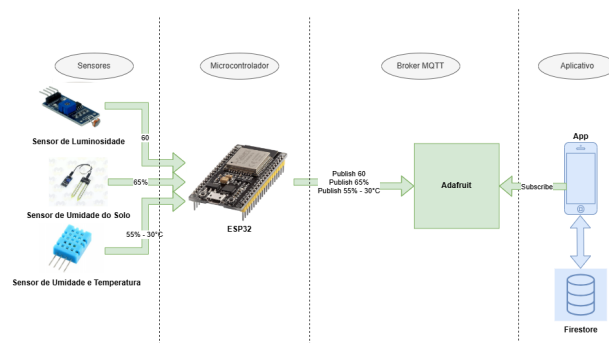


Figure 1: Arquitetura proposta para o sistema IoT de monitoramento.

O módulo de sensores realiza a captura das variáveis ambientais essenciais ao diagnóstico de estresse em plantas: luminosidade (via LDR de 5 mm), umidade do solo (higrômetro capacitivo) e temperatura/umidade do ar (sensor DHT11). Esses sensores são conectados ao ESP32, que executa leituras periódicas, aplica um pré-processamento básico e envia os dados para a nuvem utilizando o protocolo MQTT, garantindo comunicação leve e eficiente.

A troca de informações entre o ESP32 e o restante do sistema é mediada pelo broker Adafruit IO, responsável por gerenciar tópicos e manter as mensagens publicadas até seu consumo pelo aplicativo. O fluxo operacional segue a sequência: *sensores* → *ESP32* → *MQTT* → *aplicativo* → *Firestore*, permitindo que as leituras, organizadas em tópicos específicos (temperatura, umidade do ar, umidade do solo e luminosidade), sejam transmitidas continuamente e posteriormente armazenadas de forma permanente.

O aplicativo móvel, desenvolvido em Flutter, é responsável por consumir as leituras via API do Adafruit IO e armazená-las no Firebase Firestore, formando um histórico para análises temporais. Cada resposta da API é tratada em formato JSON e armazenada em coleções correspondentes ao usuário, aos tópicos monitorados e às leituras registradas ao longo do tempo, permitindo consultas eficientes e visualização gráfica dos dados.

O conjunto de telas projetadas (Figura 2) define a interação do usuário e contempla quatro interfaces principais: login e registro (A), para autenticação; dashboard analítico (B), com indicadores e gráficos por período; leituras recentes (C), com dados em tempo real; e histórico (D), para consulta de registros anteriores. Essa estrutura oferece uma visão clara das condições ambientais do cultivo, apoiando a tomada de decisão no manejo das hortaliças.

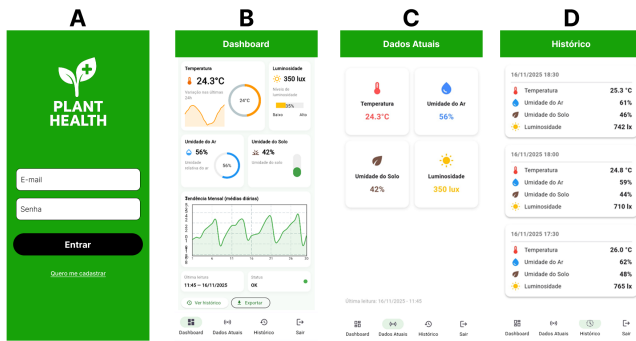


Figure 2: Projeto de telas proposto para o sistema.

5 Metodologia Experimental

Para validar a eficácia do sistema desenvolvido, foi estruturado um experimento comparativo entre dois cenários de cultivo de hortaliças: um com apoio do sistema IoT (Teste A) e outro sem o uso da tecnologia (Teste B). O estudo será conduzido com cebolinha e salsa, espécies de ciclo curto e amplamente utilizadas em cultivos domésticos, o que favorece observações consistentes ao longo do período de testes.

O experimento ocorrerá em uma horta doméstica a céu aberto, permitindo que as plantas sejam expostas naturalmente às variações ambientais de temperatura, umidade e luminosidade. Esse ambiente aproxima o estudo da realidade da agricultura familiar e possibilita avaliar o impacto direto das condições climáticas sobre o desenvolvimento das hortaliças.

O delineamento foi organizado em dois testes paralelos, com duração total de 60 dias. No Teste A, as plantas serão monitoradas

continuamente pelo sistema IoT, e o manejo (como irrigação e controle de luminosidade) será realizado com base nos dados fornecidos pela plataforma. Já no Teste B, as mesmas espécies serão cultivadas por outra pessoa, sem acesso ao sistema, aplicando apenas técnicas tradicionais de cuidado.

A avaliação dos resultados será feita por meio de métricas como crescimento, vigor, produtividade e ocorrência de sinais visuais de estresse. A comparação entre os dois cenários permitirá identificar se o uso do sistema contribui para a redução do estresse ambiental e para a melhoria do desenvolvimento das hortaliças.

6 Conclusão

Diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e de seus impactos diretos sobre a produtividade das hortaliças, especialmente na agricultura familiar, este trabalho reforça a necessidade de soluções tecnológicas acessíveis que auxiliem no acompanhamento contínuo das condições ambientais do cultivo. A proposta desenvolvida mostrou-se adequada para monitorar fatores que podem gerar estresse nas plantas e fornecer informações claras e confiáveis ao produtor, favorecendo um manejo mais preciso e eficiente.

A implementação desse sistema permite o monitoramento contínuo de variáveis essenciais, como temperatura, umidade do ar e do solo e luminosidade, oferecendo uma visão abrangente das condições que influenciam o desenvolvimento das hortaliças. Com o experimento comparativo entre dois cultivos, um utilizando o sistema e outro sem apoio tecnológico, busca-se avaliar de forma prática sua efetividade na redução do estresse ambiental e na melhoria da produtividade. Assim, esta pesquisa contribui para aproximar a agricultura familiar do uso de tecnologias inteligentes, promovendo maior autonomia aos produtores, eficiência no uso dos recursos naturais e sistemas produtivos mais sustentáveis.

References

- [1] F. Angelotti and V. Giongo. 2019. Ações de mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas. In *Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido*, J. J. et al. Farias (Ed.). Embrapa, Brasília, DF, 445–467. https://www.researchgate.net/publication/348306424_Acoes_de_mitigacao_e_adaptacao_frente_as_mudancas_climaticas
- [2] F. Broetto, E. R. Gomes, and TAC Joca. 2017. O estresse das plantas: teoria & prática. *Cultura Acadêmica Editora Unesp, São Paulo* (2017), 194.
- [3] Organização das Nações Unidas. 2015. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>.
- [4] P Louro. 2022. Desenvolvimento de um sistema de irrigação automatizado e controlado por aplicativo para um quintal produtivo. *Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais* (2022).
- [5] Guilherme L. W. Pereira et al. 2024. Monitoramento de plantas com sistemas embarcados para famílias. (2024).
- [6] Paulo F. Pires et al. 2015. Plataformas para a internet das coisas. *Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos* (2015).
- [7] Rayllon R. S. Reis et al. 2024. *Uso da internet das coisas no monitoramento da alface hidropônica em ambiente controlado*. Master's thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [8] Bruno P. Santos et al. 2016. Internet das coisas: da teoria à prática. *Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos* 31 (2016), 16.
- [9] J. G. Santos, M. V. M. V. Andrade, and V. L. S. Cunha. 2020. Mudanças climáticas e vulnerabilidade na agricultura familiar da região Rio Doce, Minas Gerais. *GEOSUL* 35, 75 (2020), 231–252. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/76585/49247>
- [10] Andre L. Z. M. da Silva. 2025. Desenvolvimento de sistema de automação para câmaras de cultivo. 60 pages.
- [11] Roberta A. Spigolon. 2021. Desenvolvimento de um sistema de monitoramento e irrigação automatizada para cultivo protegido. 44 pages.