ESTUFA INTELIGENTE COM ESP32-CAM PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL

Nome do Autor[1], Alice Escobar Quirino Vasconcellos, Derek Miguel da Silva Siqueira, Isaac Henrique Méndez, Bruno Michel Pera[1].

[1]Fundação Valeparaibana de Ensino/Colegios Univap Unidade Centro, Rua Paraibuna - São José dos Campos-SP, Brasil, aliceeqvascon@gmail.com, derekssiqueira@gmail.com, isaacmendez.08@gmail.com, brunomichel00@gmail.com .

Resumo
Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma estufa inteligente automatizada baseada no microcontrolador ESP32-CAM, com comunicação sem fio por Wi-Fi e transmissão de dados pelo protocolo MQTT. O sistema proposto monitora temperatura, umidade relativa do ar, umidade do solo e pH da água ou solução nutritiva, além de controlar uma lâmpada LED Grow por meio de módulo relay. A metodologia envolveu a definição da arquitetura eletrônica, seleção dos sensores, organização dos tópicos MQTT e proposição da lógica de acionamento da iluminação. Como resultado, obteve-se uma solução de baixo custo, modular e aplicável a ambientes educacionais, agricultura urbana e experimentos de automação. O projeto permite o acompanhamento remoto das condições da planta e favorece decisões baseadas em dados. Conclui-se que a integração entre sensores, ESP32-CAM e MQTT contribui para tornar o cultivo protegido mais acessível, didático e eficiente.
Palavras-chave: Internet das Coisas. ESP32-CAM. MQTT. Agricultura urbana. Automação.
Área do Conhecimento: Engenharias - Engenharia Elétrica / Computação.

Introdução

O uso de tecnologias digitais na agricultura tem ampliado as possibilidades de monitoramento, controle e tomada de decisão em sistemas de cultivo. Mesmo em aplicações de pequeno porte, como hortas domésticas, projetos escolares e estufas experimentais, sensores e microcontroladores permitem acompanhar variáveis que influenciam diretamente o desenvolvimento vegetal. Temperatura, umidade do ar, umidade do solo, luminosidade e pH são parâmetros importantes para avaliar se o ambiente está adequado ao crescimento da planta.

Nesse contexto, a Internet das Coisas possibilita a conexão de objetos físicos à internet, permitindo que dados sejam coletados e enviados para sistemas de visualização remota. O protocolo MQTT é especialmente adequado para esse tipo de aplicação por utilizar comunicação leve, organizada por tópicos e compatível com microcontroladores. Assim, uma estufa automatizada pode publicar leituras ambientais para um aplicativo, painel web ou dashboard, facilitando o acompanhamento em tempo real.

O ESP32-CAM foi escolhido como unidade central do sistema por reunir conectividade Wi-Fi, capacidade de processamento, entradas e saídas digitais e câmera integrada. A presença da câmera torna o projeto mais completo, pois permite, em etapas futuras, o registro visual da planta e a comparação de seu desenvolvimento ao longo do tempo. Dessa forma, o sistema combina automação, monitoramento ambiental e possibilidade de análise visual.

O objetivo deste trabalho é propor e descrever uma estufa inteligente automatizada com ESP32-CAM, sensores ambientais e comunicação MQTT, capaz de monitorar as condições internas do cultivo e controlar uma lâmpada LED Grow de 5W por meio de módulo relay. O projeto busca demonstrar uma solução funcional, de baixo custo e com potencial de aplicação em atividades de ensino, pesquisa e agricultura urbana.

Metodologia

O trabalho foi desenvolvido como resultado de projeto aplicado, com abordagem experimental e descritiva. Inicialmente, foram levantadas as variáveis essenciais para o acompanhamento de uma estufa de pequeno porte: temperatura, umidade relativa do ar, umidade do solo, pH da água ou solução nutritiva e estado da iluminação artificial. Em seguida, foram selecionados componentes eletrônicos acessíveis e compatíveis com o ESP32-CAM, priorizando baixo custo, facilidade de montagem e possibilidade de expansão.

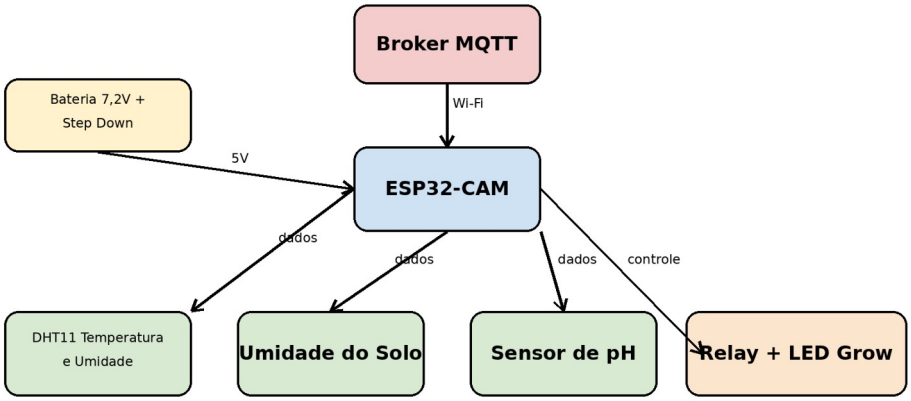
A arquitetura foi organizada em quatro blocos principais: sensoriamento, processamento, comunicação e atuação. O bloco de sensoriamento é composto pelo DHT11, sensor de umidade do

solo e módulo de pH. O bloco de processamento é representado pelo ESP32-CAM, responsável por ler os sinais dos sensores, tratar as informações e executar a lógica de controle. O bloco de comunicação utiliza Wi-Fi e MQTT para publicação dos dados. O bloco de atuação é formado pelo módulo relay, responsável por acionar a lâmpada LED Grow de 5W.

A alimentação foi planejada a partir de uma bateria de 7,2 V associada a um regulador Step Down, utilizado para reduzir a tensão para níveis seguros de operação. Considerou-se que o ESP32-CAM e os sensores não devem ser alimentados diretamente pela bateria, pois tensões inadequadas podem danificar os módulos. O circuito de controle da lâmpada foi separado eletricamente por meio do relay, evitando que a carga seja ligada diretamente aos pinos do microcontrolador.

Para comunicação, foram definidos tópicos MQTT específicos para cada variável: estufa/temperatura, estufa/umidade_ar, estufa/umidade_solo, estufa/ph e estufa/lampada/status. Essa organização permite que diferentes interfaces de supervisão assinem apenas os tópicos necessários. A lógica proposta prevê leituras periódicas dos sensores, publicação das mensagens no broker MQTT e acionamento da lâmpada por comando remoto, condição programada ou regra automática definida no sistema.

Figura 1 - Arquitetura geral da estufa inteligente.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Resultados

A proposta resultou em uma arquitetura integrada para monitoramento e controle de uma estufa de pequeno porte. A Figura 1 apresenta a relação entre os principais blocos do sistema: sensores, ESP32-CAM, broker MQTT, alimentação e controle da iluminação. O ESP32-CAM atua como núcleo do projeto, recebendo dados dos sensores, publicando informações pela rede Wi-Fi e enviando sinal digital para o relay quando a lâmpada precisa ser acionada.

A Tabela 1 resume os componentes definidos para o projeto e suas respectivas funções. A organização dos materiais evidencia que o sistema pode ser montado com módulos comuns em laboratórios didáticos de eletrônica e programação, tornando a solução viável para projetos de ensino técnico, iniciação científica júnior e experimentação em automação agrícola.

Tabela 1 - Componentes principais do sistema proposto.

Componente	Função no sistema	Observação técnica
ESP32-CAM	Processamento, Wi-Fi, controle geral e captura de imagens	Requer alimentação regulada e pinos bem definidos
DHT11	Mede temperatura e umidade relativa do ar	Indicado para monitoramento ambiental básico
Sensor de umidade do solo	Indica condição seca, úmida ou encharcada do substrato	Leitura pode ser calibrada conforme o tipo de solo
Sensor de pH	Mede acidez ou alcalinidade da água	Necessita calibração com soluções

	ou solução nutritiva	padrão
Relay e LED Grow 5W	Controle da iluminação artificial da planta	Separa circuito de controle e circuito da carga
Bateria 7,2 V e Step Down	Alimentação do protótipo	Reduz tensão para 5 V ou 3,3 V quando necessário

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Os resultados esperados incluem a visualização remota dos dados em tempo real, a identificação de condições inadequadas de cultivo e o acionamento seguro da iluminação artificial. Um exemplo de mensagem publicada pelo sistema pode reunir temperatura, umidade do ar, umidade do solo, pH e estado da lâmpada em formato JSON, facilitando a integração com aplicativos, plataformas web ou dashboards IoT.

Discussão

A utilização do ESP32-CAM como unidade central apresenta vantagens para projetos educacionais, pois reduz a quantidade de módulos necessários e possibilita comunicação sem fio integrada. Em comparação com soluções baseadas apenas em microcontroladores sem conectividade, o ESP32-CAM permite que os dados sejam transmitidos diretamente para um broker MQTT, dispensando conexão física permanente com computador. Além disso, a câmera integrada abre possibilidade para registros visuais e futuras análises por visão computacional.

O uso do MQTT favorece a escalabilidade do projeto. Como as informações são separadas por tópicos, novas variáveis podem ser incluídas sem alterar toda a estrutura do sistema. Por exemplo, sensores de luminosidade, nível de reservatório, presença de água ou concentração de nutrientes podem ser adicionados futuramente. A mesma lógica também permite controle remoto de novos atuadores, como bomba d'água, ventilador ou exaustor.

Apesar das vantagens, algumas limitações devem ser consideradas. O DHT11 possui precisão inferior à de sensores mais avançados, sendo adequado para protótipos e fins didáticos, mas podendo ser substituído por modelos mais precisos em aplicações profissionais. O sensor de pH exige calibração cuidadosa, pois leituras incorretas podem gerar interpretações equivocadas sobre a solução nutritiva. Além disso, a bateria de 7,2 V precisa ser dimensionada conforme o consumo real do ESP32-CAM, sensores e LED Grow, especialmente se o sistema permanecer ligado por longos períodos.

Outro ponto importante é a segurança elétrica. O relay deve ser utilizado para isolar o circuito de controle do circuito da lâmpada, evitando sobrecarga nos pinos do ESP32-CAM. Também é recomendável o uso de fusível, chave liga/desliga, caixa de proteção e conexões bem fixadas. Essas medidas aumentam a confiabilidade do protótipo e reduzem riscos durante o uso em ambiente escolar ou doméstico.

Conclusão

O projeto de estufa inteligente com ESP32-CAM e comunicação MQTT demonstrou ser uma solução viável para monitoramento ambiental e controle básico de cultivo em pequena escala. A integração entre sensores de temperatura, umidade do ar, umidade do solo e pH possibilita acompanhar variáveis essenciais ao desenvolvimento vegetal, enquanto o módulo relay permite o acionamento seguro da lâmpada LED Grow.

A proposta apresenta potencial para uso em atividades de ensino, iniciação científica, automação residencial, agricultura urbana e experimentos de Internet das Coisas. Além de favorecer a aprendizagem prática de eletrônica, programação e redes, o sistema incentiva o uso de dados para tomada de decisão no cultivo. Como trabalhos futuros, recomenda-se incluir bomba d'água para irrigação automática, sensor de luminosidade, painel web, armazenamento histórico dos dados e análise de imagens da planta por inteligência artificial.

Referências

ARDUINO. DHT sensor library. Disponível em: https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library. Acesso em: 24 jun. 2026.

ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32-CAM development board. Disponível em: https://www.espressif.com. Acesso em: 24 jun. 2026.

HIVEMQ. MQTT essentials: an introduction to MQTT. Disponível em: https://www.hivemq.com/mqtt-essentials/. Acesso em: 24 jun. 2026.

MQTT. MQTT: the standard for IoT messaging. Disponível em: https://mqtt.org/. Acesso em: 24 jun. 2026.

OLIVEIRA, S. Internet das coisas com ESP32. São Paulo: Novatec, 2021.

SILVA, R. A.; SANTOS, M. A. Automação agrícola e sensores aplicados ao cultivo protegido. Revista de Tecnologia Aplicada, v. 12, n. 2, p. 45-58, 2023.

UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA. Manual de normalização de trabalhos acadêmicos. São José dos Campos: Univap, 2025.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Educacional Ribeiro Goulart pelo apoio às atividades de desenvolvimento tecnológico e aos docentes envolvidos na orientação de projetos práticos de eletrônica, automação e Internet das Coisas.