

PROJECTO DE UMA SOLUÇÃO IoT PARA APOIO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Osvaldo Saturnino Zumba

Faculdade de Engenharia – UAN, osvaldozumba1@hotmail.com

Campos Calenga Pataca

INSTIC – UniLuanda e Faculdade de Engenharia – UAN, cleofas36@gmail.com

Resumo

No cenário da agricultura moderna, a fusão entre tecnologia e práticas agrícolas tradicionais têm sido catalisadas pelo avanço da Internet das Coisas (IoT). Este projecto aborda sobre uma proposta de solução IoT para apoio da agricultura de precisão. Vários foram os conceitos tecnológicos abordados para que se pudesse garantir a operacionalidade deste projecto pois não basta que os dispositivos realizem actividades automatizadas é necessário que os mesmos formem uma rede capaz de suportar a automatização, permitindo a colecta, análise e interconexão de dados. Foram utilizados métodos teóricos e estatísticos para a busca e tratamento da informação, estruturados nos passos como planeamento/design, implementação técnica, testes e validação. Foi elaborado um plano detalhado para a arquitetura da solução IoT, incluindo a escolha de sensores e dispositivos de comunicação. Os sensores de humidade do solo foram montados e os dispositivos IoT programados para colecta e transmissão de dados para uma plataforma de controle. Um plano abrangente de testes foi estabelecido para garantir a precisão dos dados colectados e o funcionamento eficaz do sistema de irrigação automatizado. Como resultados, os dados colectados pelos sensores são tratados e enviados para a plataforma Blynk, onde podem ser monitorados em tempo real. A análise dos dados permitiu identificar padrões nas condições do solo e do ar, proporcionando uma visão clara sobre quando e por quanto tempo a irrigação é necessária.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Agricultura de Precisão, Monitoramento de Umidade, Blynk, Automação Agrícola.

DESIGN OF AN IoT SOLUTION TO SUPPORT PRECISION FARMING

Abstract

In modern agriculture, the fusion between technology and traditional farming practices has been catalyzed by the advance of the Internet of Things (IoT). This project deals with a proposed IoT solution to support precision agriculture. Several technological concepts were addressed in order to ensure that this project was operational, since it is not enough for the devices to carry out automated activities; they need to form a network capable of supporting automation, enabling data to be collected, analyzed and interconnected. Theoretical and statistical methods were used to search for and process the information, structured in steps such as planning/design, technical implementation, testing and validation. A detailed plan was drawn up for the architecture of the IoT solution, including the choice of sensors and communication devices. The soil moisture sensors were assembled and the IoT devices programmed to collect and transmit data to a control platform. A comprehensive testing plan was established to ensure the accuracy of the data collected and the effective operation of the automated irrigation system. As a result, the data collected by the sensors is processed and sent to the Blynk platform, where it can be monitored in real time. Data analysis has made it possible to identify patterns in soil and air conditions, providing a clear view of when and for how long irrigation is needed.

Keywords: Internet of Things, Precision Agriculture, Moisture Monitoring, Blynk, Agricultural Automation.

Introdução

A agricultura de precisão é uma gestão dos campos agrícolas com um nível de detalhe que permite considerar e tratar devidamente a variabilidade destes campos (Atalla et al. 2023; Pero et al. 2024). Num mundo sujeito a várias alterações climáticas, os recursos naturais vão se mostrando cada vez mais escassos. Deste modo, a produção agrícola deve ser otimizada, usando um sistema de gestão que recolhe, processa e analisa dados temporais, espaciais e individuais, combinando-os com outras informações que resulta na tomada de decisão, visando a sustentabilidade e a segurança alimentar. Este tipo de sistemas somente pode ser alcançado usando tecnologias como a Internet das Coisas (IoT).

No entanto, quatro desafios significativos travam o desenvolvimento eficiente e sustentável da agricultura, nomeadamente: a mão-de-obra, má tomada de decisões, alterações climáticas e a utilização excessiva de água/fertilizantes (Saha et al. 2025).

Solos saudáveis, crescimento das culturas, análise e otimização do metabolismo das culturas determinam uma produção agrícola sustentável e a segurança alimentar nos países em desenvolvimento. A produtividade aumenta devido a melhores práticas agrícolas para a gestão dos solos e monitorização da saúde das culturas, conservando simultaneamente os recursos ambientais para as gerações futuras (Marline Joys Kumari, Thirupathi Rao, e Bhattacharyya 2023; Patil, Kunjir, e Masurekar 2024; Zerihun, Olwal, e Hassen 2022).

O objectivo deste trabalho é projectar um sistema de recolha, processamento e análise de dados temporais e espaciais nos campos agrícolas, por meio de IoT.

Revisão da literatura

A inovação tecnológica tem um impacto significativo na sociedade, tanto económica como socialmente. Um dos maiores impactos regista-se no sector da agricultura moderna que aplica as novas tecnologias aumentar a produtividade e reduzir o desperdício da força física, água para irrigação e fertilizantes (Duguma e Bai 2024; Naseer et al. 2024). A agricultura de precisão (Benti et al. 2024) utiliza o suporte da inovação tecnológica como a IoT entre outras.

A agricultura de precisão é uma abordagem agrícola que utiliza tecnologia avançada e análise de dados para maximizar o rendimento das culturas, reduzir o desperdício e aumentar a produtividade (Karunathilake et al. 2023). A tabela 1 apresenta a síntese de trabalhos relacionados com a agricultura de precisão, nos últimos cinco anos.

Tabela 1 – Agricultura de precisão

Título	Breve descrição	Fontes
<i>Internet of Things Applications in Precision Agriculture: A Review</i>	Identificar e discutir os dispositivos significativos, as plataformas de computação em nuvem, os protocolos de comunicação e as metodologias de processamento de dados	(Abu et al. 2022)
<i>A Secure IoT-Based Irrigation System for Precision Agriculture Using the Expeditious Cipher</i>	Propor a integração de técnicas de criptografia ligeira no ecossistema IoT para a agricultura inteligente, a fim de satisfazer os requisitos dos dispositivos IoT com recursos limitados	(Fathy e Ali 2023)

<i>IoT-Driven Machine Learning for Precision Viticulture Optimization</i>	Realizar um exame minucioso das vinhas com um enfoque específico em três aspectos-chave da PV: mitigar os danos causados pelas geadas, analisar os níveis de humidade do solo e tratar as doenças da videira	(Pero et al. 2024)
<i>Precision Agriculture and Sustainable Yields: Insights from IoT-Driven Farming and the Precision Agriculture Test</i>	Esclarecer como a agricultura de precisão alimentada pela Internet das Coisas pode otimizar a produtividade e a sustentabilidade agrícolas. Ligações importantes, como a associação positiva entre a produção agrícola e a humidade do solo, são reveladas através da análise de dados de sensores da Internet das Coisas	(Ivanovich Vatin et al. 2024)
<i>Precision Agriculture Monitoring System</i>	Integrar vários sensores para monitorizar parâmetros ambientais, como a humidade do solo, a temperatura, a humidade e a intensidade da luz. Os dados recolhidos são analisados em tempo real para fornecer informações úteis aos agricultores, permitindo uma agricultura de precisão	(Naidu et al. 2024)
<i>Precision agriculture using IOT and AI</i>	Investigar o potencial sinérgico da IoT e da IA nos sistemas agrícolas. A agricultura de precisão dá aos agricultores uma oportunidade nunca antes vista de monitorizar e controlar as condições de crescimento das culturas, automatizar tarefas e realizar intervenções focalizadas	(Saha et al. 2025)
<i>Precision Farming: The Power of AI and IoT Technologies</i>	Explorar a integração de tecnologias de ponta, incluindo a IA, a IoT, a teledeteção e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para fazer face aos desafios colocados pela diminuição dos recursos agrícolas e pela expansão da população	(Alazzai et al. 2024)
<i>Developing Smart Farming Solutions: IoT-Based Techniques for Precision Agriculture</i>	Resumir os principais benefícios dos sistemas de agricultura de precisão e ajuda os agricultores a aumentar o rendimento das culturas, fornecendo-lhes informações sobre as condições do solo e a saúde das culturas.	Shinde et al., 2024 (Shinde, Mali, e Namewar sem data)
<i>Smart Precision Agriculture using IoT Simulation</i>	Apresentar uma investigação aprofundada sobre a implementação da agricultura de precisão inteligente utilizando a simulação	(Gaurav Bawankule et al. 2024)

	IoT no Tinkercad. O estudo engloba a integração de vários sensores, incluindo temperatura, humidade do solo, valores NPK (azoto, fósforo, potássio) e sensores de humidade num ambiente agrícola simulado	
<i>The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture</i>	Examinar alguns dos últimos avanços recentes na agricultura de precisão, incluindo a Internet das Coisas (IoT) e a forma de utilizar os grandes volumes de dados	(Karunathilake et al. 2023)

Metodologia

Foram utilizados métodos teóricos e estatísticos para a busca e tratamento da informação sobre a temática, visando projectar um sistema de agricultura de precisão baseado na IoT, capaz de impulsionar a produtividade e sustentabilidade. O projecto foi estruturado nos passos como planeamento/design, implementação técnica, testes e validação. Foi elaborado um plano detalhado para a arquitetura da solução IoT, incluindo a escolha de sensores e dispositivos de comunicação.

A figura seguinte apresenta as principais fases do projecto, feito inicialmente na horta dos Irmãos Salesianos de Dom Bosco, bairro Palanca, município do Kilamba Kiayi, província de Luanda.

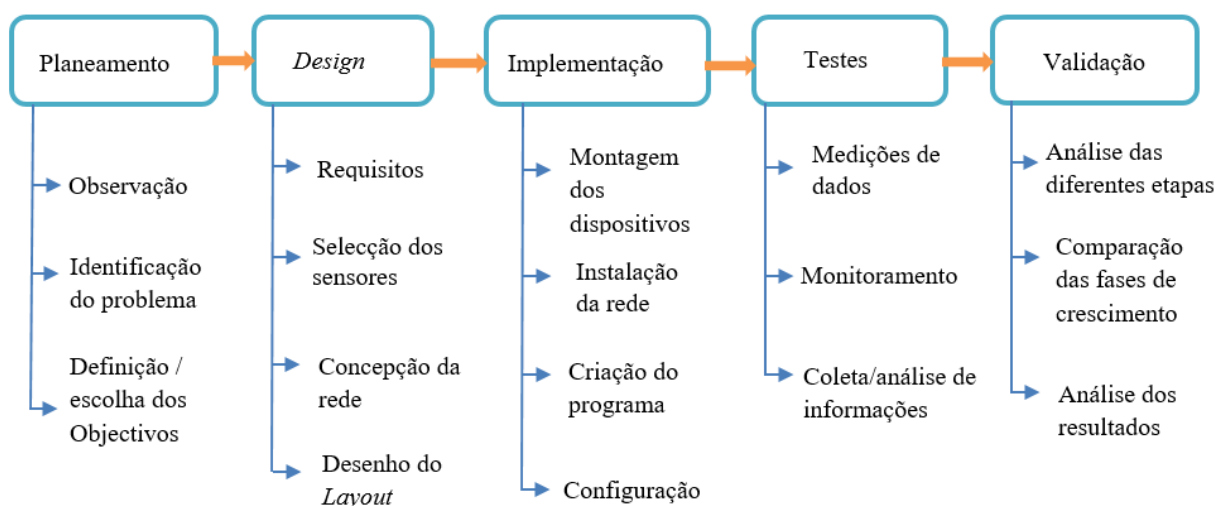


Figura 1 – Roteiro (principais fases) do projecto

Fonte: elaboração própria

Identificado o problema e definido o objectivo do trabalho, seguiu a fase de design e implementação seleccionando os sensores e dispositivos capazes de cumprir a missão traçada. A tabela seguinte apresenta a síntese dos principais sensores seleccionados.

Tabela 2 – Principais sensores e dispositivos usados no projecto

Sensor/Dispositivo	Características	Aplicações	Fonte
NodeMCU-32S ESP32	<p>A frequência do relógio é ajustável</p> <p>de 80 MHz a 240 MHz;</p> <p>O módulo suporta velocidades de dados até 150 Mbps e uma potência máxima de saída da antena de 20 dBm para uma comunicação sem fios</p>	<p>Microcontrolador principal do sistema. Responsável pela colecta de dados dos sensores, controle da bomba de água via relé e comunicação com a plataforma Blynk para visualização e controle remoto</p>	<p>(Naidu et al. 2024)</p>
DHT11	<p>Gama de tensões de funcionamento: 3,5V a 5,5V</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ponto de corrente de funcionamento: 0,3mA (medição); 60uA (em espera) - Saída de dados em série - Gama de temperaturas de 0°C a 50°C - Faixa de humidade de 20% a 90% - Resolução baseada em bits para Temperatura e Humidade ambos são de 16-bit 	<p>Mede a temperatura e a humidade do ar no ambiente onde o sistema está instalado</p>	<p>(Ammad-ul-Islam et al. 2024)</p>

FDR	Tensão de 3,3-12V, mede menos de 20mA de corrente e detecta a humidade do solo através de uma sonda	Mede a humidade do solo em tempo real, permitindo o controle preciso da irrigação	(Benítez sem data; López-Quílez 2025)
Módulo Relé	Os módulos de relé têm normalmente vários pinos para ligação a circuitos externos e fontes de alimentação externas	Actua como um interruptor que controla a ligação e desligamento da bomba de água com base nos comandos recebidos do ESP32	(Das 2023)
Mini Bomba de Água	12 V 4.2 W	Responsável pela irrigação do solo. É activada ou desactivada pelo módulo relé, controlado pelo ESP32	(Fathy e Ali 2023; Naidu et al. 2024)
Fonte de Alimentação para o ESP32	Input AC 220V-50/60Hz; Output DC 09-5V; Corrente ~ 2 mA	Fornece a energia necessária para o funcionamento do ESP32	(Naidu et al. 2024)
Fonte de Alimentação para a Bomba de Água	Input AC 220V-50/60Hz; Output DC 3-12V; Corrente ~ 1000 mA	Fornece a energia necessária para o funcionamento da bomba de água	(Fathy e Ali 2023)

A conexão do NodeMCU-32S ESP32 com internet é realizada através de um ponto de acesso Wi-Fi, que permite o acesso remoto ao sistema por meio da aplicação Blynk, disponível para acesso via IP, dispositivos móveis ou web. A partir dessa interface, o usuário pode monitorar as condições do solo e controlar a bomba de água submersível de forma eficiente.

O módulo relé é utilizado para accionar a bomba de água submersível, que é alimentada por uma fonte de energia independente. A activação da bomba é controlada automaticamente pelo microcontrolador, com base nos dados de humidade do solo. Quando os níveis de humidade do solo caem abaixo de um

valor pré-definido a bomba é accionada para garantir a irrigação adequada. Este funcionamento pode ser visto na Figura 2.

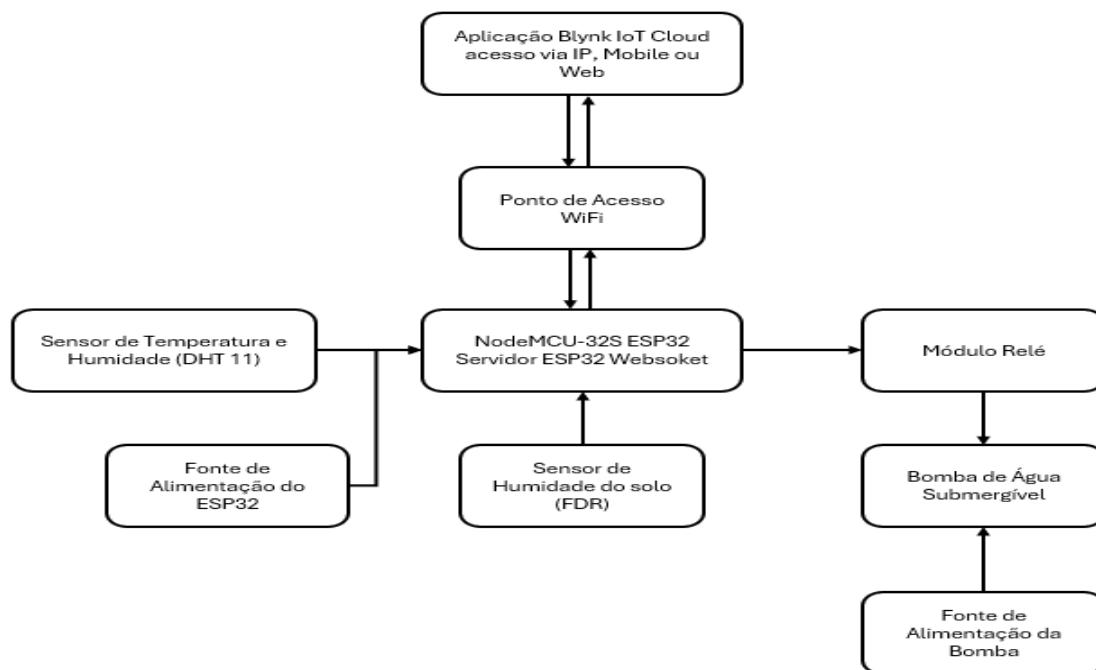


Figura 2 – Esquema em bloco do projecto

Fonte: elaboração própria

O protótipo foi montado em *breadboard*, permitindo uma configuração modular e fácil de ajustar durante a fase de testes, garantindo a integração dos sensores, microcontroladores e módulos de controlo de forma eficiente. Os principais componentes descritos na tabela 2 são ilustrados na figura 3 e montados nas figuras 4 e 5.



Figura 3 – Principais componentes do projecto

Fonte: Adaptado de <https://www.az-delivery.de/en/products/dht-11-temperatursensor-modul>

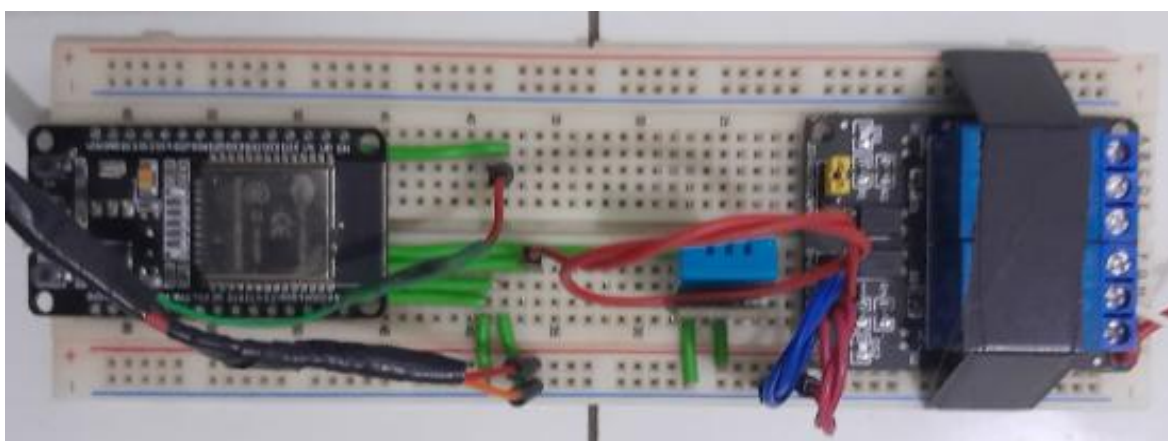


Figura 4 – Componentes montados na placa

A escolha dos componentes e a configuração adoptada foram baseadas em considerações de eficiência energética, facilidade de implementação e a capacidade de cumprir os requisitos funcionais do sistema. Para garantir a estabilidade e protecção dos componentes electrónicos, foi utilizado um pedaço de madeira como base, junto com um tubo de metal para servir como suporte vertical. Além disso, uma caixa de plásticos para proteger os circuitos electrónicos contra condições adversas, como a humidade e a poeira. As ferramentas básicas como chaves de fenda e braçadeiras, foram utilizadas para realizar ajustes finos nas peças, garantindo um encaixe seguro e preciso dos componentes, como ilustra a figura 5.



Figura 5 – Montagem do suporte do projecto



Figura 6 – Monitoramento dos dados pelo computador, teste do sensor de umidade do solo

Depois da montagem dos componentes foi necessário configurar o sistema por meio de software desenvolvido em C/C++ utilizando a IDE Arduino, com a inclusão de bibliotecas específicas, como *WiFi.h* para a conectividade, *BlynkSimpleEsp32.h* para a integração com a plataforma *Blynk* e *DHT.h* para o sensor de temperatura e humidade DHT11. O sistema é configurado para monitorar as condições ambientais (humidade do solo, temperatura e humidade do ar) e accionar a bomba de água submersível, com forma a necessidade irrigação. A cada intervalo de tempo definido, os dados colectados pelos sensores são enviados para a aplicação *Blynk*, plataforma IoT que permite a visualização dos dados colectados pelos sensores e o controle remoto do sistema através de uma interface móvel ou web, onde o usuário pode monitorar e controlar remotamente o estado do sistema. A figura 6 ilustra o processo de monitoramento, enquanto a figura 7 apresenta a aplicação *Blynk*.

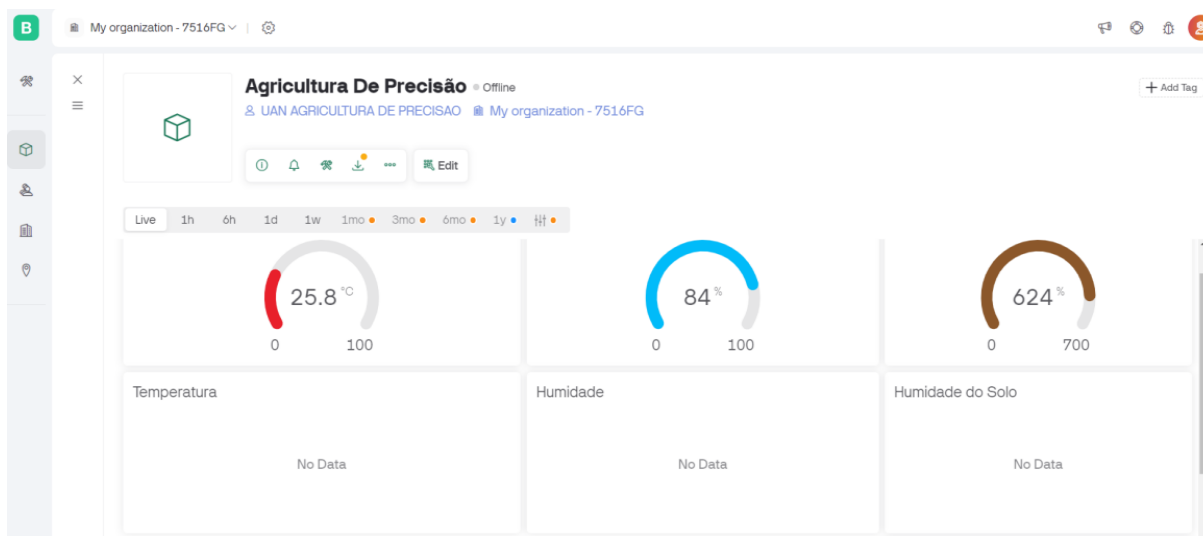


Figura 7 – Blynk IoT Cloud

Para garantir uma conectividade constante e confiável, essencial para o monitoramento em tempo real dos dados de humidade do solo, foi implementada uma solução de conexão Wi-Fi utilizando tecnologia 5G. Este roteador de alta velocidade permite a transmissão contínua dos dados colectados pelo sistema IoT para a plataforma de gerenciamento remoto. A escolha da tecnologia 5G é fundamental para proporcionar uma latência reduzida e uma largura de banda suficiente para suportar o fluxo de dados necessário, garantindo uma resposta rápida e precisa para o controle de irrigação, como ilustra a figura 8.



Figura 8 – Roteador Wi-Fi 5G

Resultados

Foram realizados os seguintes testes para aferir o funcionamento eficiente do sistema:

Teste 1: Operação da Bomba de Água

Objectivo: Verificar se a bomba de água é accionada correctamente com base nos níveis de humidade do solo.

Procedimento: O sensor de humidade do solo foi inserido em diferentes condições (solo seco, solo húmido e fora do solo) para observar o comportamento do sistema.

Resultados:

Quando o solo estava seco, a bomba de água foi accionada.

Quando o solo estava húmido, a bomba de água foi desactivada.

Quando o sensor foi removido do solo, uma mensagem foi exibida indicando sensor fora do solo.



Figura 9 – Sistema a funcionar dentro da horta

O funcionamento do sistema é ilustrado na figura 9.

Teste 2: Leitura dos Sensores de Temperatura e Umidade do Ar

Objectivo: Garantir a precisão das leituras do sensor DHT11.

Procedimento: O sensor foi exposto a diferentes condições ambientais e as leituras foram comparadas com dispositivos de medição de referência.

Resultados: As leituras do sensor DHT11 foram precisas e consistentes, correspondendo aos valores esperados.

Teste 3: Conexão e Comunicação com a Plataforma Blynk

Objectivo: Assegurar a comunicação contínua entre o NodeMCU-32S ESP32 e a aplicação Blynk.

Procedimento: O sistema foi monitorado para verificar a estabilidade da conexão e a frequência de actualização dos dados na interface Blynk.

Resultados: A comunicação com a plataforma Blynk foi estável, permitindo monitoramento em tempo real e controle da bomba de água.

Discussão

Durante o funcionamento do sistema, as leituras dos sensores (humidade do solo, temperatura e umidade do ar) foram enviadas para a interface Blynk. Os dados foram exibidos em tempo real na interface, permitindo o monitoramento contínuo das condições do solo e do ar. A análise dos dados permitiu identificar padrões nas condições do solo e do ar, proporcionando uma visão clara sobre quando e por quanto tempo a irrigação é necessária, o que vai de acordo com as pesquisas de Basheer e Kawre ao comprovarem que “a irrigação inteligente com IoT utiliza sensores para monitorizar continuamente os níveis de humidade do solo, permitindo ajustes precisos aos horários de rega e conservando significativamente a água” (Hussain et al. 2024; Khan 2024; Kumar et al. 2024).

A interacção com o usuário foi facilitada pela interface intuitiva do Blynk, que permitiu o monitoramento e controle do sistema de forma eficiente. A configuração do sistema foi simplificada pela interface Blynk, permitindo que usuários com pouco conhecimento técnico pudessem configurar e operar o sistema facilmente.

Portanto, a IoT desempenha um papel crucial como um optimo gestor da água, na redução dos esforços laborais e na melhoria do rendimento das culturas através de uma monitorização eficiente (Duguma e Bai 2024; Khan et al. 2024).

Conclusões

Durante o desenvolvimento deste projecto de IoT para apoio à agricultura de precisão, focado na monitorização da humidade do solo e no controlo da irrigação utilizando a plataforma Blynk, foram alcançados resultados significativos e promissores.

Os resultados obtidos demonstraram uma resposta satisfatória do sistema de irrigação automatizado, garantindo que a bomba fosse activada apenas quando necessário, melhorando ou facilitando, assim o uso de recursos hídricos.

O projecto não só demonstrou a aplicação prática e os benefícios imediatos da IoT na agricultura de precisão, mas também estabeleceu um caminho claro para melhorias futuras, promovendo a inovação contínua e a sustentabilidade no sector agrícola.

Referências bibliográficas

Abu, N. S., W. M. Bukhari, C. H. Ong, A. M. Kassim, T. A. Izzuddin, M. N. Sukhaimie, M. A. Norasikin, e A. F. A. Rasid. 2022. «Internet of Things Applications in Precision Agriculture: A Review». *Journal of Robotics and Control (JRC)* 3(3):338–47. doi: 10.18196/jrc.v3i3.14159.

Alazzai, Waleed K., Baydaa Sh. Z. Abood, Hassan M. Al-Jawahry, e Mohammed Kadhim Obaid. 2024. «Precision Farming: The Power of AI and IoT Technologies» editado por G. Li, U. Subramaniam, e M. Sekar. *E3S Web of Conferences* 491:04006. doi: 10.1051/e3sconf/202449104006.

Ammad-ul-Islam, Tanveer Nazir, Irfan Ali, Sania Rafiq, Muhammad Musharaf Ahsan, e Imran Siddiq. 2024. «Internet of Things (IOT) in Developing the Smart Farming and Agricultural Technologies». *International Journal of Innovations in Science & Technology* 6(4):1621–34.

Atalla, Shadi, Saed Tarapiah, Amjad Gawanmeh, Mohammad Daradkeh, Husameldin Mukhtar, Yassine Himeur, Wathiq Mansoor, Kamarul Faizal Bin Hashim, e Motaz Daadoo. 2023. «IoT-Enabled Precision Agriculture: Developing an Ecosystem for Optimized Crop Management». *Information* 14(4):205. doi: 10.3390/info14040205.

Benítez, Juliana Sánchez. sem data. «SENSORES DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO CONTINUO DA UMIDADE DO SOLO E RADIAÇÃO SOLAR».

Benti, Natei Ermias, Mesfin Diro Chaka, Addisu Gezahegn Semie, Bikila Warkineh, e Teshome Soromessa. 2024. «Transforming Agriculture with Machine Learning, Deep Learning, and IoT:

Perspectives from Ethiopia—Challenges and Opportunities». *Discover Agriculture* 2(1):63. doi: 10.1007/s44279-024-00066-7.

Das, Prajeet. 2023. «Agriculture Water Management System Using IOT». 4(4).

Duguma, Amenu Leta, e Xiuguang Bai. 2024. «How the Internet of Things Technology Improves Agricultural Efficiency». *Artificial Intelligence Review* 58(2):63. doi: 10.1007/s10462-024-11046-0.

Fathy, Cherine, e Hassan M. Ali. 2023. «A Secure IoT-Based Irrigation System for Precision Agriculture Using the Expeditious Cipher». *Sensors (Basel, Switzerland)* 23(4):2091. doi: 10.3390/s23042091.

Gaurav Bawankule, Priyanshu Urwate, Karan Chavan, Fatima Inamdar, e Sachin Deshpande. 2024. «Smart Precision Agriculture Using IoT Simulation». *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology* 302–12. doi: 10.48175/IJARSCT-18246.

Hussain, Khalid, Nathir Noory Hanass, Md Amin Ullah Sheikh, e Khalid Hussain. 2024. «IoT Irrigation System Using Arduino».

Ivanovich Vatin, Nikolai, Sanjeev Kumar Joshi, Puja Acharya, Rajat Sharma, e N. Rajasekhar. 2024. «Precision Agriculture and Sustainable Yields: Insights from IoT-Driven Farming and the Precision Agriculture Test» editado por P. K. Prabhakar. *BIO Web of Conferences* 86:01091. doi: 10.1051/bioconf/20248601091.

Karunathilake, E. M. B. M., Anh Tuan Le, Seong Heo, Yong Suk Chung, e Sheikh Mansoor. 2023. «The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture». *Agriculture* 13(8):1593. doi: 10.3390/agriculture13081593.

Khan, Sunawar, Tehseen Mazhar, Tariq Shahzad, Muhammad Amir Khan, Sghaier Guizani, e Habib Hamam. 2024. «Future of Sustainable Farming: Exploring Opportunities and Overcoming Barriers in Drone-IoT Integration». *Discover Sustainability* 5(1):470. doi: 10.1007/s43621-024-00736-y.

Khan, Zaiba. 2024. «The Integration of Internet of Things (IoT) in Precision Agriculture».

Kumar, Vijendra, Kul Vaibhav Sharma, Naresh Kedam, Anant Patel, Tanmay Ram Kate, e Upaka Rathnayake. 2024. «A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies». *Smart Agricultural Technology* 8:100487. doi: 10.1016/j.atech.2024.100487.

- López-Quílez, Antonio. 2025. «AI, IoT and Remote Sensing in Precision Agriculture». *Applied Sciences* 15(6):2890. doi: 10.3390/app15062890.
- Marline Joys Kumari, N., N. Thirupathi Rao, e Debnath Bhattacharyya. 2023. «Smart Irrigation and Cultivation Recommendation System for Precision Agriculture Driven by IoT». Pp. 123–49 em *Machine Intelligence, Big Data Analytics, and IoT in Image Processing*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Naidu, Kuriti Jogi, Kannipamula Vijaya Babu, Chinthala Roshitha Charan Sai¹, Pediredla Ganesh, Tenkani Gowtham Sai, e Nadupuru Somendhra Naidu. 2024. «Precision Agriculture Monitoring System». *Biosciences Biotechnology Research Asia* 21(4):1543–51. doi: 10.13005/bbra/3324.
- Naseer, Asma, Muhammad Shmoon, Tanzeela Shakeel, Shafiq Ur Rehman, Awais Ahmad, e Volker Gruhn. 2024. «A Systematic Literature Review of the IoT in Agriculture—Global Adoption, Innovations, Security, and Privacy Challenges». *IEEE Access* 12:60986–21. doi: 10.1109/ACCESS.2024.3394617.
- Patil, Harsha, Satyawan Kunjir, e Reshma Masurekar. 2024. «Harnessing IOT for Smart Agriculture: A Comprehensive Exploration». 6(2).
- Pero, Chiara, Sambit Bakshi, Michele Nappi, e Genoveffa Tortora. 2024. «IoT-Driven Machine Learning for Precision Viticulture Optimization». *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 17:2437–47. doi: 10.1109/JSTARS.2023.3345473.
- Saha, Gourab, Fariha Shahrin, Farhan Hasin Khan, Mashook Mohammad Meshkat, e AKM Abdul Malek Azad. 2025. «Smart IoT-driven precision agriculture: Land mapping, crop prediction, and irrigation system». *PLOS One* 20(3):e0319268. doi: 10.1371/journal.pone.0319268.
- Shinde, Pratidnya Dnyanoba, M. B. Mali, e M. N. Namewar. sem data. «Developing Smart Farming Solutions: IoT-Based Techniques for Precision Agriculture».
- Zerihun, Bekele M., Thomas O. Olwal, e Murad R. Hassen. 2022. «Design and Analysis of IoT-Based Modern Agriculture Monitoring System for Real-Time Data Collection». Pp. 73–82 em *Computer Vision and Machine Learning in Agriculture, Volume 2*, editado por M. S. Uddin e J. C. Bansal. Singapore: Springer.