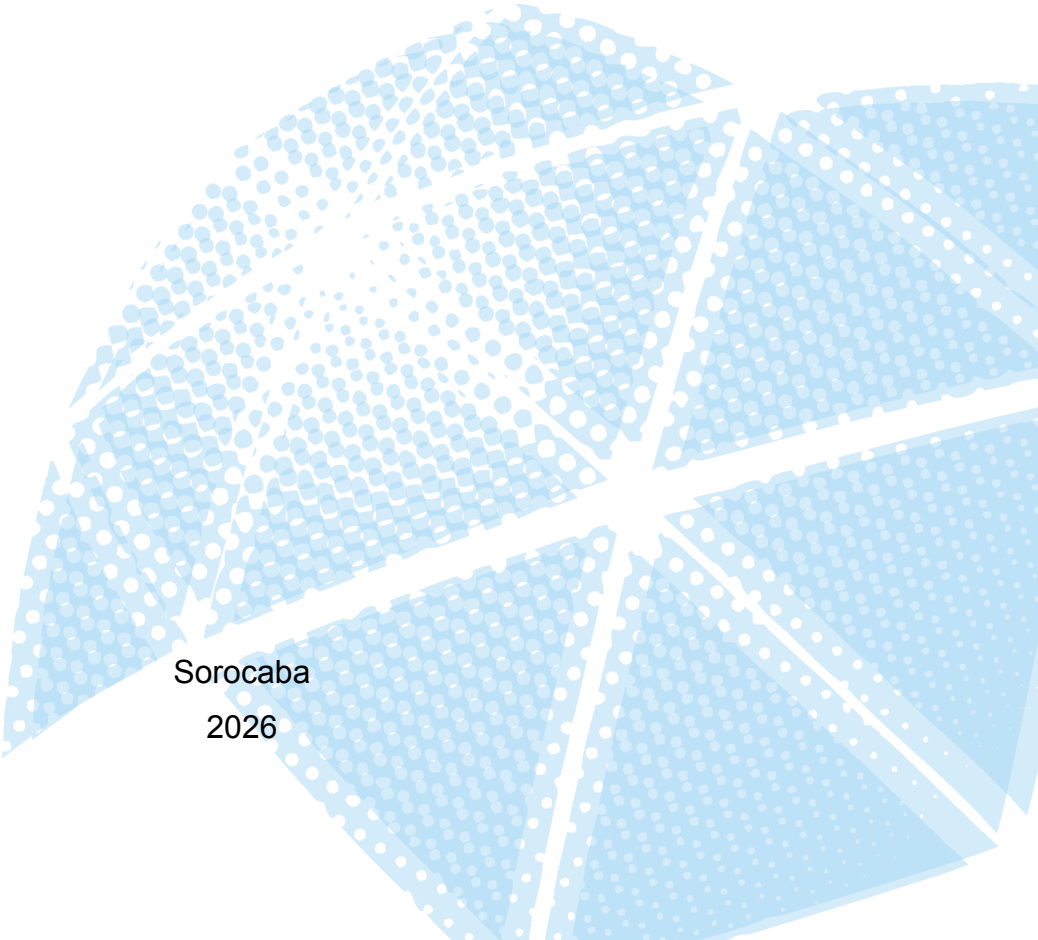


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
Instituto de Ciência e Tecnologia - Campus de Sorocaba

Guilherme Macedo Folchetti

**Internet das Coisas aplicada na automação da irrigação de uma horta
residencial**

Sorocaba
2026



Guilherme Macedo Folchetti

**INTERNET DAS COISAS APLICADA NA AUTOMAÇÃO DA IRRIGAÇÃO DE UMA
HORTA RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel(a) em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador(a): Prof. Dr. Galdenoro Botura Júnior

Sorocaba

2026

F663i

Folchetti, Guilherme Macedo

Internet da Coisas aplicada na automação da irrigação de uma horta residencial / Guilherme Macedo Folchetti. -- Sorocaba, 2026
49 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba

Orientador: Galdenoro Botura Junior

1. Internet das Coisas. 2. Automação Residencial. 3. Computação em nuvem. 4. Plantio (Cultivo de plantas). 5. Microcontroladores. I. Título.

Guilherme Macedo Folchetti

**Internet das Coisas aplicada na automação da irrigação de uma horta
residencial**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e
Tecnologia, Sorocaba, para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia de
Controle e Automação.

Data da defesa: 03/06/2026

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Galdenoro Botura Junior
UNESP - Instituto de Ciência e Tecnologia - Campus de Sorocaba

Prof. Dr. José Roberto Ribeiro Bortoleto
UNESP - Instituto de Ciência e Tecnologia - Campus de Sorocaba

Me. Peterson Willian Pereira Pinheiro
UNESP - Instituto de Ciência e Tecnologia - Campus de Sorocaba

Dedico este trabalho aos meus pais, Flávia e Rodrigo,
por todo apoio durante o curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e suporte na realização deste trabalho e durante os anos de graduação.

Aos meus pais, Rodrigo e Flávia, que me incentivaram a estudar e proveram tudo que fosse necessário para o meu sustento.

Ao meu irmão Fernando, pela amizade e por sempre me lembrar que a vida pode ser mais leve.

Aos meus colegas da república operação, onde morei durante toda a extensão do curso, pelo apoio e companheirismo de sempre.

À minha noiva e companheira de vida Alicia Antonioli, por toda a compreensão e força que me ofereceu para a conclusão deste trabalho.

Por fim, agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Galdenoro Botura Júnior, pela mentoria oferecida durante todo o curso.

“A tecnologia move o mundo”

(Steve Jobs, 1984)

Resumo

Com o aumento populacional das últimas décadas, torna-se importante o debate sobre qualidade dos alimentos produzidos, dessa forma, a fim de evitar o consumo excessivo de agrotóxicos a produção local é uma boa alternativa. No entanto, as casas estão ficando cada vez menores, muitas vezes sem área externa, portanto, o cultivo residencial automatizado torna-se uma opção viável devido ao espaço ocupado e baixo custo. Para este projeto foi utilizado um microcontrolador ESP 32, juntamente com um sensor de umidade do solo capacitivo e um sensor de temperatura e umidade do ar DHT22. Estes dispositivos realizam o controle de uma bomba de 5V, a fim de automatizar a irrigação do cultivo residencial de um manjericão (*Ocimum basilicum*). Para o monitoramento do sistema de irrigação, os dados foram enviados via protocolo MQTT para o banco de dados InfluxDB, que por sua vez foi conectado à aplicação Grafana para criação do dashboard de acompanhamento. O sistema apresentou um custo total de R\$236,56, composto pelo investimento inicial da compra dos componentes. O consumo anual de água encontrado foi de 5 a 7,6 litros, validando a eficácia do protótipo em economia de água.

Palavras-chave: Esp 32; MQTT; automação residencial; manjericão; irrigação inteligente

Abstract

With the population growth of recent decades, the debate surrounding the quality of food production has become crucial; thus, local production serves as a viable alternative to avoid excessive pesticide consumption. However, as residences become increasingly smaller and often lack outdoor space, automated home cultivation emerges as a practical solution due to its compact footprint and low cost. This project employed an ESP32 microcontroller, a capacitive soil moisture sensor, and a DHT22 air temperature and humidity sensor. These devices manage a 5V pump to automate irrigation for a residential basil (*Ocimum basilicum*) crop. For system monitoring, data was transmitted via the MQTT protocol to an InfluxDB database, subsequently connected to a Grafana dashboard for real-time tracking. The system's total cost was R\$ 236.56, comprising the initial component investment. The recorded annual water consumption was between 5 and 7.6 liters, validating the prototype's efficiency in water conservation

Keywords: Esp 32; MQTT; home automation; basil; smart irrigation

Lista de Figuras

Figura 1 - Arquitetura do protocolo MQTT.....	16
Figura 2 - Luminosidade no Ambiente x Luminosidade do LED.....	20
Figura 3 - Esquemático do circuito da estação do tempo.....	21
Figura 4 - Painel Interativo (Dashboard).....	22
Figura 5 - Sistema proposto.....	23
Figura 6 - Lista detalhada de custos dos componentes do projeto.....	24
Figura 7 - Protótipo hardware.....	25
Figura 8 - Dashboard de controle da horta.....	26
Figura 9 - Manjericão (<i>Ocimum basilicum</i>).....	27
Figura 10 - Microcontrolador ESP 32.....	28
Figura 11 - Sensor capacitivo de umidade do solo.....	29
Figura 12 - Sensor ambiental de temperatura e umidade relativa do ar.....	30
Figura 13 - Lógica para conversão da umidade do solo lida de valor analógico para porcentagem.....	31
Figura 14 - Algoritmo de média móvel para estabilizar as medições da umidade do solo.....	31
Figura 15 - Bomba 5V.....	32
Figura 17 - Regulador de tensão LM2596.....	34
Figura 18 - Diagrama de conexões físicas do sistema.....	35
Figura 19 - Arquitetura IoT de transmissão de dados.....	37
Figura 20 - Fluxo de dados na plataforma Node-Red.....	38
Figura 21 - Banco de dados Influx DB.....	39
Figura 22 - Dashboard para monitoramento na plataforma Grafana.....	39
Figura 23 - Sistema completo montado.....	40
Figura 24 - Medição do percentual de umidade do solo em um período de 24h com ativação da bomba.....	42
Figura 25 - Medição do percentual de umidade do solo em um período de 60 dias.....	43
Figura 26 - Periodicidade de ativações da bomba em um espaço de tempo de 60 dias.....	43
Figura 27 - Comparação entre o percentual de umidade do solo com a temperatura média dos dias 23/01/2026 a 06/02/2026.....	44
Figura 28 - Comparação entre o percentual de umidade do solo com a temperatura média dos dias 06/02/2026 a 18/02/2026.....	45
Figura 29 - Tarifas por m3 de água por faixa de consumo mensal na cidade de Sorocaba, na categoria residencial.....	46

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Comparativo Entre TSDB e RDBMS.....	18
Tabela 2 - Detalhamento de custos iniciais do protótipo.....	36

Sumário

1. Introdução.....	13
2. Conceituação.....	14
2.1 Balanço Hídrico e Evapotranspiração.....	14
2.2 Internet das Coisas e Computação de Borda.....	15
2.3 Protocolo de Comunicação e Mensageria (MQTT).....	16
2.4 Bancos de Dados de Séries Temporais (TSDB).....	17
3. Levantamento Bibliográfico.....	18
3.1 Monitoramento e controle de culturas hidropônicas.....	18
3.2 Irrigação automatizada de horta residencial.....	20
3.3 Horta inteligente de baixo custo para plantio de alface, salsa e cebolinha.....	23
3.4 Protótipo de horta indoor com IOT.....	24
4. Metodologia.....	27
4.1 Arquitetura do Sistema e Hardware.....	28
4.2 Calibração e Tratamento de Dados.....	30
4.3 Lógica de Controle e Acionamento.....	31
4.4 Custos do Projeto.....	35
4.5 Ciclo de Operação e Conectividade (IoT).....	37
5. Resultados e Discussão.....	40
5.1 Implementação Física do Protótipo.....	40
5.2 Desempenho da Camada de Conectividade (MQTT e Node-RED).....	41
5.3 Eficácia do Algoritmo de Controle.....	42
5.4 Consumo Hídrico.....	45
6. Conclusão.....	47
7. Referências Bibliográficas.....	48

1. Introdução

Com o avanço da urbanização e a diminuição dos espaços residenciais, torna-se importante o debate sobre hortas residenciais, uma vez que o crescimento populacional aumentará a demanda por alimentos nos próximos anos (GODFRAY, et. al, 2010). Atrélado ao aumento de produção de alimentos e a fim de mantê-los preservados até chegar a mesa do consumidor, atualmente faz-se uso de agrotóxicos na agricultura. Segundo o INCA (2023), são diversos os malefícios que estes produtos podem causar na saúde humana, além do impacto ambiental. Desta forma, as hortas residenciais tornam-se uma alternativa para o consumo seguro de hortaliças em um pequeno espaço.

O termo IoT (*Internet of things*) ou Internet das Coisas foi criado por Kevin Ashton, pesquisador do Instituto de tecnologia de Massachusetts (MIT) em 1999. Kevin e sua equipe iniciaram com uma proposta de um sistema onde os equipamentos poderiam trocar informações sem interferência humana, por meio da internet. Desde então essa tecnologia vem sendo aplicada em diversos dispositivos como televisores, lâmpadas e sistemas de som (GODOI e ARAÚJO, 2019).

A evolução das tecnologias digitais permitiu o surgimento de sistemas inteligentes voltados à agricultura, sendo a Internet das Coisas uma das principais responsáveis pela automação de processos agrícolas. O IoT vem sendo utilizado para diversas finalidades desde a implementação de um sistema inteligente de irrigação com base em sensores meteorológicos até a consulta de doenças agrícolas informadas pelos produtores à especialistas por meio de um sistema de autoatendimento. Tais aplicações provam que a IoT é uma ferramenta capaz de transformar o agronegócio em uma rede de objetos inteligentes (COSTA, OLIVEIRA e MOTA, 2018).

No contexto de hortas residenciais, a aplicação da IoT se destaca por permitir um controle mais preciso de variáveis como a temperatura, umidade do solo e nível de água, promovendo a sustentabilidade e o uso racional dos recursos, uma vez que é amplamente estudado como um sistema de monitoramento de parâmetros (MACHADO, et al., 2020).

Para o processamento dos dados coletados pelos sensores e o controle dos dispositivos atuadores, são utilizadas plataformas embarcadas de baixo custo. Entre as mais comuns estão o Arduino Uno, utilizado principalmente para aplicações com lógica simples, e o ESP8266 ou ESP32, que além de processarem os dados, permitem conectividade Wi-Fi, facilitando a integração com aplicativos móveis e serviços em nuvem, apresentam um bom desempenho e um baixo consumo de energia (RIOS, et.al., 2019).

A integração da IoT com o sistema requer um ambiente para visualização e análise de dados. Diversos trabalhos, como o de Almeida (2013) têm explorado a criação de *dashboards* ou aplicativos móveis que permitem ao usuário monitorar o estado da horta em tempo real e, em alguns casos, interagir com o sistema remotamente. Esses painéis de controle geralmente são desenvolvidos com auxílio de plataformas como Blynk, Node-RED ou até interfaces web personalizadas, permitindo maior acessibilidade e controle mesmo para usuários com pouca familiaridade técnica.

2. Conceituação

2.1 Balanço Hídrico e Evapotranspiração

Para a irrigação eficiente nos sistemas de cultivo, é necessário entender sobre o balanço hídrico do sistema composto pelo solo, planta e atmosfera. O principal fator desta dinâmica é a evapotranspiração, processo biofísico que engloba a perda de água por evaporação direta da superfície do solo e a perda por transpiração dos tecidos vegetais através dos estômatos, como visto em Allen (1998).

A manutenção da umidade do solo em níveis adequados é essencial para evitar que a planta atinja o ponto de murcha permanente, estado em que a tensão de retenção da água pelo solo supera a capacidade de absorção da raiz, resultando em danos fisiológicos irreversíveis (de Jesus, et al., 2020). Neste contexto, a automação baseada em sensores permite o monitoramento direto do potencial hídrico, garantindo a permanência do substrato no estado de Capacidade de

Campo, onde a disponibilidade de água e oxigênio é otimizada para o metabolismo vegetal.

2.2 Internet das Coisas e Computação de Borda

A Internet das Coisas (IoT) é definida como uma infraestrutura global de informação, que possibilita serviços avançados através da conexão de objetos físicos e virtuais, superando as limitações de tempo e a imprecisão do registro manual humano. Conforme dito por Ashton (2009), a essência desta tecnologia reside na transição de uma internet predominantemente alimentada por dados gerados por humanos para uma rede onde os próprios objetos físicos são integrados a sensores e atuadores.

Contudo, a proliferação de dispositivos conectados pode gerar um volume massivo de dados, sobrecarregando as arquiteturas tradicionais de processamento centralizado em nuvem. Para mitigar essa restrição, a computação de borda surge como uma opção que descentraliza o processamento, transferindo-o para pontos próximos à fonte geradora dos dados. Kraus (2021) aponta que essa descentralização reduz o tráfego de dados direcionado aos servidores centrais, aliviando a infraestrutura de rede e otimizando o tráfego.

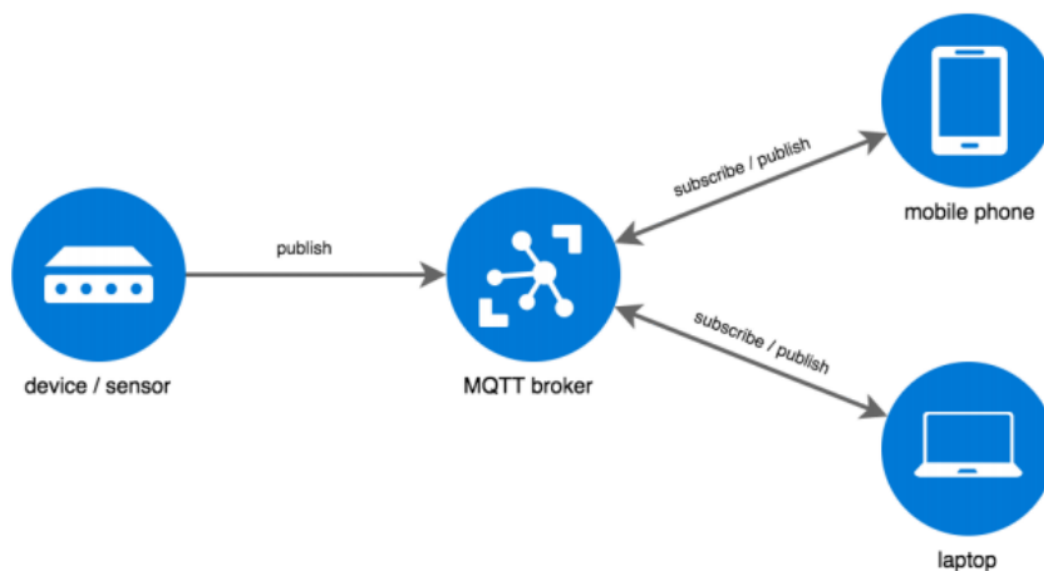
Além disso, a distribuição da capacidade computacional viabiliza requisitos operacionais críticos para sistemas de monitoramento e controle em tempo real, a proximidade física entre a coleta do dado e a execução dos algoritmos resulta em uma redução do tempo de resposta e no aumento da confiabilidade do sistema. Conforme demonstrado por Kraus (2021), a integração da computação de borda com redes de alta conectividade, por exemplo da tecnologia 5G, permite atingir tempos de resposta inferiores a 2 milissegundos, viabilizando a tomada de decisão automatizada em aplicações onde atrasos de comunicação comprometem a segurança ou integridade da operação.

2.3 Protocolo de Comunicação (MQTT)

O *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) é utilizado para o transporte dos dados coletados entre os dispositivos e sistemas. Trata-se de um protocolo de transporte de mensagens padronizado internacionalmente pela ISO/IEC 20922 (2016), que opera sob a arquitetura de publicação/assinatura (*publish/subscribe*) mediada por um servidor central denominado *broker*. Em vez de estabelecerem conexões diretas de cliente para cliente, os dispositivos publicam mensagens associadas a tópicos específicos e o *broker* encarrega-se de distribuir esses dados para todos que assinaram os respectivos tópicos, otimizando o fluxo de informação e desacoplando os emissores dos receptores.

Nesta arquitetura, apresentada na figura 1, o Broker atua como um nó centralizador e distribuidor de informações. A camada que lê o dado (sensor) não tem conexão direta com a camada de armazenamento, o que permite que o fluxo de informações seja orientado a eventos, eliminando a necessidade de verificações constantes o que se traduz em maior eficiência energética para o sistema.

Figura 1 - Arquitetura do protocolo MQTT



Fonte: Koneski, 2018.

2.4 Bancos de Dados de Séries Temporais (TSDB)

Diferente dos sistemas de gerenciamento de bancos de dados relacionais (RDBMS), os bancos de dados de séries temporais (TSDB) são projetados especificamente para o armazenamento de métricas e eventos cujos valores são coletados ao longo do tempo (ELMASRI; NAVATHE, 2018). A estrutura de um TSDB é otimizada para uma alta quantidade de dados e consultas analíticas complexas sobre intervalos temporais.

A indexação baseada em “*timestamps*” permite a análise de tendências históricas e a realização de operações matemáticas, como o cálculo do valor médio, de forma eficiente. No monitoramento do cultivo, essa característica foi utilizada para correlacionar a queda da umidade do solo com as variações térmicas diárias. A tabela 1 exibe a comparação entre os dois modelos de banco de dados

Tabela 1 - Comparativo Entre TSDB e RDBMS

Critério de Comparação	Banco de Dados de Série Temporal (TSDB)	Banco de Dados Relacional (RDBMS)
Dimensão Central	O tempo (timestamp) é o eixo principal e obrigatório de cada registro.	Baseado em relacionamentos e chaves entre tabelas.
Operação Predominante	Altíssimo volume de Escrita contínua. Modificações são raras ou inexistentes.	Equilíbrio entre Leitura, Escrita e Atualizações frequentes de dados.
Tratamento do Dado	Os dados são imutáveis. Preserva-se todo o histórico para análise de tendências.	Os dados são mutáveis. O foco geralmente é refletir e consultar o estado atual do sistema.
Padrão de Consulta	Consultas por intervalos de tempo e agregações em tempo real (ex: médias, máximas por hora).	Consultas complexas baseadas em junções e filtros por múltiplos atributos.
Armazenamento e Retenção	Altamente compactado. Possui políticas nativas de descarte ou compressão automática de dados antigos.	Armazenamento estruturado e normalizado. O crescimento do volume exige estratégias manuais.

Fonte: Autoria Própria, 2026

3. Levantamento Bibliográfico

Abaixo são apresentados trabalhos de automação relacionados à agricultura que serviram de referência para este projeto.

3.1 Monitoramento e controle de culturas hidropônicas

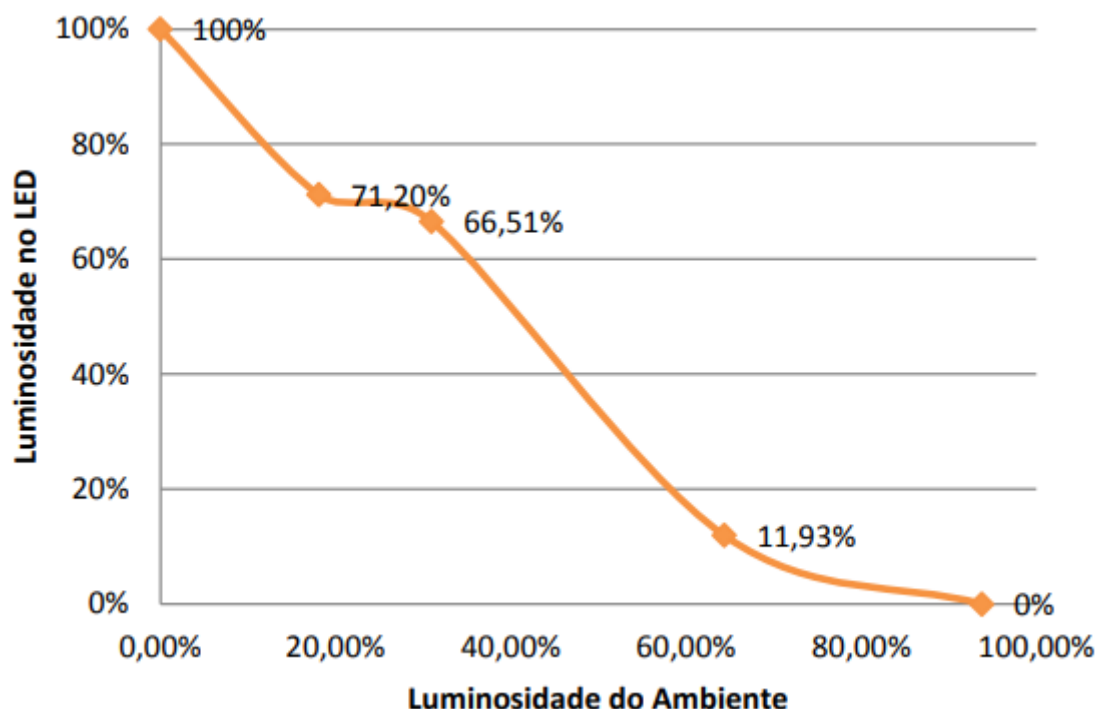
Este trabalho foi desenvolvido para proporcionar a produção de hortaliças fora de seu período normal de crescimento com o menor custo possível, ele

consiste em um protótipo para o monitoramento e controle automático de variáveis críticas em cultivos hidropônicos. O objetivo central é garantir condições ideais de cultivo, uma vez que o controle manual de parâmetros como iluminação, temperatura e umidade demanda atenção constante e está sujeito a falhas humanas, o que pode comprometer a qualidade e o desenvolvimento da produção vegetal (BITENCOURT, 2013).

A estrutura física do sistema é composta por uma estufa equipada com mecanismos de iluminação artificial, ventilação forçada e sistemas de irrigação e aspersão de água. Sensores de umidade (modelos HS1100 e HS1101) e fotoresistores (modelo LDR) são inseridos estrategicamente no ambiente de cultivo para a aquisição de dados em tempo real. Diferente de sistemas puramente mecânicos, a planta utiliza atuadores como ventoinhas e LEDs para ajustar o clima interno, utilizando de circuitos de potência e drivers PWM para o controle (BITENCOURT, 2013).

O trabalho explora a integração entre hardware e software através do ambiente LabView, que atua como sistema supervisor e de instrumentação virtual. O processamento das informações e a tomada de decisão são realizados por meio de inteligência artificial, utilizando a lógica Fuzzy para manter as variáveis sempre próximas aos valores ideais de cultivo. O sistema conta com uma interface homem-máquina que permite a análise automática, garantindo que a intensidade luminosa e a temperatura sejam ajustadas conforme a necessidade detectada pelos sensores.

O controle de iluminação, por exemplo, utiliza a programação Fuzzy para aumentar a intensidade do LED de forma inversamente proporcional à luminosidade do ambiente, buscando um comportamento próximo ao ideal. A figura 2 apresenta os resultados dos testes de iluminação, demonstrando que o sistema respondeu adequadamente. Já no controle de temperatura e umidade, observou-se a necessidade de um Driver PWM para fornecer o pulso de tensão de 10V necessário para o funcionamento das ventoinhas, permitindo uma regulação eficaz da velocidade de rotação e, conseqüentemente, do clima interno da estufa (BITENCOURT, 2013).

Figura 2 - Luminosidade no Ambiente x Luminosidade do LED

Fonte: Bitencourt, 2013.

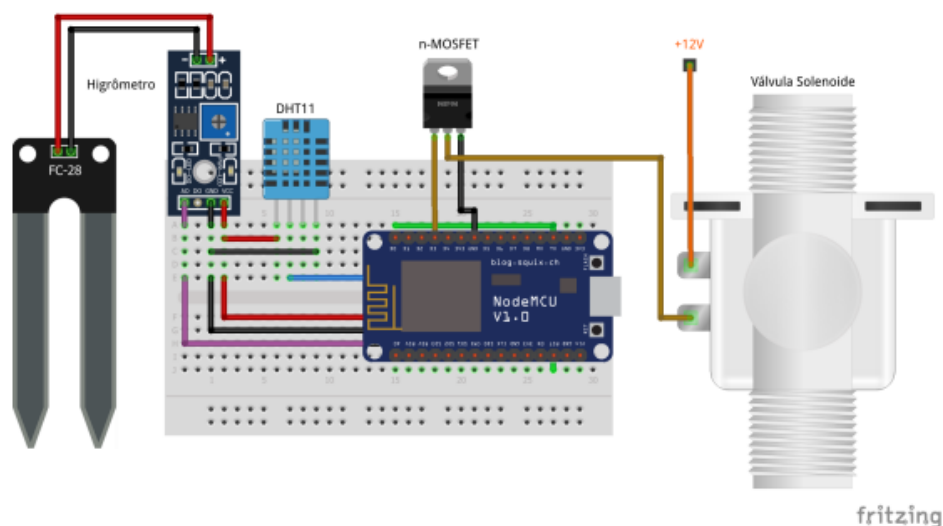
3.2 Irrigação automatizada de horta residencial.

Desenvolveu-se este trabalho para acompanhar a crescente tendência da automação residencial e da Internet das Coisas (IoT), consiste em um sistema de irrigação automatizada focado em hortas domésticas. O objetivo principal é oferecer uma solução compacta e de fácil utilização, que substitua o manejo manual, e garanta a manutenção hídrica adequada sem a necessidade de intervenção constante. Uma vez que o aumento exponencial de dispositivos conectados permite a criação de ambientes inteligentes, a automação de pequenas áreas de cultivo torna-se uma resposta eficiente para otimizar o consumo de água e assegurar o desenvolvimento saudável das plantas (MORO, 2018).

O sistema do protótipo (figura 3) é baseado na plataforma de desenvolvimento NodeMCU, que utiliza o microcontrolador ESP8266 como núcleo de processamento e conectividade Wi-Fi. O sistema de sensoriamento é composto por um sensor DHT11, responsável pela medição da temperatura e umidade relativa do ar, e um higrômetro de solo para a monitorização direta da necessidade de rega.

Para a atuação, o projeto utiliza uma válvula solenóide que controla o fluxo de água, permitindo a abertura e o fechamento do sistema de irrigação de forma eletrônica. Além disso, o trabalho prevê a utilização de células de lítio e reguladores de tensão para garantir a estabilidade elétrica do circuito (MORO, 2018).

Figura 3 - Esquemático do circuito da estação do tempo.



Fonte: Moro, 2018.

O trabalho explora a integração completa entre o hardware e a nuvem, utilizando o protocolo de comunicação MQTT para o tráfego de informações. Os dados recolhidos pelos sensores são enviados para o broker CloudMQTT, que atua como intermediário para uma aplicação móvel desenvolvida no software “IoT MQTT Panel”. Através da interface da figura 4, o utilizador pode monitorizar as variáveis ambientais em tempo real e configurar parâmetros de rega programada. A lógica de controle permite a automação baseada tanto em horários pré-definidos quanto no estado atual da umidade do solo, garantindo uma gestão inteligente e remota do cultivo (MORO, 2018).

Figura 4 - Painel Interativo (Dashboard).



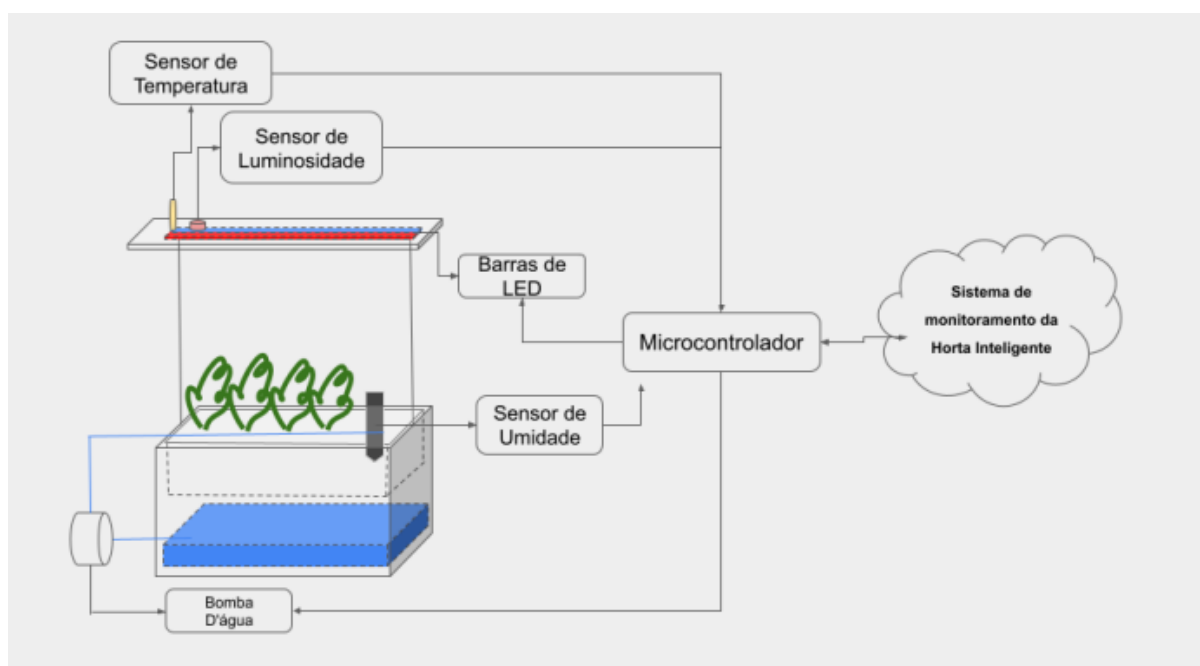
Fonte: Moro, 2018.

Os resultados demonstraram que a implementação do protótipo foi bem sucedida, validando a comunicação entre o ESP8266 e o broker MQTT sem complicações significativas na montagem do hardware. Através de testes práticos, como a programação de rega para as 20h30min com duração de 10 minutos, observou-se a resposta imediata dos atuadores e a precisão na atualização do dashboard interativo. O sistema se mostrou escalável e viável não apenas para o uso residencial, mas também para pequenos produtores rurais que procuram uma solução de agricultura de precisão acessível e de fácil manutenção (MORO, 2018).

3.3 Horta inteligente de baixo custo para plantio de alface, salsa e cebolinha.

Para viabilizar o cultivo urbano e otimizar o desenvolvimento vegetal, este trabalho propõe um sistema de horta automatizada (figura 5) que regula a umidade e a luz de forma autônoma. O objetivo é superar obstáculos do manejo manual, como a falta de tempo e o desperdício de recursos, garantindo eficiência e sustentabilidade no cultivo de hortaliças domésticas (SOUZA, 2024).

Figura 5 - Sistema proposto.



Fonte: Souza, 2024.

A estrutura física da horta foi construída em madeira de pinus e equipada com um sistema de irrigação por mangueiras e dispersores, além de iluminação artificial com fitas de LED azul e vermelho. O hardware baseia-se no microcontrolador ESP8266 (NodeMCU), ligado a sensores de umidade do solo, temperatura (DS18B20) e luminosidade (LDR), utilizando um módulo relé e uma ponte H para o acionamento da bomba d'água e dos LEDs (SOUZA, 2024).

O trabalho explora a integração com a plataforma IoT Blynk para monitorização remota e controle manual via smartphone. A lógica de controle,

desenvolvida em C, gera automaticamente a irrigação e a iluminação conforme os dados recolhidos pelos sensores, permitindo um manejo preciso e flexível do ambiente de cultivo (SOUZA, 2024).

Os resultados validaram a eficácia do protótipo, que manteve as plantas mais saudáveis do que no método tradicional. Com um custo total de R\$169,73 (figura 6) o projeto demonstrou ser uma solução economicamente viável para a democratização da agricultura urbana (SOUZA, 2024).

Figura 6 - Lista detalhada de custos dos componentes do projeto.

Componente	Custo (R\$)
ESP8266	23,37
Sensor de luminosidade	6,90
Módulo Relé	12,26
Sensor de temperatura	13,20
Madeira de pinus da estrutura	14,00
Fita de LED	23,50
Bomba d'água	15,00
Mangueiras de irrigação com dispersores	23,00
Vasos de planta	25,00
Módulo ponte H	5,00
Sensor de umidade do solo	8,50
Total	169,73

Fonte: Souza, 2024

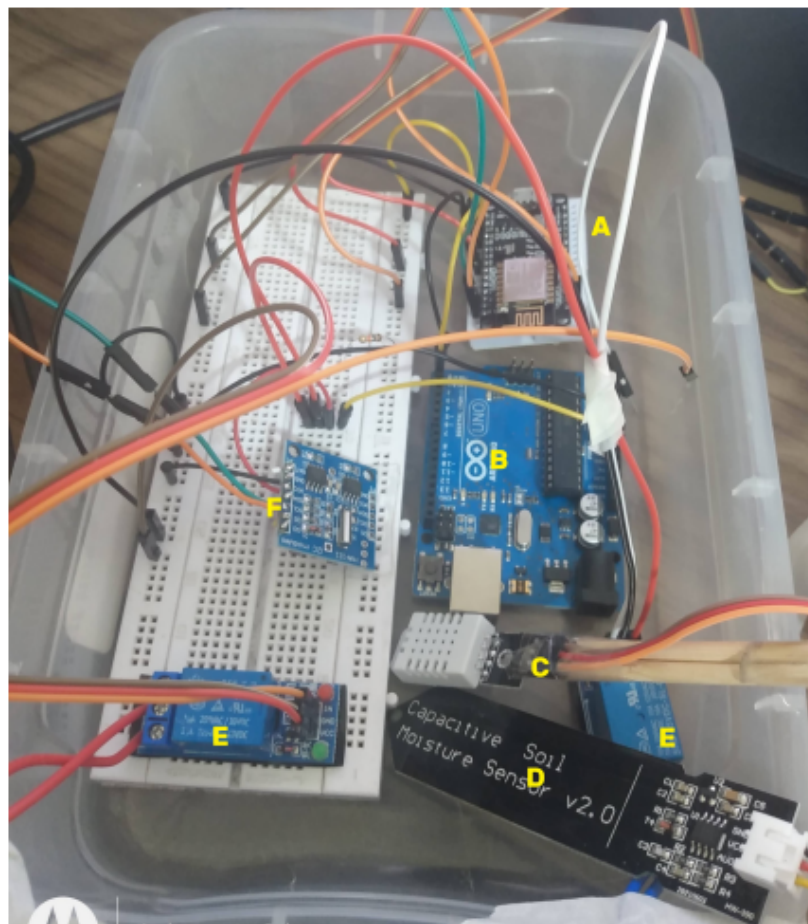
3.4 Protótipo de horta indoor com IOT.

Uma vez que o cultivo em espaços reduzidos e sem luz solar direta apresenta desafios significativos para o utilizador comum, a aplicação de tecnologias de IoT surge como uma solução para automatizar processos críticos e permitir o acompanhamento remoto da produção (SOARES, 2023).

A estrutura física do protótipo (figura 7) foi projetada para ambientes internos, contando com um sistema de iluminação artificial e um sistema de irrigação por

gotejamento. O hardware é baseado no microcontrolador ESP 32, escolhido pela sua conectividade nativa. O sistema integra sensores de temperatura e umidade do ar (DHT22), sensores de umidade do solo e sensores de luminosidade (LDR). Para a atuação, o projeto utiliza uma bomba de água submersível e uma lâmpada LED, acionadas por módulos relé para ajustar o ambiente conforme as necessidades detectadas pelos sensores (SOARES, 2023).

Figura 7 - Protótipo hardware.

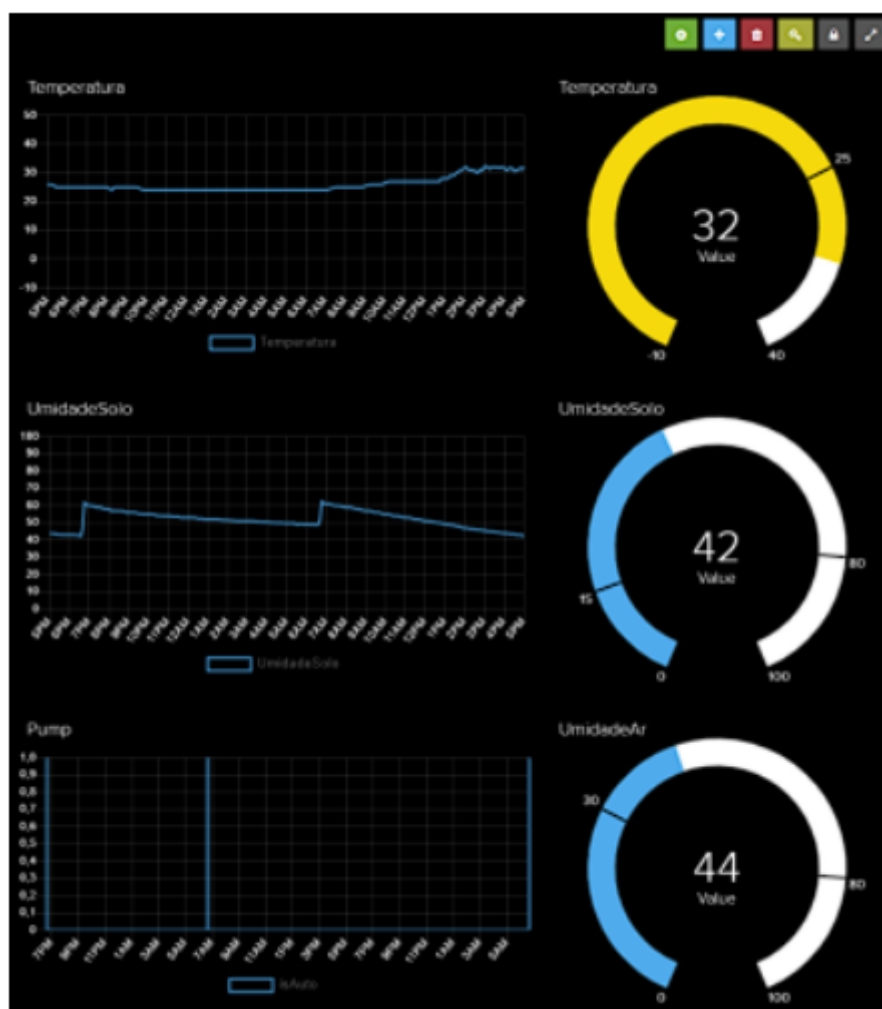


Fonte: Soares, 2023.

O trabalho explora a integração do hardware com a plataforma ThingSpeak, que atua como o sistema de nuvem para a visualização e armazenamento dos dados. A lógica de controle, programada através da Arduino IDE, processa as leituras dos sensores em tempo real e decide o acionamento automático da rega e da luz. A interface IoT, exibida na figura 8, permite que o utilizador acompanhe o

histórico das variáveis através de gráficos, facilitando a gestão do cultivo e garantindo que o sistema responda às variações climáticas dentro do ambiente doméstico (SOARES, 2023).

Figura 8 - Dashboard de controle da horta.



Fonte: Soares, 2023.

Pelo levantamento bibliográfico é possível analisar os projetos já desenvolvidos no tema, assim retirando informações de cada um para desenvolver o presente trabalho. Cada projeto optou por utilizar diferentes componentes e plataformas para a integração do hardware com IoT, dessa forma, é viável comparar os resultados obtidos por método utilizado.

4. Metodologia

Para este trabalho foi utilizado o tipo de pesquisa experimental e aplicada, com abordagem quantitativa. O sistema foi estruturado em três camadas principais: a camada de coleta de dados, composta por sensores de umidade e temperatura; a camada de processamento e controle, centralizada no microcontrolador ESP32; e a camada de supervisão, responsável pela transmissão dos dados via protocolo de comunicação sem fio para monitoramento remoto.

A planta escolhida para cultivo residencial foi o manjeriço da espécie *Ocimum basilicum* (figura 9) devido ao seu baixo custo e alta disponibilidade. Além disso, é um vegetal que prefere um solo mais úmido, facilitando a coleta dos dados.

Figura 9 - Manjeriço (*Ocimum basilicum*).

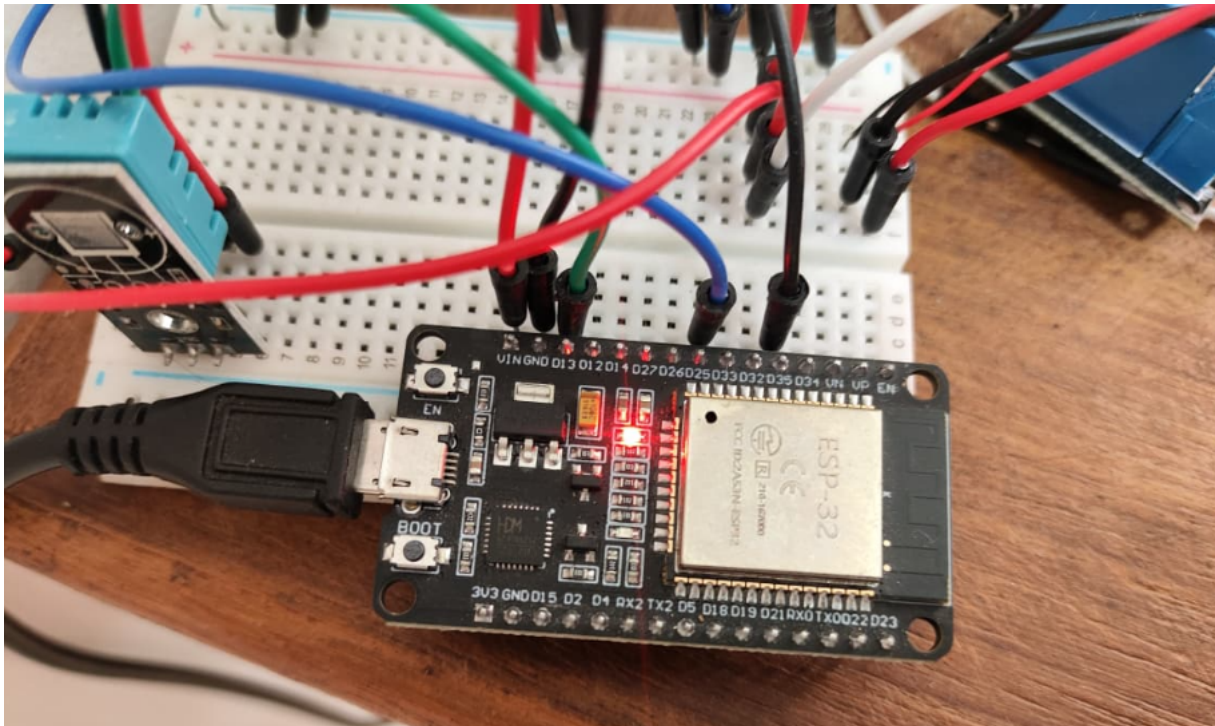


Fonte: Autoria própria, 2026.

4.1 Arquitetura do Sistema e Hardware

Para a implementação do protótipo, utilizou-se o microcontrolador ESP32-WROOM-32, exibido na figura 10, escolhido devido a sua acessibilidade, processamento *Dual-Core*, baixo consumo de energia e conectividade Wi-Fi nativa.

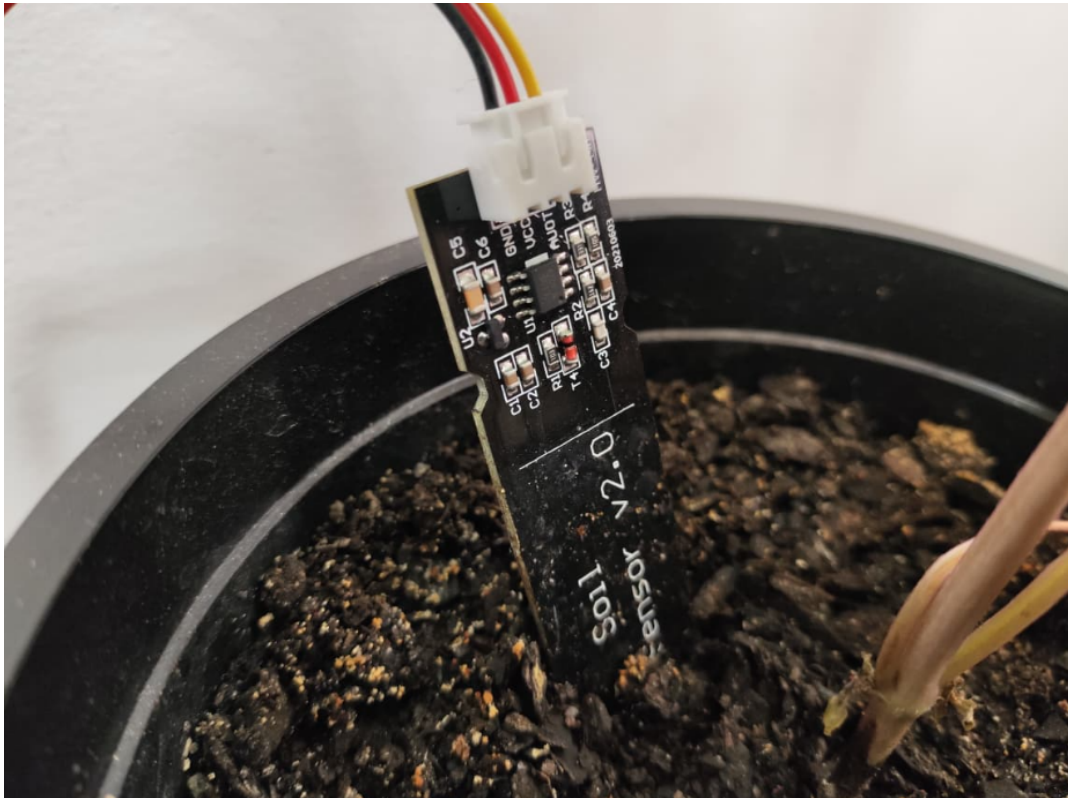
Figura 10 - Microcontrolador ESP 32.



Fonte: Autoria própria, 2026.

A coleta de dados do solo foi realizada por meio de um sensor de umidade capacitivo (figura 11), posicionado próximo a raiz da planta. A escolha pelo modelo capacitivo justifica-se pela sua resistência à oxidação e corrosão, problema comum em sensores resistivos de baixo custo.

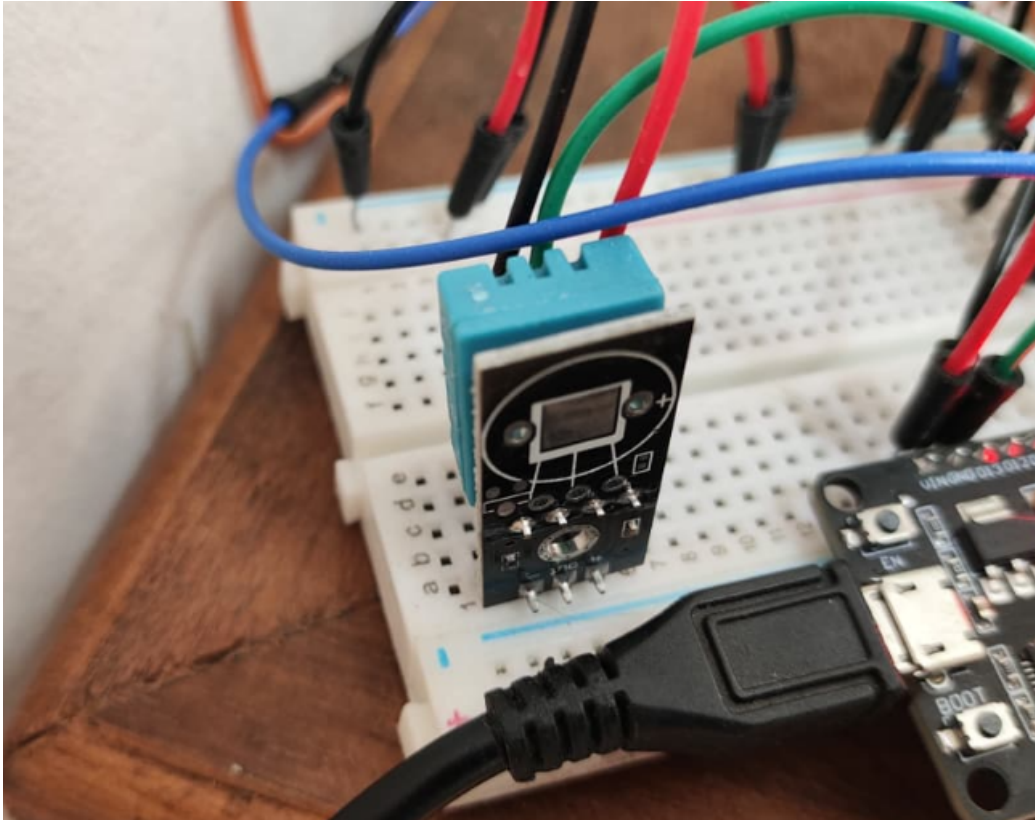
Figura 11 - Sensor capacitivo de umidade do solo.



Fonte: Autoria própria, 2026.

Para a aferição da temperatura e umidade relativa do ar foi utilizado um sensor DHT22 (figura 12) fornecendo variáveis ambientais que auxiliam na compreensão do funcionamento do sistema.

Figura 12 - Sensor ambiental de temperatura e umidade relativa do ar.



Fonte: Autoria própria, 2026.

4.2 Calibração e Tratamento de Dados

Devido à variabilidade inerente aos componentes eletrônicos, o sensor de umidade do solo foi submetido a um processo de calibração individual. Foram estabelecidos os valores de limite da leitura analógica para o estado de solo seco (exposição ao ar) e solo saturado (exposição à água). A conversão dos sinais brutos em valores percentuais foi realizada através da aplicação de uma função de mapeamento linear, expressa pela Equação (1):

$$U_s(\%) = \frac{V_{lido} - V_{seco}}{V_{sat} - V_{sco}} (1)$$

Onde V_{lido} representa a tensão instantânea lida pelo conversor analógico-digital (ADC) da ESP32, enquanto V_{seco} e V_{sat} representam as constantes

obtidas durante a fase de calibração, a figura 13 apresenta como a lógica é aplicada na programação.

Figura 13 - Lógica para conversão da umidade do solo lida de valor analógico para porcentagem.

```
float usp = map(us,2950,1050,0,100);
usp = constrain(usp,0,100);
```

Fonte: Autoria própria, 2026.

Para garantir a estabilidade das leituras e mitigar ruídos eletromagnéticos, foi criado um algoritmo de média móvel, que processa dez amostras consecutivas, com um intervalo de 0,1 segundos entre cada medição antes de definir o valor final da variável, como pode ser visto na figura 14.

Figura 14 - Algoritmo de média móvel para estabilizar as medições da umidade do solo.

```
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    float leituraus = analogRead(35);
    somaus += leituraus;
    delay(100); // intervalo entre leituras
}
float us = somaus / 10.0;
```

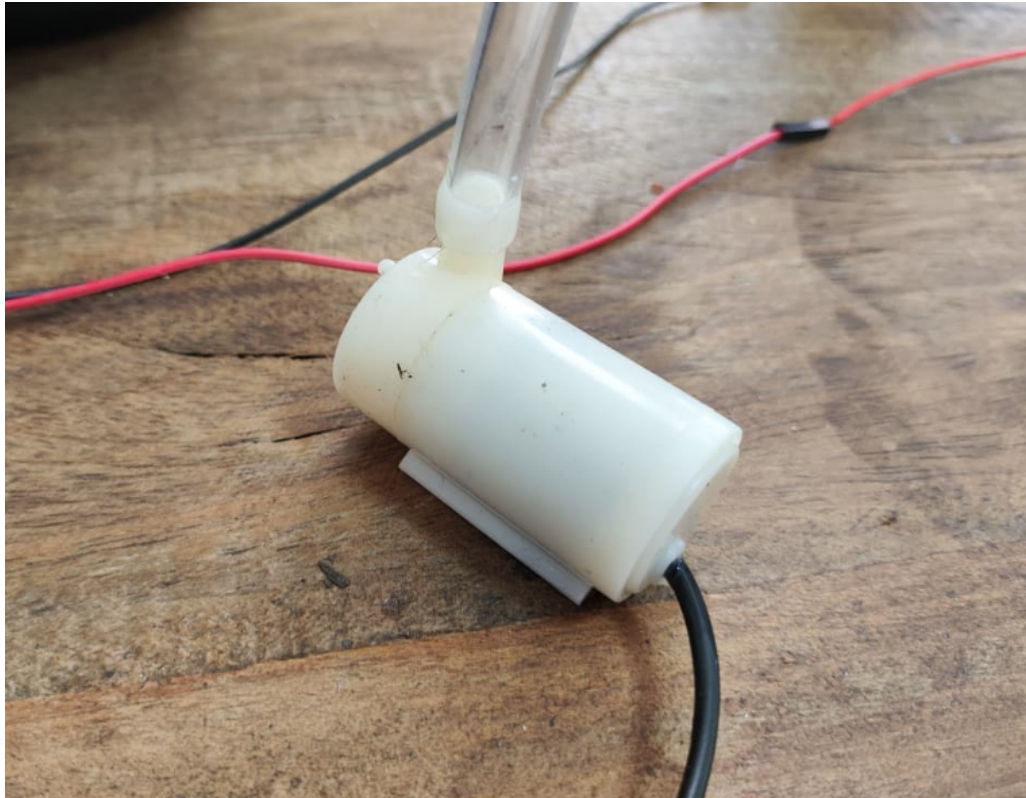
Fonte: Autoria própria, 2026.

4.3 Lógica de Controle e Acionamento

O sistema de irrigação opera em malha fechada, com o controle baseado no *feedback* em tempo real do sensor de umidade. A irrigação é acionada quando o valor lido atinge um limite crítico (*setpoint*) predefinido, que pode ser ajustado conforme a espécie monitorada.

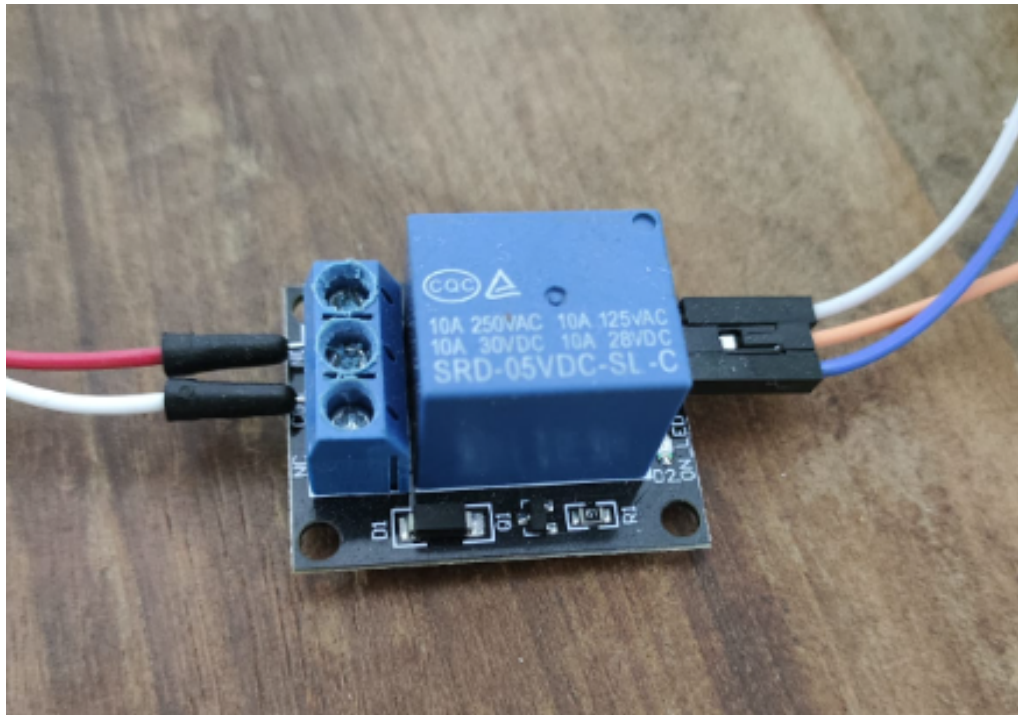
O acionamento físico é feito por uma motobomba periférica (figura 15) alimentada por uma bateria formada por 4 pilhas de 1,5V, e controlada pela ESP32 via um módulo relé de 5V (figura 16).

Figura 15 - Bomba 5V.



Fonte: Autoria Própria, 2026.

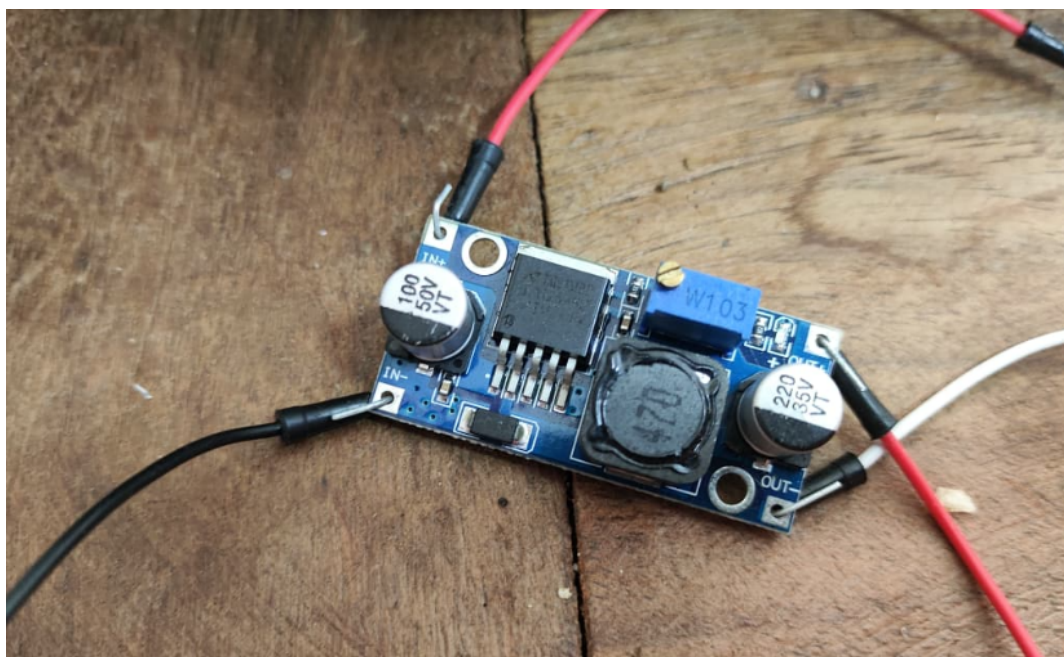
Figura 16 - Módulo relé 5V de 1 canal.



Fonte: Autoria própria, 2026.

Para corrigir a tensão fornecida pela bateria de 6V para 5V, utilizou-se um regulador de tensão “*step-down*” LM2596, apresentado na figura 17, necessário para o funcionamento correto do relé.

Figura 17 - Regulador de tensão LM2596.

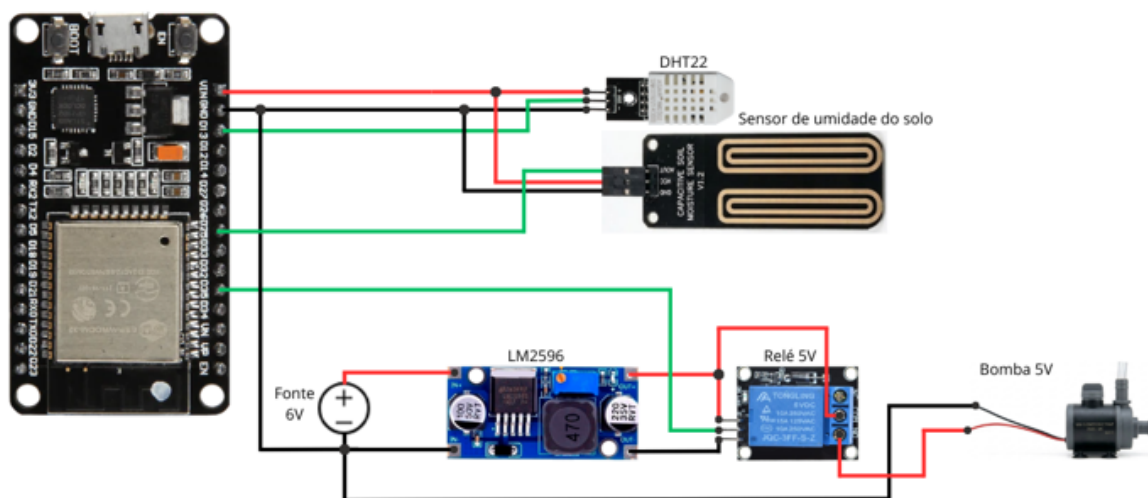


Fonte: Autoria própria, 2026.

A Figura 18 ilustra o diagrama completo das conexões físicas do protótipo, evidenciando a topologia de rede de sensores e atuadores centrada no microcontrolador, o sensor capacitivo de umidade do solo é interfaceado ao pino de propósito geral (GPIO) 25, enquanto o sensor DHT22 ao GPIO 13. No estágio de saída, o GPIO 35 comanda o acionamento do módulo relé, que atua como chaveador isolado para a alimentação da motobomba submersível.

No diagrama, é possível visualizar as duas alimentações do sistema, os sensores são alimentados por 3,3V fornecidos pela ESP 32, já a camada de saída é alimentada por uma fonte externa que junto com o regulador de tensão fornece os 5V necessários.

Figura 18 - Diagrama de conexões físicas do sistema.



Fonte: Autoria própria, 2026.

Para prevenir o desgaste precoce dos componentes e o acionamento repetitivo do relé, o sistema inicia a irrigação ao detectar umidade abaixo do limite estabelecido e mantém o fluxo ativo um tempo predeterminado, neste trabalho utilizou-se 10 segundos.

4.4 Custos do Projeto

A Tabela 1 apresenta o detalhamento do custo relativo aos componentes de hardware e materiais biológicos utilizados para a consolidação do protótipo, totalizando um investimento inicial de R\$236,56.

Tabela 2 - Detalhamento de custos iniciais do protótipo.

Item	Modelo/Especificação	Função	Custo
Microcontrolador	ESP32-WROOM-32 (DevKitC)	Processamento central, conexão Wi-Fi e execução do protocolo MQTT.	R\$ 45,45
Sensor de Umidade do Solo	Capacitivo v1.2 (Anticorrosivo)	Mensuração da constante dielétrica do solo para inferir a umidade.	R\$ 19,00
Sensor Ambiental	DHT22 (AM2302)	Coleta de temperatura (-40 a 80°C) e umidade relativa do ar.	R\$ 16,50
Atuador	Módulo Relé 5V (1 Canal)	Chaveamento da carga (bomba) com isolamento por optoacoplador.	R\$ 19,01
Elemento de Saída	Mini Bomba Submersível (3-6V DC)	Execução física da irrigação via bombeamento de água.	R\$ 44,09
Estrutura	Jumpers e Protoboard	Interconexão elétrica entre os sensores e o microcontrolador.	R\$ 50,78
Fonte Bomba	Fonte + 4 Pilhas 1,5V	Alimentação dedicada ao relé e ativação da bomba	R\$ 20,00
Regulador de Tensão	LM2596	Ajusta a tensão da bateria para 5V, garantindo o funcionamento correto do Relé	R\$ 06,83
Planta	Muda de Manjericão <i>Ocimum basilicum</i>	Muda para teste do protótipo e coleta de dados ambientais	R\$ 14,90

Fonte: Autoria própria, 2026.

Como observado na tabela 1 a composição dos custos é equilibrada entre o microcontrolador, sensores e atuadores, o que é positivo para a viabilidade econômica do projeto, já que a intenção foi utilizar dispositivos de baixo custo e facilmente encontrados no mercado nacional.

Em Souza (2024) foi visto um custo total de componentes de R\$169,73, como essa diferença é dada principalmente pela redução no custo da bomba d'água e na ausência de jumpers e protoboard no relatório, o custo total encontrado de R\$236,56 pode ser considerado baixo, principalmente ao considerar que os softwares utilizados são todos gratuitos.

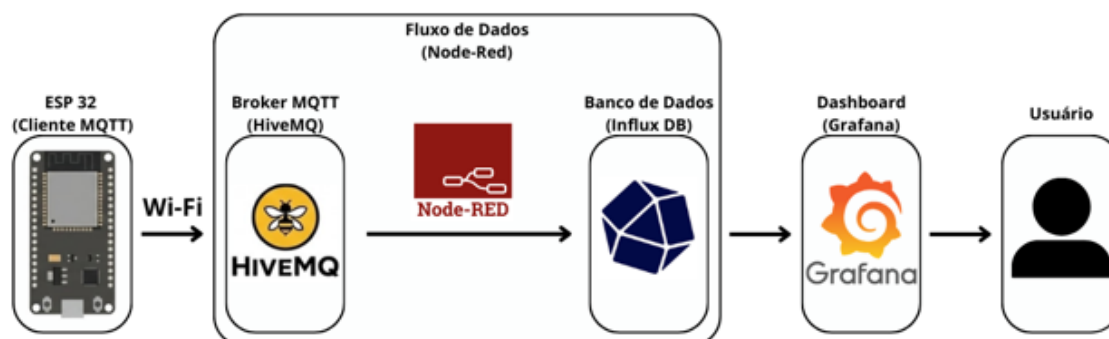
4.5 Ciclo de Operação e Conectividade (IoT)

A programação foi desenvolvida para operar em ciclos de monitoramento contínuo. A cada intervalo de tempo determinado, a ESP 32 realiza a leitura dos sensores, processa a lógica de controle e executa o envio dos pacotes de dados para a nuvem via protocolo MQTT. As informações enviadas são: umidade, percentual do solo, temperatura, umidade relativa do ar e estado atual da bomba.

Esta etapa permite o acionamento automático e também o registro histórico das variáveis ambientais, possibilitando a análise posterior da eficiência do sistema e do consumo hídrico da horta residencial.

Para armazenamento e visualização dos dados gerados pelos sensores, foi implementada uma infraestrutura baseada no conceito de “*stack*” de código aberto, composta pelas plataformas Node-RED, InfluxDB e Grafana. Na figura 19 é apresentado o diagrama da arquitetura.

Figura 19 - Arquitetura IoT de transmissão de dados.



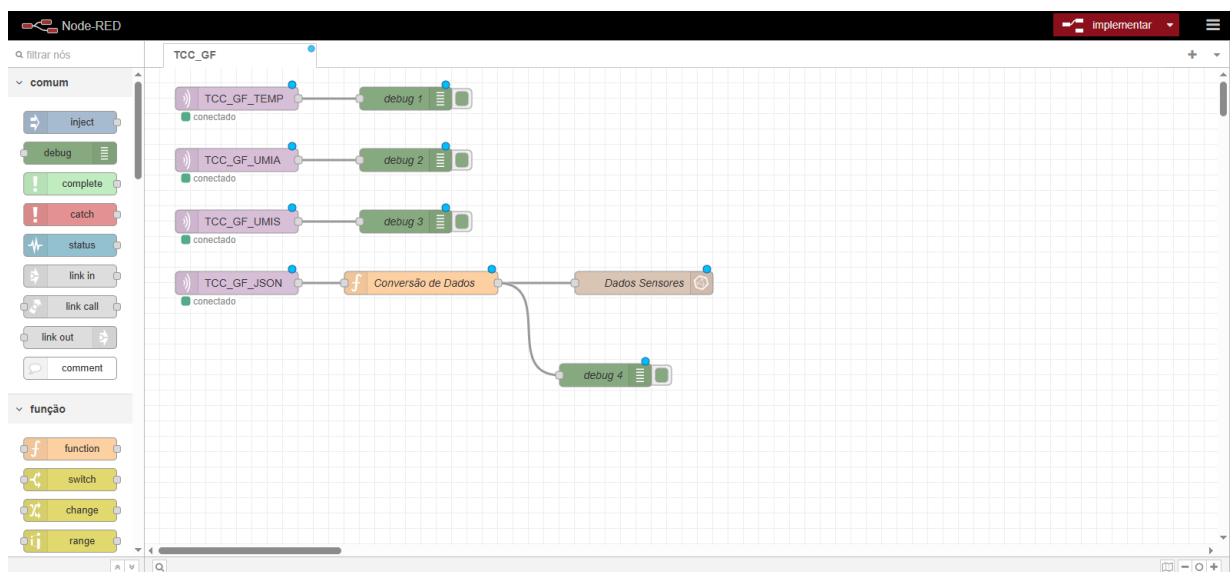
Fonte: Autoria própria, 2026.

Para integrar os diferentes protocolos e serviços foi implementada uma camada de “Middleware” que atua como uma interface que facilita a comunicação entre o hardware e o banco de dados ou dashboard.

Esta camada é responsável por converter as cargas úteis ou “*payloads*” brutas provenientes dos dispositivos de campo em estruturas de dados padronizadas, como o formato JSON. O Node-RED (figura 10) foi utilizado como a

camada de “*middleware*”, a plataforma recebe os dados enviados pela ESP 32 via protocolo MQTT, esses são processados e enviados para o banco de dados. Por possuir uma interface baseada em fluxo, o Node-RED permite uma integração ágil entre o hardware e o banco de dados.

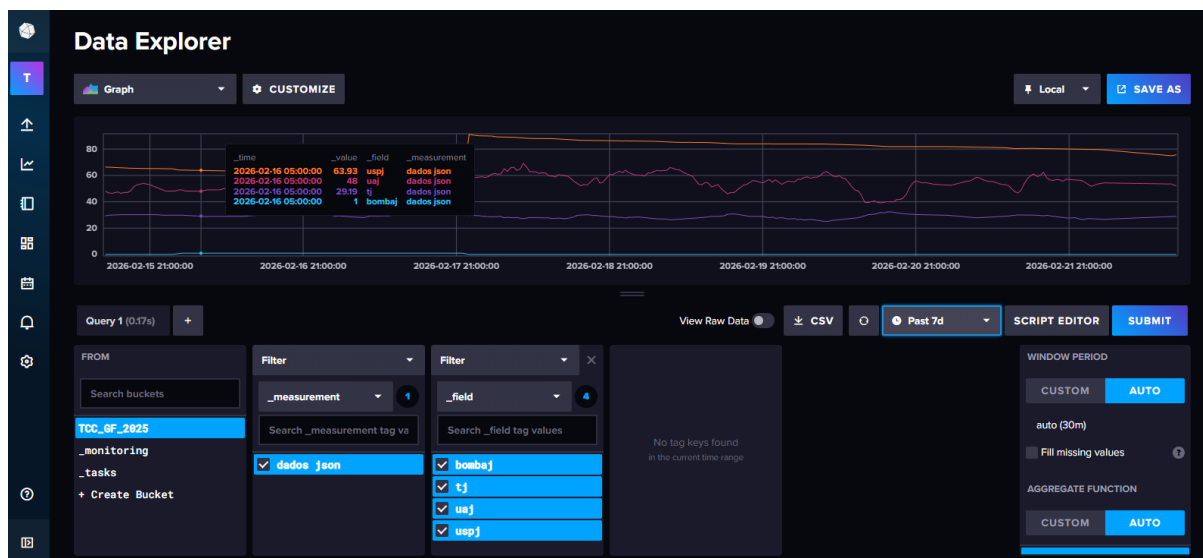
Figura 20 - Fluxo de dados na plataforma Node-Red.



Fonte: Autoria própria, 2026.

Para o armazenamento dos dados utilizou-se o Influx DB, apresentado na figura 21, um banco de dados otimizado para séries temporais. Diferente de bancos de dados relacionais convencionais, o Influx DB permite o armazenamento de medições com estampas de tempo (*timestamps*), o que é ideal para o monitoramento da umidade do solo e da temperatura para futura análise dos dados coletados.

Figura 21 - Banco de dados Influx DB.



Fonte: Autoria própria, 2026.

A camada de apresentação e análise de dados foi desenvolvida no Grafana (figura 22) pois essa plataforma se integra facilmente com o banco de dados InfluxDB. Nela foram criados gráficos para acompanhar a variação da umidade do solo e do ar, da temperatura e do estado de funcionamento da bomba. O Grafana possibilita a análise histórica dos dados coletados e personalização do dashboard.

Figura 22 - Dashboard para monitoramento na plataforma Grafana.



Fonte: Autoria própria, 2026.

4.6 Escalabilidade do sistema.

A arquitetura proposta apresenta características inerentes de escalabilidade horizontal. Devido ao modelo de comunicação *Publish / Subscribe*, novos nós de sensores e atuadores podem ser integrados à rede sem a necessidade de reestruturação do *middleware* Node-RED ou do banco de dados InfluxDB.

Para a expansão em cultivos de maior porte, o sistema permite a implementação da setorização da irrigação, onde pode ser utilizado válvulas solenóides individuais controladas por um único *broker* MQTT, permitindo que diferentes espécies recebam irrigações específicas conforme suas necessidades hídricas.

Ainda, devido a computação de borda, o uso do ESP32 possibilita que parte da lógica de decisão, como o desligamento de emergência em caso de vazamento, ocorra localmente, reduzindo a dependência da rede e aumentando a robustez do sistema.

5. Resultados e Discussão

5.1 Implementação Física do Protótipo

Os dados foram coletados em um protótipo de horta residencial durante o período de 60 dias, permitindo validar a estabilidade da conexão MQTT e a precisão da lógica de controle. A montagem do hardware seguiu o apresentado na metodologia.

O protótipo foi instalado em um vaso de 15cm de diâmetro e 12cm de altura, com o sensor capacitivo de umidade posicionado na região central radicular da planta. A figura 23 ilustra a disposição do hardware.

Figura 23 - Sistema completo montado.



Fonte: Autoria própria, 2026.

Durante os testes, o sensor capacitivo manteve leituras estáveis, sem apresentar sinais de oxidação, confirmando a superioridade deste modelo em relação aos sensores resistivos convencionais para uso prolongado.

5.2 Desempenho da Camada de Conectividade (MQTT e Node-RED)

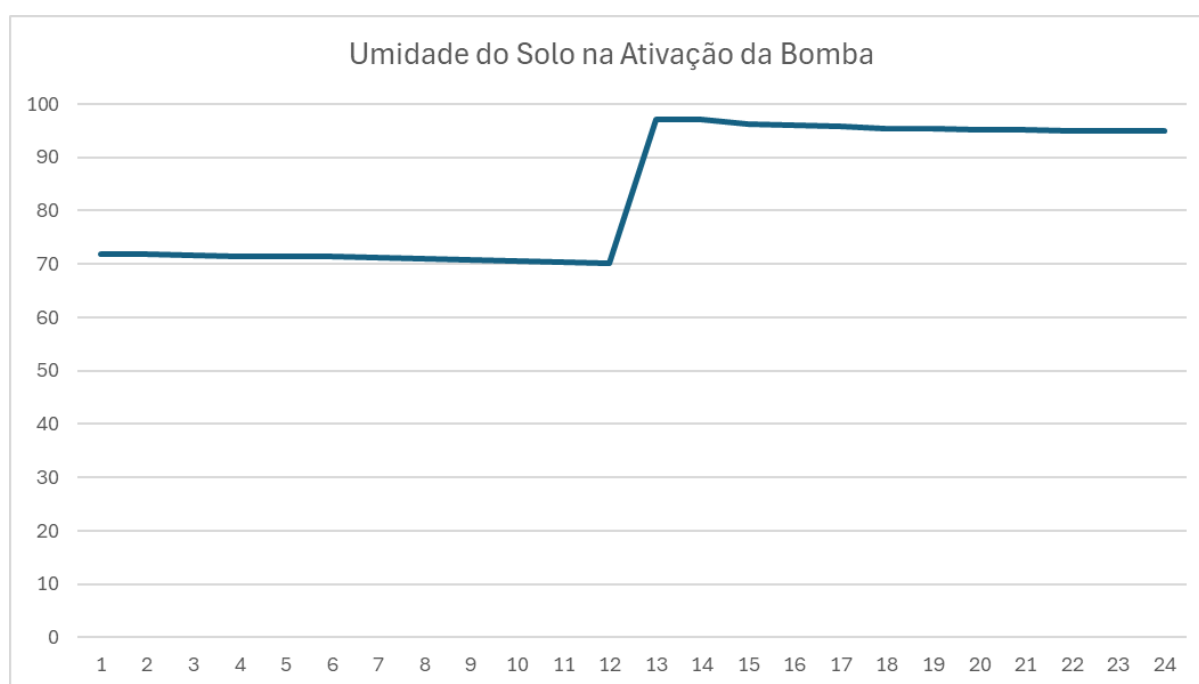
Assim como visto em Moro (2018), o protocolo MQTT demonstrou-se eficaz para a aplicação, mantendo a conexão ativa mesmo em momentos de oscilação do sinal Wi-Fi residencial e reconectando rapidamente quando a conexão era perdida. Ainda, como os dados foram enviados em intervalos de 10 segundos, a falha no envio de algumas coletas não impactou no resultado obtido.

No Node-RED, verificou-se que o sistema foi capaz de lidar com o volume de dados enviados a cada 10 segundos sem sobrecarregar o banco de dados InfluxDB,

garantindo a integridade das séries temporais e possibilitando a análise dos resultados.

Na Figura 24, observa-se o comportamento da umidade do solo ao longo de 24 horas, nota-se um declínio gradual do percentual de umidade medido pelo sensor durante o dia (devido à evapotranspiração) e o pico de subida imediato no momento em que a lógica de automação aciona a bomba, o que ocorre quando o sensor lê uma umidade igual ou inferior a 70%.

Figura 24 - Medição do percentual de umidade do solo em um período de 24h com ativação da bomba.



Fonte: Autoria própria, 2026.

Este valor de referência de 70% de umidade do solo foi escolhido de acordo com as condições ideais da planta, nesse caso o manjeriço *Ocimum basilicum*, que prefere ambientes úmidos porém não encharcados e apresenta melhores resultados quando a reposição hídrica é de 100% (DUARTE, 2022).

5.3 Eficácia do Algoritmo de Controle

As figuras 25 e 26 apresentam o funcionamento do sistema em um período de 60 dias e demonstram que a bomba foi acionada sempre que o valor lido pelo sensor de umidade atingiu o limite de 70% , permanecendo ligada por 10 segundos

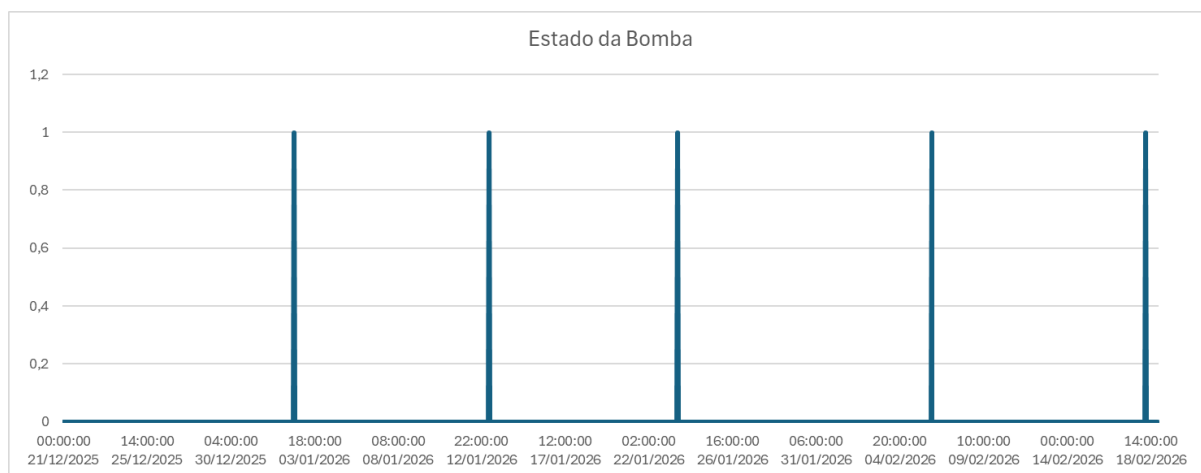
em cada acionamento. Este comportamento evitou o estresse hídrico da planta e, simultaneamente, impediu o desperdício de água por excesso de rega, cumprindo o objetivo principal da automação residencial proposta.

Figura 25 - Medição do percentual de umidade do solo em um período de 60 dias.



Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 26 - Periodicidade de ativações da bomba em um espaço de tempo de 60 dias.

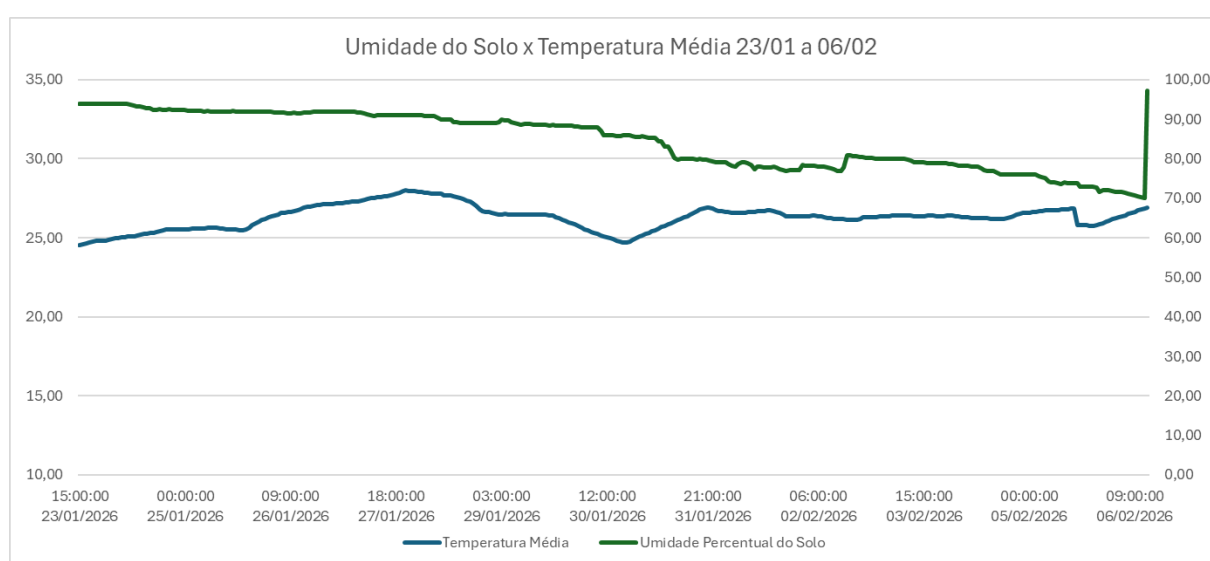


Fonte: Autoria própria, 2026.

Conforme observado nas figuras 25 e 26, em um período de 60 dias foram registradas cinco ativações da bomba, dessa forma cada ativação ocorre em média a cada 12 dias, ou seja, 30,42 ativações por ano.

No entanto, a periodicidade das ativações tem uma relação direta com a temperatura do ambiente, a figura 27 mostra a temperatura e umidade do solo registrada do dia 23/01 a 06/02, onde a média foi de 26,26°C, apresentando um intervalo de 14 dias entre ativações.

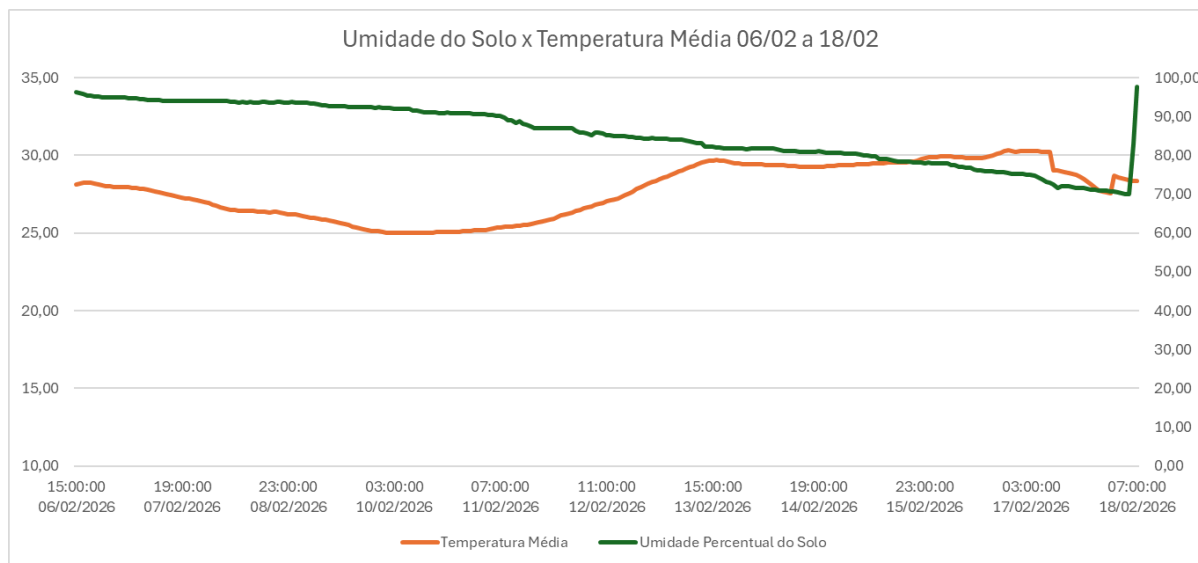
Figura 27 - Comparação entre o percentual de umidade do solo com a temperatura média dos dias 23/01/2026 a 06/02/2026.



Fonte: Autoria própria, 2026.

Quando a temperatura média registrada foi de 27,81°C, o intervalo entre as ativações da bomba reduziu para 12 dias, como apresentado na figura 28 que mostra os dias 06/02 a 18/02.

Figura 28 - Comparação entre o percentual de umidade do solo com a temperatura média dos dias 06/02/2026 a 18/02/2026.



Fonte: Autoria própria, 2026.

5.4 Consumo Hídrico

De acordo com a especificação da bomba sua vazão é de 1000 a 1500 ml/min, ou 16,7 a 25 ml/s, desta forma cada ativação de 10 segundos utiliza 167 a 250 ml de água e, por ano, o consumo hídrico do sistema seria de 5,08 a 7,60 litros, como exemplificado na equação (2).

$$\frac{1000 \text{ a } 1500 \text{ ml/min}}{60} = 16,7 \text{ a } 25 \text{ ml/s}$$

$$16,7 \text{ a } 25 \text{ ml/s} * 10 \text{ s} = 167 \text{ a } 250 \text{ ml por ativação}$$

$$167 \text{ a } 250 \text{ ml} * 30,42 = 5,08 \text{ a } 7,60 \text{ L (2)}$$

De acordo com a resolução ARES-PCJ Nº 624, de 06 de maio de 2025, disponível no site do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba (SAAE) as tarifas por m^3 de água podem variar de R\$3,17 a R\$15,21 na categoria residencial, como informa a figura 29.

Figura 29 - Tarifas por m^3 de água por faixa de consumo mensal na cidade de Sorocaba, na categoria residencial.

CATEGORIA RESIDENCIAL				
Faixas de Consumo	Tarifas			
	Água	Esgoto	Total	Unidade
De 0 a 10 (Mínimo)	21,13	19,55	40,68	R\$/mês
De 11 a 15	3,17	2,93	6,10	R\$/m ³
De 16 a 20	4,62	4,27	8,89	R\$/m ³
De 21 a 25	6,70	6,20	12,90	R\$/m ³
De 26 a 30	7,38	6,83	14,21	R\$/m ³
De 31 a 40	7,73	7,15	14,88	R\$/m ³
De 41 a 50	8,13	7,52	15,65	R\$/m ³
De 51 a 75	8,55	7,91	16,46	R\$/m ³
De 76 a 100	8,76	8,10	16,86	R\$/m ³
De 101 a 200	10,51	9,72	20,23	R\$/m ³
De 201 a 300	12,61	11,66	24,27	R\$/m ³
Acima de 300	15,12	13,99	29,11	R\$/m ³

Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba (SAAE), 2025.

Dessa forma, o custo hídrico anual do sistema pode ser encontrado ao multiplicar o consumo anual convertido para metro cúbico pelo custo do m^3 , como apresentado na equação (3).

$$\frac{5,08 \text{ a } 7,60 \text{ l}}{1000} = 0,00508 \text{ a } 0,00760 \text{ m}^3$$

$$0,00508 \text{ a } 0,00760 \text{ m}^3 * 3,17 \text{ R\$} = 0,016 \text{ a } 0,024 \text{ R\$/ano na tarifa mais baixa}$$

$$0,00508 \text{ a } 0,00760 \text{ m}^3 * 15,12 \text{ R\$} = 0,076 \text{ a } 0,115 \text{ R\$/ano na tarifa mais alta}$$

$$\text{Em média} = 0,057 \text{ R\$/ano ou aproximadamente 6 centavos de real por ano (3)}$$

O consumo hídrico real varia de uma forma diretamente proporcional com a temperatura do ambiente, como pode ser visto nas figuras 27 e 28, e com isso o valor gasto por ano também pode variar. No entanto, o investimento financeiro por ano encontrado é de aproximadamente 0,025% do investimento inicial. Desta forma, ainda que a evapotranspiração do sistema ao longo do ano seja mais intensa do que o observado, o custo hídrico ainda poderia ser considerado irrisório.

6. Conclusão

Do ponto de vista da sustentabilidade e viabilidade econômica, o protótipo apresentou bons resultados, o consumo hídrico encontrado de 5,08 a 7,60 litros por ano representa um uso racional de água, garantindo que o solo fique nas condições ideais para a planta e evitando o desperdício de água. O custo operacional hídrico estimado de R\$0,06 por ano somado ao investimento inicial de R\$236,56 posiciona o sistema como uma solução acessível para a agricultura urbana, especialmente em ambientes residenciais com restrição de espaço.

A eficácia do sistema foi comprovada pela lógica de controle em malha fechada que manteve a umidade do solo consistentemente acima do limite de 70%, evitando o estresse hídrico da planta e garantindo seu desenvolvimento saudável. A escolha do sensor de umidade capacitivo mostrou-se superior aos modelos resistivos convencionais, apresentando estabilidade nas leituras e total ausência de processos oxidativos. Ainda, a utilização do protocolo MQTT para envio dos dados se mostrou resiliente com reconexões automáticas eficientes o que evitou a perda de dados por períodos relevantes.

Apesar dos resultados positivos, durante a execução do projeto foram identificadas oportunidades de melhorias para trabalhos futuros. Recomenda-se a expansão do sistema para o monitoramento de múltiplas culturas simultâneas com necessidades hídricas distintas, o que exigiria a implementação de mais sensores e atuadores para testar o sistema com uma maior quantidade de dados e decisões. Outra sugestão é o possível uso de um Raspberry no lugar do microcontrolador, esta troca aumentaria o custo do projeto, porém permitiria o processamento dos programas como o Node-Red e o banco de dados no próprio dispositivo, melhorando o desempenho do sistema

Em suma, a implementação deste protótipo valida a aplicação da computação de borda e do IoT como ferramentas essenciais para a modernização do cultivo doméstico, contribuindo para a segurança alimentar e para o incentivo à produção local sem agrotóxicos.

7. 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, 1998.

ASHTON, K. That 'Internet of Things' Thing, RFID Journal, 2009.

BITENCOURT, B. C. B. Monitoramento e Controle de Estufas Hidropônicas. Universidade Estadual Paulista. Campus Sorocaba. Engenharia de Controle e Automação, 2013.

COSTA, C. L.; OLIVEIRA, L. G. L.; MOTA, L. M. S. Internet das Coisas (IoT): Um Estudo Exploratório em Agronegócios. Simpósio da Ciência do Agronegócio. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

DE JESUS, C. D.; VILELA, M. da S.; DOS SANTOS, L. N. S. BUENO BORGES, A. C.; DOS SANTOS, M. V. Automação de Sistema de Irrigação Baseado na Umidade do Solo, Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 1, p. 4507–4511, 2020.

DUARTE, J. C. S. Regimes Hídricos e Coberturas de Solo na Produção de Manjerição. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista. Campus Jaboticabal, 2022.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. Sistemas de Banco de Dados. 7. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2018.

GODFRAY, C.; BEDDINGTON, J.; CRUTE, I.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S.; TOULMIN, C. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People . Science, 327, 812-818, 2010.

GODOI, M. G.; ARAÚJO, L. S.. A Internet das Coisas: Evolução, Impactos e Benefícios. Revista Interface Tecnológica. Taquaritinga. SP. v. 16, n. 1, p. 19–30, jun. 2019.

Instituto Nacional de Câncer (INCA). Agrotóxico, 2023.

ISO/IEC 20922:2016. Information Technology — Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) v3.1.1. International Organization for Standardization, 2016.

KONESKI, Eduardo de Meireles. Ambiente de Comunicação Segura de Internet das Coisas Com a Utilização do MQTT e TLS. Universidade Federal de Santa Catarina. Sistemas de Informação, 2018.

KRAUS, D. Computação de Borda Para Indústria Utilizando a Rede 5G. Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Blumenau. Engenharia de Controle e Automação, 2021.

MACHADO, C. V.; BUENO, F. M.; RAUBER, N. R.; CARDOSO, L. S.. Sistema Para Monitoramento de Parâmetros Físicos e Químicos de Corpos D'Água. Congresso Latino-Americano de Software Livre e Tecnologias Abertas (LATINOWARE), 17. Sociedade Brasileira de Computação. P. 117-125, 2020.

MORO, L. R. O. Irrigação Automatizada de Horta Residencial. Universidade de São Paulo. Campus São Carlos. Engenharia Elétrica, 2018.

RIOS, A. A.; ANDRADE, D. A.; GOMES, L. C.; AVELAR, H. J.; FAGUNDES, F. D. Comparativo Entre Plataformas de Desenvolvimento de Sistemas Microcontrolados Para Aplicações em Internet das Coisas. Centro de Estudos em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

SOARES, J. O. Protótipo de Horta Indoor com IOT. Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Araranguá. Engenharia de computação, 2023.

SOUZA, K. S. Horta Inteligente de Baixo Custo Para Plantio de Alface, Salsa e Cebolinha. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Engenharia de Controle e Automação. 2024.