

SISTEMA DE MONITORAMENTO E AUTOMAÇÃO PARA FERTIRRIGAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO COM O PROTÓTIPO PLANTECH

Raphael da Silva Branco¹; Ivaniel Fôro Maia²; João Paulo Machado Chamon³;
Breno Tonini Costa⁴; Gianluca Scalzi Sampogna⁵

Resumo – Gerenciar bem os recursos de água e nutrientes nas plantações é fundamental para uma agricultura sustentável e alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Este texto fala sobre o desenvolvimento e os primeiros testes de um sistema de monitoramento automatizado para fertirrigação, fruto de uma parceria entre o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) e a Faculdade UCL. O sistema combina sensores que medem umidade, temperatura do solo e do ar, além de pluviômetros e sensores de nutrientes (NPK). Esses sensores se comunicam por meio do protocolo MQTT, usando microcontroladores ESP8266 e Arduino UNO®. Com os dados coletados e o cálculo de evapotranspiração feito pelo método de Hargreaves & Samani, o sistema consegue reconhecer automaticamente a quantidade de água e nutrientes que as plantas precisam. Uma versão do sistema funciona via aplicativo móvel e uma plataforma na web, deixando o controle e os ajustes bem mais fáceis de fazer à distância. Os testes iniciais foram feitos em ambiente controlado, usando milho, e o resultado mostrou que o sistema é resistente e funciona bem. Esses resultados indicam o grande potencial da ferramenta para uso futuro em ambientes agrícolas experimentais e reais, promovendo maior eficiência e economia de recursos.

Palavras-chaves: fertirrigação; automação; IoT (Internet das Coisas); sustentabilidade; monitoramento.

¹ Graduando em Sistemas de Informação, Bolsista do Incaper

² Especialista, Agente de Pesquisa e Inovação em Desenvolvimento Rural do Incaper, Ivanuel.maia@incaper.es.gov.br

³ M.Sc. Informática, Coordenador e professor na Faculdade UCL/UVV – *campus* Manguinhos

⁴ Graduado em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Analista e Desenvolvedor de Sistemas na Cedisa

⁵ Graduando em Sistemas de Informação, Estudante da Faculdade UCL/UVV

FERTIRRIGATION MONITORING AND AUTOMATION SYSTEM: A CASE STUDY WITH THE PLANTECH PROTOTYPE

Abstract – Proper management of water and nutrient resources in crop production is essential for sustainable agriculture aligned with the UN Sustainable Development Goals. This article discusses the development and initial testing of an automated fertigation monitoring system, developed through a partnership between the Capixaba Institute for Research, Technical Assistance, and Rural Extension (Incaper) and UCL College. The system combines sensors that measure moisture, soil, and air temperature, as well as rain gauges and nutrient (NPK) sensors. These sensors communicate via the MQTT protocol, using ESP8266 and Arduino UNO® microcontrollers. Based on the collected data and evapotranspiration calculations using the Hargreaves & Samani method, the system can automatically determine the amount of water and nutrients plants need. A version of the system operates via a mobile application and a web platform, making remote control and adjustments much easier. Initial tests were conducted in a controlled environment using corn, and the results showed that the system is robust and works well. These results indicate the tool's strong potential for future application in both experimental and real-world agricultural environments, promoting greater efficiency and resource conservation.

Keywords: fertigation; automation; IoT (Internet of Things); sustainability; monitoring.

SISTEMA DE MONITOREO Y AUTOMATIZACIÓN PARA LA FERTIRRIGACIÓN: UN ESTUDIO DE CASO CON EL PROTOTIPO PLANTECH

Resumen – La gestión eficaz de los recursos hídricos y los nutricionales en los cultivos es fundamental para una agricultura sostenible y alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. Este texto trata sobre el desarrollo y las primeras pruebas de un sistema automatizado de monitoreo para la fertirrigación, fruto de una colaboración entre el Instituto Capixaba de Investigación, Asistencia Técnica y Extensión Rural (Incaper) y la Facultad UCL. El sistema combina sensores que miden la humedad, la temperatura del suelo y del aire, además de pluviómetros y sensores de nutrientes (NPK). Estos sensores se comunican mediante el protocolo MQTT, utilizando microcontroladores ESP8266 y Arduino UNO®. Con los datos recopilados y el cálculo de la evapotranspiración realizado mediante el método de Hargreaves & Samani, el sistema puede reconocer automáticamente la cantidad de agua y nutrientes que necesitan las plantas. Una versión del sistema funciona a través de una aplicación móvil y una plataforma web, lo que facilita enormemente el control y los ajustes a distancia. Las pruebas iniciales se realizaron en un entorno controlado, utilizando maíz, y el resultado demostró que el sistema es resistente y funciona bien. Estos resultados indican el gran potencial de la herramienta para su uso futuro en entornos agrícolas experimentales y reales, promoviendo una mayor eficiencia y ahorro de recursos.

Palabras clave: fertirrigación; automatización; IoT (Internet de las Cosas); sostenibilidad; monitoreo.

INTRODUÇÃO

A intensificação da agricultura tem exigido soluções tecnológicas que conciliam produtividade com sustentabilidade, especialmente no que se refere ao uso racional da água e de nutrientes. A fertirrigação — técnica que associa a irrigação à aplicação de fertilizantes — tem ganhado destaque por possibilitar o fornecimento controlado de insumos diretamente na zona radicular das plantas, o que pode aumentar a eficiência do uso de água e de nutrientes e melhorar a produtividade quando comparada a métodos tradicionais de adubação e irrigação.

Contudo, a adoção de sistemas tradicionais de irrigação e fertirrigação ainda apresenta desafios — como desperdício de água, uso excessivo de nutrientes e dificuldades no monitoramento preciso das condições do solo e do clima — que limitam a eficiência e aumentam impactos ambientais. Estudos sobre irrigação de precisão demonstram que as tecnologias, as quais usam sensores e controle automatizado conseguem reduzir significativamente o consumo de água e otimizar a oferta hídrica em função da demanda real das culturas.

Além disso, a literatura mostra que a aplicação da “dose certa” de nutriente, sincronizada com as necessidades fenológicas das culturas, pode resultar em aumentos de produtividade, melhor eficiência de uso de fertilizantes e redução de perdas por lixiviação e volatilização. Estratégias de manejo que integram recomendações baseadas em dados tendem a melhorar a relação custo-benefício e os indicadores ambientais da produção agrícola.

É importante enfatizar problemas práticos de métodos convencionais: sistemas de irrigação por temporizador (“timer”) frequentemente aplicam água de forma uniforme e independente das condições reais do solo e clima, o que pode levar tanto ao excesso quanto à falta de irrigação; estudos comparativos de diferentes estratégias de programação mostram riscos concretos sobre irrigação com agendas fixas.

Por outro lado, análises de solo em laboratório permanecem essenciais para diagnósticos detalhados de fertilidade, mas são procedimentos que demandam tempo e logísticas de coleta e transporte, atrasando decisões de manejo. Sensores de solo em tempo real não substituem totalmente laudos laboratoriais, porém fornecem alta frequência de dados e permitem tomadas de decisão imediatas para controle de irrigação e aporte de nutrientes, principalmente quando integrados a

sistemas de automação e IoT's. Essa complementaridade entre análises laboratoriais e monitoramento contínuo é destacada na literatura de sensores e na agricultura de precisão.

O presente trabalho apresenta um sistema de monitoramento e automação da fertirrigação, desenvolvido em parceria entre o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) e a Faculdade UCL. O objetivo principal é demonstrar o funcionamento e os resultados iniciais de um sistema integrado de hardware e software capaz de mensurar variáveis ambientais, processar dados e controlar automaticamente a irrigação e o fornecimento de nutrientes em lavouras agrícolas. O sistema está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), com ênfase nos ODS 2 (Fome zero e agricultura sustentável), ODS 6 (Água potável e saneamento) e ODS 7 (Energia acessível e limpa), ao promover o uso eficiente dos recursos naturais e fomentar práticas agrícolas mais inteligentes e sustentáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

MONTAGEM DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido no *campus* da Faculdade UCL – Manguinhos, no município de Serra-ES (latitude 20°12'6.55"S; longitude 40°13'12.39"O; altitude média de 20 m), em um pequeno terrário a céu aberto. A cultura utilizada, o milho (variedades Imperador e Crioulo), cultivado por um período de cinco meses. O objetivo foi validar a funcionalidade dos sensores, a integridade da comunicação entre dispositivos, a eficiência da automação e a usabilidade das interfaces de controle (Figura 1).

Desenvolveu-se um **protótipo compacto e funcional**, estruturado em pequena escala para simular as condições de um cultivo real. Ele era composto por sensores, atuadores, microcontroladores e sistema de irrigação, permitindo validar a operação do conjunto em tempo real. A configuração compacta facilitou a montagem, o monitoramento e a demonstração do sistema para a comunidade acadêmica, mantendo fidelidade ao funcionamento esperado em áreas agrícolas maiores (Figura 2).



Figura 1 – Faculdade UCL – campus Manguinhos – experimento de fertilização.



Figura 2 – Montagem e apresentação do protótipo do sistema – Faculdade UCL – campus Manguinhos.

ARQUITETURA GERAL DO SISTEMA

O sistema de fertirrigação, denominado PlanTech, é composto por uma arquitetura integrada de sensores, microcontroladores, protocolos de comunicação e plataformas de análise. O fluxo geral consiste em (Figura 3):

1. Coleta de dados ambientais por sensores de solo e atmosfera;
2. Envio dos dados, via microcontroladores (ESP8266 e Arduino UNO®), para o broker MQTT;
3. Processamento das informações em APIs Python, com cálculos agrometeorológicos e de demanda nutricional;
4. Armazenamento em banco de dados PostgreSQL;
5. Disponibilização das informações em tempo real para web e aplicativo móvel;
6. Tomada de decisão automatizada ou manual, acionando a bomba e válvulas de irrigação.

HARDWARE E SENSORES

O conjunto físico inclui (Tabela 1 e Figura 4):

- Sensores meteorológicos e ambientais:
 - Temperatura e umidade do ar;
 - Temperatura e umidade do solo;
 - Sensor de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio);
 - Pluviômetro digital para registro da precipitação.
- Atuadores:
 - Minibomba submersa responsável pela distribuição de água e nutrientes.
- Microcontroladores:
 - Arduino UNO®: coleta e leitura dos sensores ambientais;
 - ESP8266: comunicação sem fio via protocolo MQTT, com pré-processamento local dos dados.

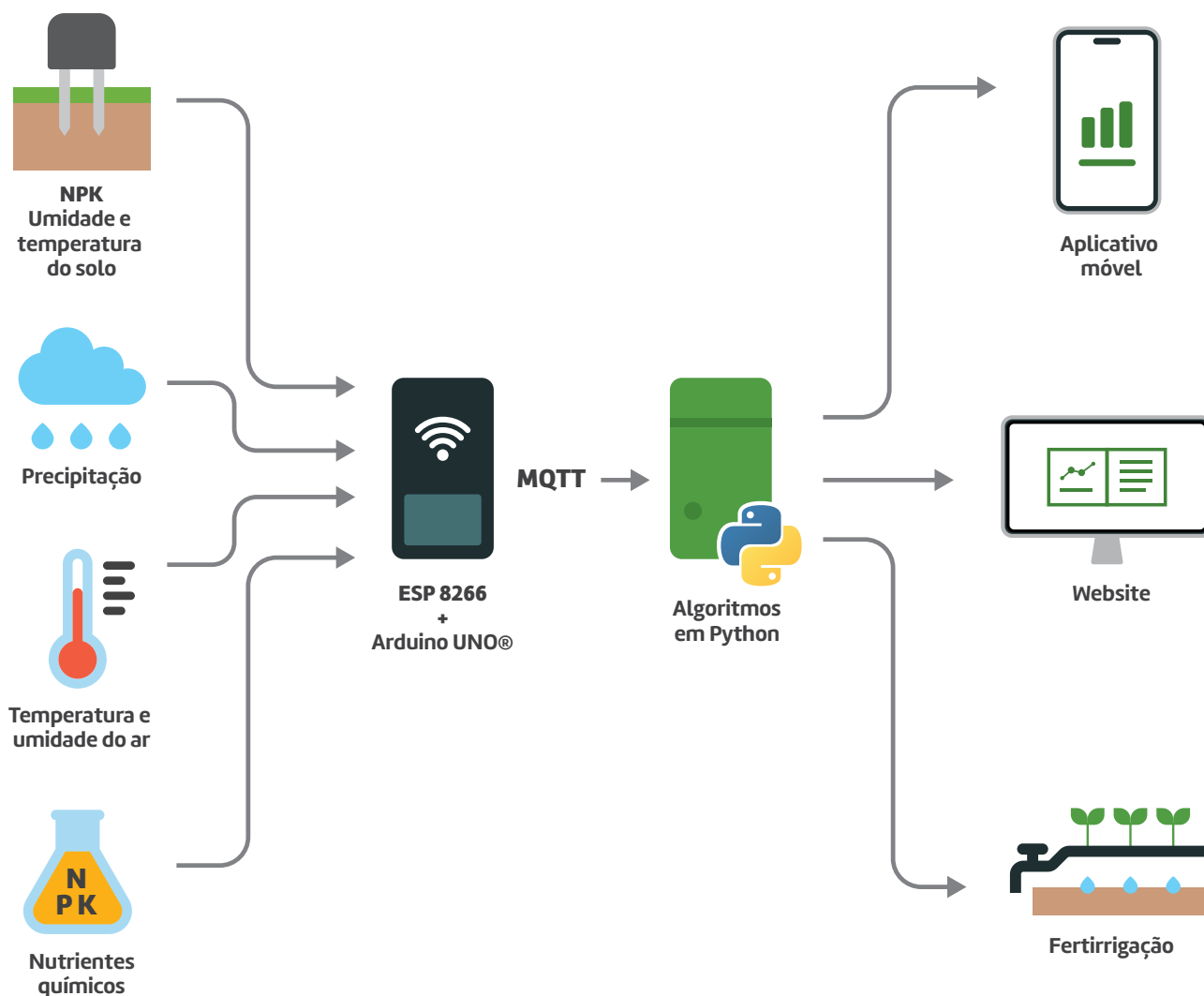


Figura 3 – Diagrama esquemático da arquitetura geral.

Tabela 1 – Parâmetros mensurados e tipos de sensores físicos do sistema

PARÂMETRO MONITORADO	SENSOR UTILIZADO	FINALIDADE
Temperatura do Solo	Módulo DS 18B20	Medir a variação térmica no solo
Umidade do Solo	Sonda 20cm Greatzt	Monitorar o nível de umidade do solo
Temperatura do Ar	Sensor SHT30-Chip	Medir a temperatura do ar para estimativa da ETO
Umidade do Ar	Sensor SHT30-Chip	Mediar a umidade do ar
Precipitação	Pluviômetro uMetos digital	Mediar a quantidade de chuva (mm)
Nutrientes NPK no Solo	Soil Sensor – Halisense	Monitorar os níveis de nitrogênio, fósforo e potássio no solo

**Figura 4** – Sensores meteorológicos: Temperatura de solo (A), Umidade do solo (B), NPK (C), Minibomba submersa (D), Pluviômetro digital (E), Temperatura e umidade do ar (F).

COMUNICAÇÃO E BACK-END

A comunicação entre os dispositivos ocorre por meio do protocolo **MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)**, ideal para aplicações de IoT pela leveza e eficiência em ambientes com conectividade limitada.

Uma **API em Python** atua como assinante do broker MQTT, recebendo, validando e armazenando os dados em um banco de dados relacional **PostgreSQL**. Outras APIs, também em Python, disponibilizam esses dados para os sistemas web e mobile por meio de **endpoints RESTful**.

PROCESSAMENTO DE DADOS E LÓGICA DE DECISÃO

O sistema foi programado para calcular automaticamente a evapotranspiração de referência (ET_0), a partir das variáveis meteorológicas medidas.

Utilizou-se a metodologia empírica de Hargreaves e Samani (1985), conforme a equação:

$$ET_0 = 0,0023 * Q_0 * (T_{Máx} - T_{Mín})^{0,5} * (T + 17,8)$$

Em que:

- Q_0 = radiação extraterrestre;
- $T_{Máx}$ = temperatura máxima;
- $T_{Mín}$ = temperatura mínima;
- T = temperatura média.

A ET_0 representa a demanda evaporativa da cultura de referência, permitindo dimensionar a irrigação diária.

Além disso, o sistema incorpora a **demanda nutricional de N, P e K**, conforme recomendações da Embrapa Milho e Sorgo (Coelho, 2006), para fornecer a quantidade exata de nutrientes durante o ciclo da cultura (Tabela 2).

Tabela 2 – Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinado à produção de grãos e silagem, em diferentes níveis de produtividades

TIPO DE EXPLORAÇÃO	PRODUTIVIDADE (T/HA)	N (KG/HA)	P (KG/HA)	K (KG/HA)	CA (KG/HA)	MG (KG/HA)
Grãos	3,65	77	9	83	10	10
	5,8	100	19	95	7	17
	7,87	167	33	113	27	25
	9,17	187	34	143	30	28
	10,15	217	42	157	32	28
Silagem (matéria seca)	11,6	115	15	69	35	21
	15,31	181	21	213	41	28
	17,13	230	23	271	52	31
	18,65	231	26	259	58	32

Fonte: Adaptada pelos autores de Coelho e França (1995).

A decisão de irrigar é realizada automaticamente (Figura 5), considerando:

- Valores de ET_0 ;
- Níveis de umidade do solo;
- Concentração de nutrientes (NPK).

Como alternativa, em caso de falha dos sensores atmosféricos, a decisão pode ser feita exclusivamente com base nos sensores de umidade do solo. O sistema também permite acionamento manual via aplicativo ou website, por meio de comandos MQTT bidirecionais.

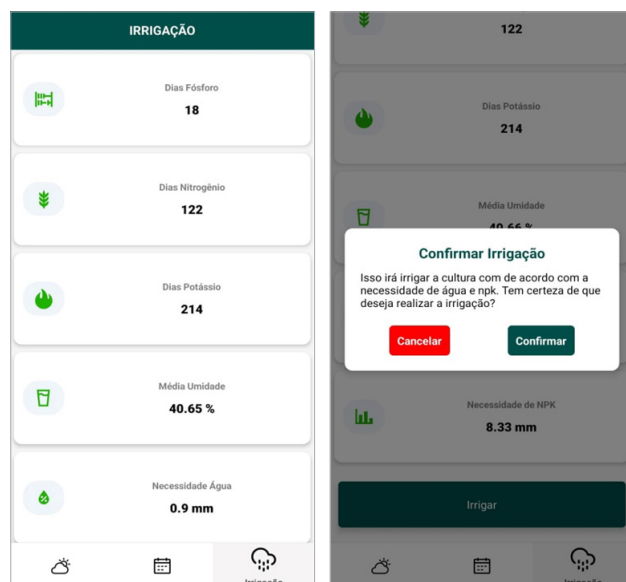


Figura 5 – Tela de controle de irrigação manual – App PlanTech.

INTERFACES DE USUÁRIO (FRONTEND)

Para visualização e controle, foram desenvolvidas duas interfaces:

- **Plataforma Web:** construída em PHP (framework Laravel), com exibição em tempo real de dados via mapas interativos (Leaflet.js) e gráficos dinâmicos (ECharts) (Figura 6).
- **Aplicativo Mobile:** desenvolvido em React Native, permite acesso remoto aos dados em tempo real, consulta a históricos e acionamento manual da irrigação. O design foi pensado para ambientes com baixa conectividade, garantindo responsividade e simplicidade de uso (Figura 7).

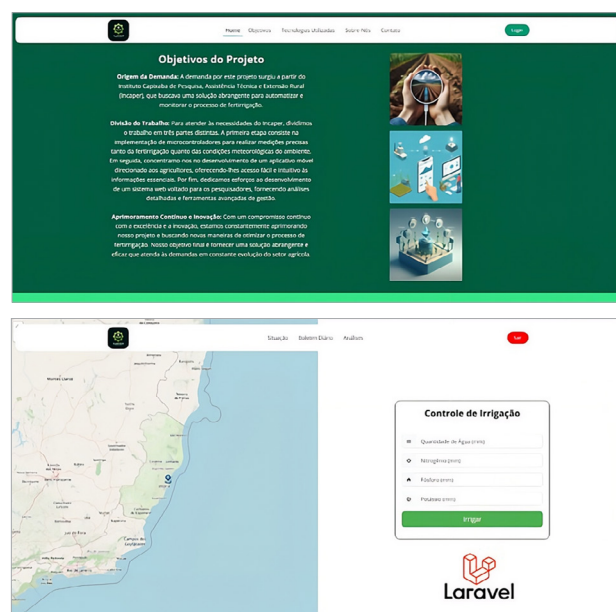


Figura 6 – Tela website do projeto de fertirrigação – PlanTech.

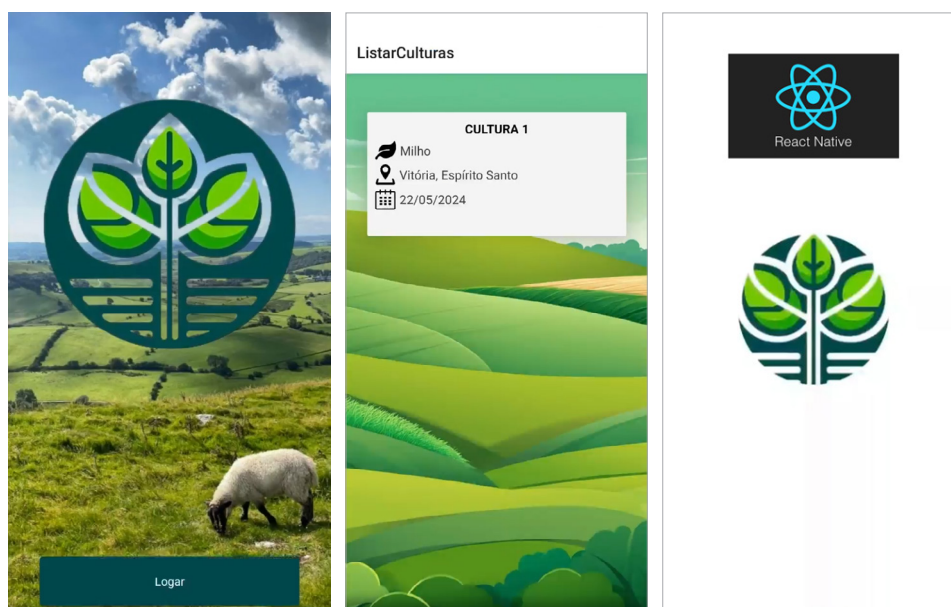


Figura 7 – Tela inicial do App PlanTech desenvolvido em React Native.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período experimental, o sistema de monitoramento e fertirrigação foi operado em condições controladas, utilizando a cultura do milho. O acompanhamento em tempo real permitiu observar a resposta das plantas às condições de irrigação e nutrição gerenciadas pelo sistema. Foi registrado um crescimento inicial vigoroso, com bom desenvolvimento vegetativo e emissão de folhas. Devido à limitação física do terrário, o ensaio precisou ser encerrado antes do término do ciclo

fenológico, mas ainda assim foi possível colher espigas, evidenciando a viabilidade funcional da solução (Figura 8).

A integração entre sensores e a tecnologia IoT mostrou-se eficiente para monitoramento contínuo, garantindo coleta de dados confiável, com baixa latência e atualização constante. Observou-se também que o sistema foi capaz de detectar episódios de chuva e, automaticamente, suspender a irrigação, evitando desperdício de água e indicando inteligência adaptativa no processo de tomada de decisão.



Figura 8 – Desenvolvimento do cultivo e frutos colhidos – Faculdade UCL – campus Manguinhos.

Além das observações no campo, um dos resultados relevantes foi a forma como os dados foram apresentados ao usuário final, por meio do aplicativo móvel e da plataforma web. As variáveis monitoradas (umidade e temperatura do solo, umidade e temperatura do ar, NPK e precipitação) foram exibidas em tempo real, com possibilidade de consulta a históricos, gráficos e mapas interativos. Essa visualização intuitiva permitiu

acompanhar de maneira clara a evolução das condições da cultura ao longo do experimento, fornecendo subsídios para a tomada de decisão baseada em evidências. A disponibilidade dessas informações em dispositivos móveis, mesmo em ambientes com baixa conectividade, reforça a aplicabilidade prática da solução em propriedades rurais, ampliando seu potencial de adoção por agricultores (Figuras 9 e 10).

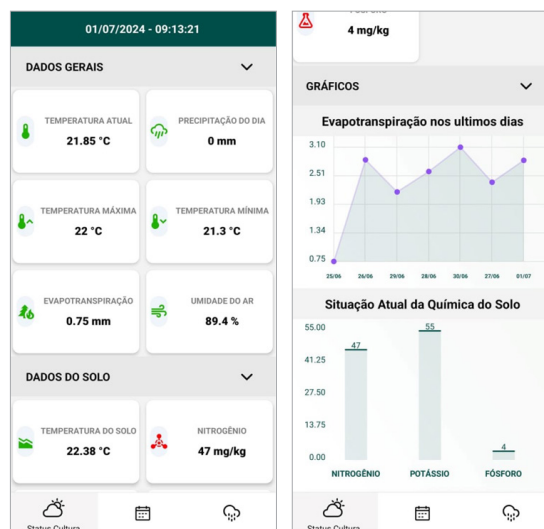


Figura 9 – Status da cultura no App PlanTech de um dia específico.

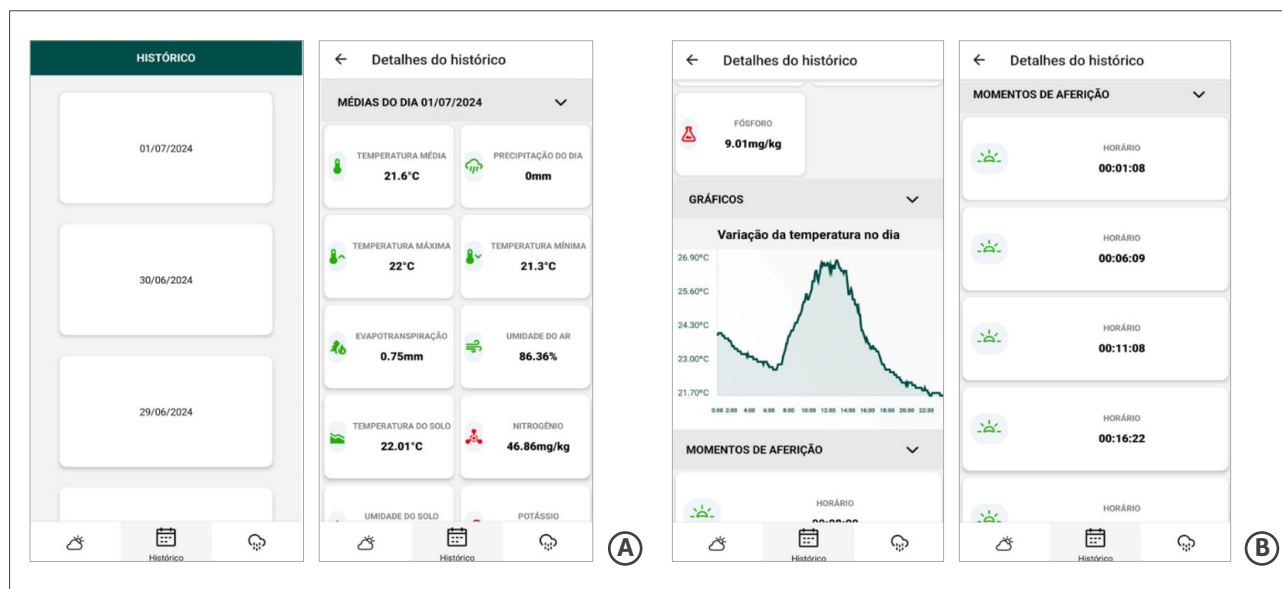


Figura 10 – Histórico do sistema de cultivo (A); detalhes do histórico – App PlanTech (B).

Apesar disso, esta fase inicial não gerou **dados quantitativos suficientes** para comprovar a eficiência do sistema. Faltaram registros de:

- Frequência e volume de irrigação realizados;
- Comparação entre consumo de água e nutrientes versus método tradicional;
- Métricas de crescimento das plantas (altura, número de folhas, biomassa);
- Correlação da leitura de sensores de nutrientes com análises laboratoriais.

Essas lacunas limitam a avaliação estatística da eficiência do sistema. Trabalhos futuros devem incluir ensaios comparativos em áreas experimentais maiores, permitindo quantificar ganhos de produtividade e economia de recursos.

Ainda assim, os resultados qualitativos reforçam o potencial da ferramenta como alternativa de baixo custo para agricultura de precisão, especialmente em pequenas e médias propriedades, promovendo maior racionalidade no uso de água e nutrientes (Figura 11).



Figura 11 – Sistema de minibombeamento de nutrientes – Faculdade UCL – *campus* Manguinhos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com o desenvolvimento e os testes iniciais do sistema de monitoramento e automação da fertirrigação demonstram seu potencial como ferramenta eficaz para o manejo inteligente dos recursos hídricos e nutricionais na agricultura. A combinação de sensores, microcontroladores, comunicação IoT e algoritmos de cálculo baseados na evapotranspiração permitiu uma gestão automatizada e precisa da irrigação, promovendo o desenvolvimento saudável das plantas e evitando o desperdício de insumos.

O sistema mostrou-se funcional, robusto e adaptável, apresentando um bom desempenho mesmo em

ambiente controlado. A possibilidade de controle remoto via aplicativo ou plataforma web reforça seu caráter inovador e acessível, especialmente para pequenos e médios produtores que desejam adotar tecnologias de agricultura de precisão.

O PlanTech foi desenvolvido com o propósito de democratizar o acesso à tecnologia no campo, oferecendo uma solução intuitiva, acessível e eficaz, principalmente voltada para agricultores familiares e pequenos produtores. Seu design centrado no usuário prioriza a simplicidade, garantindo que até mesmo aqueles com pouca ou nenhuma familiaridade com ferramentas digitais possam utilizá-lo com facilidade.

A interface amigável e funcional permite a navegação rápida entre funcionalidades essenciais, como o monitoramento de condições climáticas, controle de irrigação, análise de solo e acompanhamento de históricos de cultivo. Tudo isso de forma integrada e visual, reduzindo a complexidade da gestão agrícola e otimizando o tempo dedicado às tarefas do dia a dia.

Com o PlanTech, os agricultores têm em mãos uma ferramenta poderosa para melhorar o uso de recursos naturais, tomar decisões mais embasadas, aumentar a produtividade e adotar práticas agrícolas mais sustentáveis. A tecnologia deixa de ser um obstáculo e passa a ser uma aliada direta na promoção da eficiência, economia e preservação ambiental no campo.

Outro ponto de destaque foi o uso da linguagem Python na implementação dos algoritmos de cálculo da evapotranspiração e da demanda nutricional. Isso proporcionou agilidade e precisão nos resultados, além de facilitar futuras atualizações e manutenções do sistema.

Como próximos passos e recomendação, o sistema será testado em condições reais de campo, em fazenda experimental, o que permitirá a realização de comparações diretas com métodos convencionais, bem como o refinamento do modelo de cálculo e o aprimoramento da interface com o usuário. Espera-se que a ampliação da aplicação dessa tecnologia contribua para a promoção de uma agricultura mais sustentável, produtiva e tecnologicamente integrada.

Essa abordagem permite o monitoramento ou automação do sistema com base nas reais necessidades hídricas das plantas, evitando tanto a deficiência quanto o excesso de água no solo. Nessa condição, o sistema proposto pode adotar a umidade do solo como variável de entrada para o acionamento da irrigação, assegurando que os níveis de umidade permanecem adequados ao desenvolvimento do cultivo.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Contribuição dos membros da equipe – Plantech, ficou organizada da seguinte forma:

Breno Tonini Costa – Desenvolvedor IoT. Responsável pela implementação da parte física do ponto de coleta, Breno cuidou da integração dos sensores ambientais com microcontroladores, realizando toda a ligação dos dispositivos, além da comunicação via protocolo MQTT para envio contínuo dos dados ao sistema.

Gianluca Scalzi Sampogna – Desenvolvedor Mobile. Desenvolveu o aplicativo da Plantech utilizando React Native. É responsável por exibir os dados dos sensores em tempo real, gerar gráficos históricos, permitir o acionamento remoto de bombas e proporcionar uma interface intuitiva para o produtor rural.

João Paulo Machado Chamon – Professor Orientador (Faculdade UCL). Atuando como orientador técnico, João Paulo apoiou na área de IoT, indicando os sensores, atuadores e componentes ideais para o funcionamento do sistema. Sua experiência foi fundamental na construção da solução física.

Ivanil Foro Maia – Idealizador e Meteorologista. Contribuiu com o embasamento técnico-científico do projeto. Responsável por apoiar nos cálculos de evapotranspiração e fertirrigação, bem como na análise dos dados meteorológicos gerados pelo sistema.

Raphael da Silva Branco – Desenvolvedor Back-end. Responsável pela criação e estruturação do banco de dados em PostgreSQL e pelas APIs que conectam todos os módulos do sistema. Também atuou na hospedagem dos serviços em servidores e desenvolveu a versão web da plataforma.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade UCL, pelo apoio institucional e pela disponibilização do espaço físico necessário à montagem e realização dos experimentos. Agradecem também ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), pelo suporte técnico e pelo incentivo à integração entre pesquisa, extensão rural e ensino. A colaboração entre a UCL e o Incaper foi fundamental para viabilizar este projeto, promovendo a aplicação prática do conhecimento científico em contextos reais de produção agrícola e fortalecendo o papel da universidade como agente de inovação e transformação no meio rural.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. *et al.* **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998.

ALVES, Clóvis Tadeu; TEDESCO, João Carlos. A revolução verde: modernização e agricultura na mesorregião noroeste do Rio Grande do Sul – 1960/1970. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, Passo Fundo, v. 21, n. 45, 2016. Disponível em: <http://seer.upf.br/index.php/rtee/article/view/6187>. Acesso em: 12 set. 2024.

- BANDGAR, V.; BIRADAR, S. Real Time Soil Monitoring Sensors. **Vigyan Varta**, v. 5, n. 6, 2024.
- BARTÓG, P. et al. Improving Fertilizer Use Efficiency—Methods and Strategies for the Future. **Plants**, v. 12, n. 20, p. 3658, 2023.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial**. Brasília: MCTI, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/assuntos/inteligencia-artificial>. Acesso em: 10 set. 2024.
- CAVALCANTI, F. R. **IoT na Fitopatologia**: proposta de rede wi-fi P2P com ESP8266 para monitorar microclimas em áreas próximas. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2023. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 25). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1159577/1/BolPesqDes-25.pdf>. Acesso em: 15 set. 2024.
- COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Circular Técnica, n. 78). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2024.
- DIXON, M.; LIU, G. **The advantages and disadvantages of fertigation**. Gainesville: UF/IFAS Extension, 2022. (HS1442, Department of Horticultural Sciences).
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers, v. 1, n. 2, p. 96–99, 1985.
- INCAPER. **Sistema de fertirrigação otimiza produção e poupa recursos naturais**. Vitória: Incaper, 2024. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/Not%C3%ADcia/sistema-de-fertirrigacao-otimiza-producao-e-poupa-recursos-naturais>. Acesso em: 11 set. 2024.
- LAKHIAR, I. A. et al. A Review of Precision Irrigation Water-Saving Technology. **Agriculture**, v. 14, n. 7, p. 1141, 2024.
- MEDEIROS, J. F. de. **Qualidade da água para irrigação: aspectos normativos, agronômicos e ambientais**. Campina Grande: UFCG, 2016.
- SILVA, F. A.; MOURA, M. S. B. de. Sensoriamento aplicado à irrigação de precisão: fundamentos e aplicações. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 4, p. 4100–4113, 2020.
- SCHATTMAN, R. E. et al. Effects of irrigation scheduling approaches on soil moisture. **ScienceDirect**, v. 287, 2023.
- STARTBIT. Sistema de irrigação automatizado com ESP8266 para plantas. **Startbit**, 2023. Disponível em: <https://startbit.com.br/pt/article/sistema-de-irrigacao-automatizado-com-esp8266-para-plantas>. Acesso em: 13 set. 2024.
- VREMEC, M. et al. PyEt v1.3.1: a Python package for the estimation of potential evapotranspiration. **Geoscientific Model Development**, [s.l.], v. 17, p. 7083–7103, 2024. Disponível em: <https://gmd.copernicus.org/articles/17/7083/2024/>. Acesso em: 14 set. 2024.
- WOODCRAFTY. **PyETo: Python package for calculating reference crop evapotranspiration**. [s.l.], 2023. Disponível em: <https://pyeto.readthedocs.io/en/latest/>. Acesso em: 14 set. 2024.