

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

## **Trabalho de Conclusão de Curso**

### **Projeto de Sistema de Monitoramento e Controle para Irrigação**

Roberto da Silva Dourado Vasconcelos

Campina Grande - PB

Outubro de 2024

Roberto da Silva Dourado Vasconcelos

## **Projeto de Sistema de Monitoramento e Controle para Irrigação**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI  
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE  
Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica - CGEE

Ronimack Trajano de Souza, Dr.  
(Orientador)

Campina Grande - PB  
Outubro de 2024

Roberto da Silva Dourado Vasconcelos

## **Projeto de Sistema de Monitoramento e Controle para Irrigação**

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.*

Aprovado em \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

---

**Professor Avaliador**

Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

---

**Ronimack Trajano de Souza**

Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador

Campina Grande - PB

Outubro de 2024

*"Dedico este trabalho à minha família. Principalmente ao meu pai e minha mãe, por todo amor, apoio e sacrifício. Espero um dia poder retribuir o que fizeram e continuam a fazer por mim"*

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por tudo que fez e tem feito em minha vida. Hoje vejo o quanto sou abençoado pelas oportunidades e pelas pessoas que Ele colocou ao meu lado.

A minha família, serei eternamente grato por todo apoio e suporte ao longo dessa jornada. Durante todas as dificuldades e incertezas, não houve uma única vez em que me faltou suporte. Hoje eu não estaria aqui sem tudo o que meu pai e minha mãe fazem por mim. Agradeço pelo sacrifício dos anos de trabalho e por todo o amor, carinho e suporte.

O tema deste trabalho é fruto dos dias acompanhando meu pai em seu ofício e da vontade de encontrar formas de facilitar processos que sempre vi de perto, em seu dia a dia na fazenda. Sua dedicação, perseverança e alegria constante, independente da situação, foram minha inspiração constante ao longo desse período.

Agradeço aos amigos que compartilharam essa longa jornada comigo. Sem sombra de dúvidas a companhia de vocês deixou esse processo mais leve e menos doloroso, do que normalmente seria para alguém que se mudou para 1100 quilômetros de distância de sua cidade natal para estudar.

Por fim, agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Ronimack Trajano de Souza, pelo seu acompanhamento e pela oportunidade de realizar esse trabalho da forma que idealizei.

*“Portanto, quer comais, quer bebais ou façais outra  
coisa qualquer, fazei tudo para glória de Deus”,  
(1 Coríntios 10:31)*

# Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de irrigação automatizado para propriedades rurais de pequeno e médio porte, com o objetivo de promover o uso eficiente de água e energia na agricultura. Baseado no microcontrolador ESP32 e tecnologias de Internet das Coisas (IoT), o sistema integra sensores de umidade do solo, temperatura e fluxo de água, além de atuadores controlados remotamente. A interface de monitoramento foi desenvolvida no Node-RED, permitindo a visualização e controle em tempo real das condições de irrigação. A metodologia adotada incluiu a seleção de componentes, configuração de hardware e desenvolvimento de software para automação e controle, utilizando o protocolo MQTT para comunicação entre o ESP32 e a interface de usuário. O sistema foi programado para acionar automaticamente as válvulas de irrigação conforme os níveis de umidade do solo.

**Palavras-chave:** Irrigação, ESP32, IoT, Automação, Node-RED, MQTT.

# Abstract

This work presents the development of an automated irrigation system for small and medium-sized agricultural properties, aiming to promote efficient use of water and energy in agriculture. Based on the ESP32 microcontroller and Internet of Things (IoT) technologies, the system integrates soil moisture, temperature, and water flow sensors, along with remotely controlled actuators. The monitoring interface was developed using Node-RED, allowing real-time visualization and control of irrigation conditions. The methodology involved component selection, hardware setup, and software development for automation and control, using the MQTT protocol for communication and automating valve activation according to soil moisture levels.

**Keywords:** Irrigation, ESP32, IoT, Automation, Node-RED, MQTT;

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Irrigação por gotejamento . . . . .	5
Figura 2 – Sistema de gotejamento por gravidade para irrigação . . . . .	5
Figura 3 – Editor de fluxo Exemplo . . . . .	7
Figura 4 – Dashboard Exemplo . . . . .	8
Figura 5 – Arquitetura de publicação/assinatura MQTT . . . . .	8
Figura 6 – Sensor de Temperatura e Umidade do Solo HOBOnet T11 . . . . .	10
Figura 7 – Sensor Multi-Profundidade de Umidade do Solo HOBOnet . . . . .	10
Figura 8 – Válvula Solenoide Ação direta . . . . .	11
Figura 9 – Funcionamento interno valvula de ação indireta . . . . .	12
Figura 10 – Válvula Elétrica 3/4"Normalmente fechada Bermad . . . . .	12
Figura 11 – Circuito básico de comando e de carga . . . . .	13
Figura 12 – Esquema rele 5 pinos ( 5VDC ) . . . . .	14
Figura 13 – Topologia Potência CFW500 WEG . . . . .	15
Figura 14 – Esquema de ligação CFW500 com alimentação híbrida . . . . .	15
Figura 15 – ESP-WROOM-32 38 Pinos . . . . .	17
Figura 16 – Sensor de Umidade do Solo HD 38 . . . . .	18
Figura 17 – Sensor de umidade e temperatura do ar DHT22. . . . .	18
Figura 18 – Válvula Solenoide 1/2"12V . . . . .	19
Figura 19 – Relé 5 pinos SRD-05VDC-SL-C . . . . .	20
Figura 20 – Princípio do fluxo de água do sensor . . . . .	21
Figura 21 – Sensor de Fluxo de Água YF-S201 . . . . .	21
Figura 22 – Diagrama de Blocos simplificado Interação . . . . .	22
Figura 23 – +New Project PlatformIO . . . . .	24
Figura 24 – Circuito 3v3 para 12V . . . . .	26
Figura 25 – Optoacoplador diagrama + Ficha técnica . . . . .	26
Figura 26 – Node-Red - Fluxo . . . . .	32
Figura 27 – MQTT Explorer - Tópicos ativos . . . . .	33
Figura 28 – MQTT ESP32 - VS Code . . . . .	33
Figura 29 – Simulação Wokwi - 1/2 . . . . .	34
Figura 30 – Simulação Wokwi - 2/2 . . . . .	34
Figura 31 – Esquema Elétrico . . . . .	35
Figura 32 – Dashboard Web . . . . .	36

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>2</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Evolução da Automação na Irrigação Agrícola</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Irrigação por Gotejamento</b>	<b>4</b>
<b>2.3</b>	<b>Sistemas de Controle e Automação</b>	<b>5</b>
2.3.1	Internet das Coisas (IoT) Aplicado a Agricultura	6
2.3.1.1	Node-Red	6
2.3.1.2	Protocolo MQTT	7
2.3.2	Sensores em Sistemas de Irrigação	9
2.3.2.1	Sensores de Umidade do Solo	9
2.3.3	Atuadores em Sistemas de Irrigação	11
2.3.4	Inversores de Frequência em Sistemas de Bombeamento	14
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiais</b>	<b>16</b>
3.1.1	ESP32	16
3.1.2	Sensor de umidade do solo HD 38	17
3.1.3	Sensor DHT22	18
3.1.4	Válvula Solenoide	19
3.1.5	Relé	20
3.1.6	Sensor de Fluxo	20
<b>3.2</b>	<b>Arquitetura do Sistema</b>	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>Desenvolvimento do Software</b>	<b>23</b>
3.3.1	Configuração dos Pinos para os Sensores	24
3.3.2	Configuração dos Pinos para os Atuadores	25
<b>3.4</b>	<b>Descrição Montagem Elétrica</b>	<b>25</b>
<b>3.5</b>	<b>Integração com Dashboard e Comunicação Wi-Fi</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>37</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>38</b>

# 1 Introdução

A irrigação é uma técnica fundamental na agricultura, utilizada para assegurar a disponibilidade hídrica das culturas, principalmente em regiões com baixa precipitação pluviométrica. No Brasil, a agricultura tem um papel significativo na economia, representando cerca de 1,65 trilhão de reais do Produto Interno Bruto (PIB) do país. O uso da irrigação vem crescendo consideravelmente, impulsionado pela necessidade de aumentar a produtividade e a resiliência das lavouras em face das variações climáticas. A prática de irrigação consiste em transferir água de fontes alternativas, como poços artesianos, açudes ou reservatórios, para atender às necessidades hídricas das plantações, garantindo a continuidade da produção mesmo em condições adversas.

Apesar da relevância econômica e social da agricultura, muitas fazendas, especialmente as de pequeno e médio porte, não acompanharam o avanço das tecnologias de automação e controle industrial. O uso de sistemas tradicionais de irrigação ainda predomina, caracterizados por métodos manuais ou pouco eficientes, que resultam em desperdício de água e energia. A ausência de um monitoramento adequado e controle eficiente agrava o problema, afetando a sustentabilidade do uso dos recursos naturais e os custos operacionais.

Diante da distribuição irregular de chuvas em diversas regiões e da crescente demanda por uma produção agrícola sustentável, a implementação de sistemas automatizados de irrigação torna-se essencial. Esses sistemas visam otimizar o uso dos recursos hídricos, aumentando a produtividade ao mesmo tempo que minimizam os desperdícios. Tecnologias como sensores de umidade do solo, sensores de fluxo de água, e sistemas de comunicação sem fio, aliados à Internet das Coisas (IoT), proporcionam novas possibilidades para o controle automatizado e remoto das operações agrícolas.

Este trabalho propõe o desenvolvimento do projeto de um protótipo para um sistema de irrigação automatizado, com o uso de sensores e atuadores para monitorar as condições ambientais em tempo real. O sistema será projetado para ser possível ajustar o momento e a duração da irrigação em cada área cultivada, de acordo com a umidade do solo. A arquitetura do sistema inclui a utilização do microcontrolador ESP32, que receberá dados dos sensores e enviará comandos para os atuadores, além de uma interface de monitoramento e controle remoto baseada no Node-RED.

O projeto será descrito de forma que posteriormente sejam possíveis adaptações para uma futura implementação em escala real, com a substituição de componentes de teste por equipamentos industriais, como sensores mais robustos, válvulas proporcionais e inversores de frequência.

## 1.1 Objetivo Geral

Projetar um sistema de monitoramento e controle de irrigação, adaptável para aplicações em propriedades rurais de pequeno e médio porte, com foco na eficiência no uso da água e energia.

## 1.2 Objetivos Específicos

- Projetar e montar protótipos que simulem os processos de um sistema de irrigação automatizado, integrando sensores e atuadores.
- Simular o sistema proposto, validando a lógica de controle desenvolvida.
- Implementar a leitura e processamento de dados dos sensores utilizando o microcontrolador ESP32.
- Automatizar e controlar o acionamento remoto das válvulas de irrigação, com base nos dados fornecidos pelos sensores.
- Desenvolver uma interface de monitoramento remoto para visualização e controle do sistema em tempo real.
- Sugerir adaptações para transição do sistema de protótipos para uma implementação prática em campo, utilizando componentes industriais adequados para operações de maior escala.

## 2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo aborda os principais conceitos, tecnologias e práticas aplicáveis ao desenvolvimento de sistemas de controle automatizados para irrigação, com foco em automação, Internet das Coisas (IoT), sensores, atuadores, inversores de frequência.

### 2.1 Evolução da Automação na Irrigação Agrícola

A automação de sistemas de irrigação evoluiu significativamente ao longo das últimas décadas. Inicialmente, os sistemas eram controlados de forma totalmente manual. Isso exigia que os operadores estivessem fisicamente presentes para abrir e fechar válvulas, ligar bombas e direcionar o fluxo de água, muitas vezes em locais distantes entre si. Esse processo não só demandava grande esforço físico, como também resultava em desperdício de água devido à dificuldade de ajustar o fluxo de forma adequada às necessidades das plantas.

A evolução da agricultura, e conseqüentemente dos sistemas de irrigação, pode ser dividida em quatro períodos principais ( Massruhá,2018),

- Agricultura 1.0: Fase inicial caracterizada pela agricultura rudimentar, onde a tração animal era a principal força motriz utilizada nas atividades agrícolas. O controle de irrigação era feito de maneira totalmente manual, com canais de água abertos e fechados manualmente.
- Agricultura 2.0: Marcada pela introdução dos motores a combustão, que passaram a ser usados em equipamentos agrícolas, incluindo bombas para sistemas de irrigação. Essa fase trouxe uma maior eficiência mecânica, embora o controle ainda fosse manual.
- Agricultura 3.0: Representa o avanço significativo com a introdução da automatização e o início da agricultura de precisão. Nesse período, começaram a surgir sistemas de controle automatizado para irrigação, utilizando sensores para monitoramento das condições do solo e atuadores para controlar o fluxo de água, reduzindo assim o desperdício e melhorando a eficiência no uso dos recursos.
- Agricultura 4.0: Caracteriza-se pela interconexão dos sistemas agrícolas, integrando tecnologias como Big Data, Internet das Coisas (IoT), Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). Nesse cenário, os sistemas de irrigação podem ser monitorados e controlados remotamente com alta precisão, utilizando sensores para coleta de dados e algoritmos para tomada de decisão em tempo real.

Os períodos de Agricultura 3.0 e 4.0 são especialmente relevantes para a automação de sistemas de irrigação, pois introduzem tecnologias que transformam o processo de gerenciamento da água em um sistema inteligente. Isso possibilita "um monitoramento inteligente da lavoura, transformando a agricultura de precisão em agricultura de decisão"(Pereira,2019). Em outras palavras, a coleta e análise de dados em tempo real permitem que o produtor tome decisões mais informadas sobre quando e quanto irrigar, com base nas condições atuais do solo e do tempo.

O presente projeto se insere nesse contexto, utilizando as ferramentas da Agricultura 4.0, como sensores de umidade, válvulas controladas automaticamente e comunicação via Wi-Fi, para desenvolver um sistema de irrigação que atenda às necessidades específicas das plantas com o mínimo de desperdício. A automação proposta não apenas melhora a eficiência no uso dos recursos hídricos, mas também facilita o trabalho do produtor, que pode monitorar e controlar o sistema remotamente.

## 2.2 Irrigação por Gotejamento

A irrigação por gotejamento é um sistema simples. Sua construção consiste em uma tubulação que percorre a base de todas as plantas com pequenos furos que realizam a distribuição da água pela cultura.

A técnica de gotejamento é muito eficiente quando comparado à alguns sistemas, pois a irrigação é realizada com alta frequência e a aplicação da água é feita apenas na zona da raiz, o que caracteriza os sistemas de irrigação localizada. Além disso, o sistema possui baixo custo de montagem e alta eficiência no uso de água, um assunto que tem se tornado cada vez mais importante em regiões áridas e semi-áridas com recursos hídricos limitados (YOHANNES e TADESSE, 1998). A Figura 1 mostra um sistema de irrigação localizada por gotejamento.



Figura 1 – Irrigação por gotejamento

Fonte: Autor

O sistema projetado neste trabalho será planejado para operar em conjunto com a irrigação por gotejamento, com o uso da gravidade como fonte de energia para deslocar a água. A figura 2 ilustra o cenário proposto

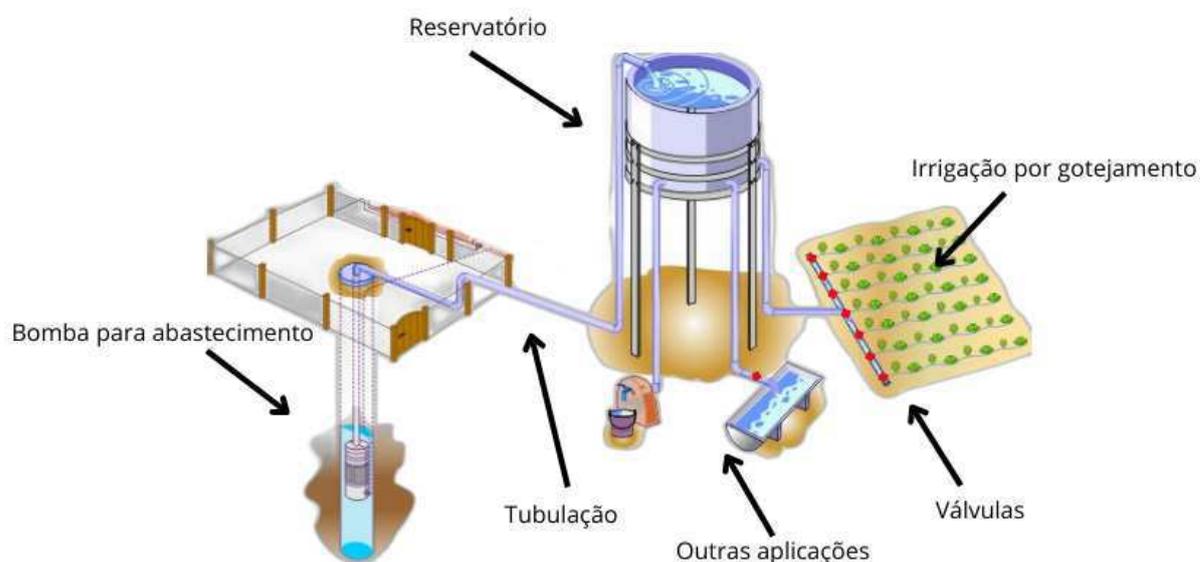


Figura 2 – Sistema de gotejamento por gravidade para irrigação

Fonte: WEG (Editado)

## 2.3 Sistemas de Controle e Automação

A automação de modo geral, transforma processos, tornando-os mais eficientes. Buscando assim reduzir a necessidade de intervenção humana, por uma máquina, a qual

trabalha com processos por conta própria, através de condições pré-definidas. A automação pode ser definida como sendo o uso de sistemas de controle, seja numérico, programável e outros controles industriais, em conjunto com diversas tecnologias, aplicativos e máquinas mecânicas (Rodić, 2009).

Atualmente, os sistemas de controle industriais utilizam uma combinação de sensores, atuadores e controladores como controladores lógicos programáveis (CLPs) e microcontroladores para regular a variáveis desejadas com base em dados em tempo real ou periódicos. Exemplos de sistemas modernos incluem o uso de tecnologias de IoT, que permitem a integração com redes de comunicação para monitoramento e controle remoto.

### 2.3.1 Internet das Coisas (IoT) Aplicado a Agricultura

O termo IoT, ou Internet das Coisas, refere-se à rede coletiva de dispositivos conectados, incorporados a sensores, software e outras tecnologias com o objetivo de conectar e trocar dados com outros dispositivos e sistemas pela internet. Esses dispositivos podem variar de objetos domésticos comuns a ferramentas industriais (Oracle, 2024).

Essa tecnologia facilita a comunicação entre os dispositivos e a nuvem, bem como entre os próprios dispositivos. Possibilitando assim, controlar remotamente os objetos e permitir que os próprios objetos sejam acessados como provedores de informações. Implementar um sistema IoT requer a integração de sensores e atuadores com microcontroladores e redes de comunicação para coleta e envio de dados

A IoT vem transformando a agricultura moderna, oferecendo soluções para o monitoramento remoto e o controle automatizado de equipamentos agrícolas. No contexto da irrigação, os dispositivos conectados permitem que sensores enviem dados para plataformas de gestão em nuvem, onde algoritmos podem analisar as informações e tomar decisões automatizadas, como o acionamento de bombas ou válvulas. No cenário de desenvolvimento IoT é possível destacar o Node-RED e o protocolo MQTT.

#### 2.3.1.1 Node-Red

Node-RED é uma ferramenta de programação para conectar dispositivos de *hardware*, APIs e serviços online (Node-Red.org, 2024). Permitindo assim a criação de aplicações de Iot. Desenvolvida originalmente pela IBM, agora parte OpenJS Foundation. O desenvolvimento na ferramenta é realizado em *Low code* baseado em fluxo para programação visual.

O Node-RED fornece um editor de fluxo baseado em navegador. Inventada por J. Paul Morrison na década de 1970, a programação baseada em fluxo é uma maneira de descrever o comportamento de um aplicativo como uma rede de caixas-pretas, ou “nós”(nodes), como são chamados no Node-RED. Cada nó tem um propósito bem definido;



Figura 3 – Editor de fluxo Exemplo

ele recebe alguns dados, executa uma função com esses dados e então os passa adiante. Esses nós podem ser interligados para criar fluxos de trabalho que integram diversos componentes de um sistema. Funções podem ser criadas em JavaScript dentro do editor usando um editor de rich text. Uma biblioteca integrada permite que você salve funções, modelos ou fluxos úteis para reutilização (Node-Red.org, 2024).

Pode ser executado no servidor local, em um dispositivo como um Raspberry Pi ou na nuvem. Os procedimentos para instalação e uso da ferramenta para cada um dos dispositivos podem ser encontrados nos guias e documentação da Node-RED.

### Características

- **Conectividade:** Suporte a uma ampla gama de protocolos, como OPC-UA, Modbus, HTTP, MQTT, entre outros, o que facilita a integração com diversos dispositivos e serviços.
- **Visualização de Dados:** Possibilidade de criar painéis de controle (*dashboards*) que exibem informações em tempo real sobre o estado de variáveis do sistema.
- **Escalabilidade:** A arquitetura modular do Node-RED permite que novos dispositivos e funcionalidades sejam facilmente integrados ao sistema conforme as necessidades evoluem.

#### 2.3.1.2 Protocolo MQTT

O MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é um padrão de protocolo de mensagens para a Internet das Coisas (IoT) para atividades de telemetria. Ele foi

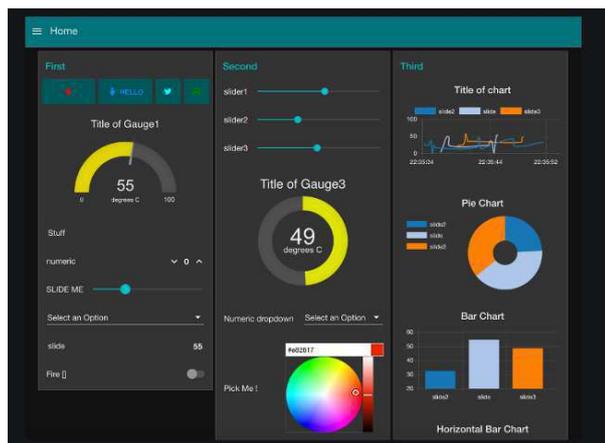


Figura 4 – Dashboard Exemplo

Fonte: Node-Red.org

projetado para o transporte de mensagens de publicação/assinatura extremamente leve, ideal para conectar dispositivos utilizando código reduzido e largura de banda de rede mínima (alfacomp, 2022).

Essa abordagem arquitetônica permite soluções altamente escaláveis ao desacoplar produtores de dados e consumidores de dados, eliminando dependências entre eles. Dois componentes principais para estabelecer a conexão MQTT para publicação e assinatura de mensagens são os Clientes MQTT e o Broker MQTT, conforme mostrado na figura 5

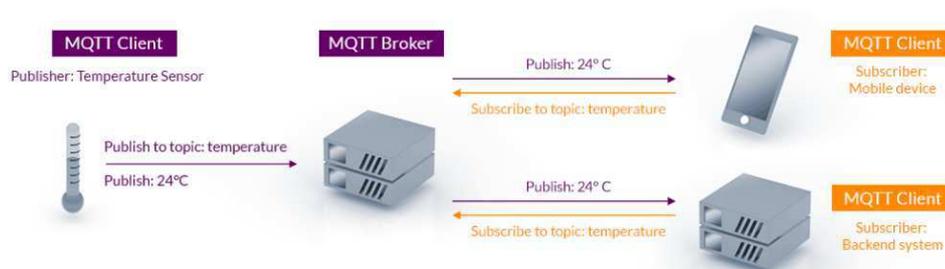


Figura 5 – Arquitetura de publicação/assinatura MQTT

Fonte: mqtt.org

### Características

- **Leve e eficiente:** Os clientes MQTT exigem recursos mínimos, então podem ser usados em microcontroladores pequenos. Os cabeçalhos de mensagem MQTT são pequenos para otimizar a largura de banda da rede.
- **Comunicações Bidirecionais:** O MQTT permite mensagens entre dispositivo para nuvem e nuvem para dispositivo.
- **Escalabilidade:** O MQTT pode ser dimensionado para oferecer suporte a milhões de dispositivos ou “coisas” em um ecossistema de IoT

- **Níveis de Qualidade de Serviço (QoS):** O MQTT especifica diferentes níveis de QoS para garantir entrega confiável de mensagens
- **Recursos de segurança :** O MQTT oferece suporte à criptografia TLS para confidencialidade de mensagens e protocolos de autenticação para verificação de clientes.

## 2.3.2 Sensores em Sistemas de Irrigação

Os sensores são componentes essenciais para a automação de sistemas de irrigação, fornecendo dados críticos para o controle do uso dos recursos, essencial para manter as condições ideais para as culturas. Abaixo serão descritos os principais sensores utilizados na irrigação automatizada, e princípios de funcionamento.

### 2.3.2.1 Sensores de Umidade do Solo

Esses sensores medem a quantidade de água presente no solo, oferecendo dados em tempo real que podem ser utilizados para otimizar o uso da água, aumentar a eficiência das operações de irrigação e melhorar a produtividade das plantações.

As figuras 6 e 7 apresentam sensores de nível industrial e custo elevado, que realizam medições precisas de umidade e da temperatura do solo, de forma simultânea. Além disso, possuem uma construção em material capaz de resistir a condições adversas e comunicação Wi-Fi para envio dos dados.

Os tipos de sensores de umidade do solo, podem ser classificados de acordo com o princípio de funcionamento:

#### Sensores Resistivos

Medem a resistência elétrica entre dois eletrodos, que varia conforme a quantidade de água no solo. A medida que o nível de água no solo aumenta, a resistência elétrica diminui. Os eletrodos são utilizados em conjunto com um circuito comparador que possui como saída o nível de tensão proporcional a umidade atual. Ao conectar esse tipo de sensor a um microcontrolador que seja capaz de fazer leituras de tensão através de uma porta analógica, podemos obter valores para umidade do solo.

- Vantagens: Menor custo
- Desvantagens: Menor exatidão em relação aos outros sensores, os eletrodos podem apresentar problemas de corrosão (Existem modelos com custo elevado, que possuem eletrodos com material anticorrosivo, como mostra a figura 6);
- Aplicações: Utilizados principalmente em pequenos sistemas de irrigação e em ambientes onde o baixo custo é prioritário.



Figura 6 – Sensor de Temperatura e Umidade do Solo HOBOnet T11

Fonte: sigmasensors

### Sensores Capacitivos

Funcionam medindo a capacitância do solo, que varia de acordo com o teor de água presente. A presença de água aumenta a capacitância, permitindo uma leitura com maior exatidão.



Figura 7 – Sensor Multi-Profundidade de Umidade do Solo HOBOnet

Fonte: sigmasensors

- Vantagens: Maior durabilidade, pois não sofrem com corrosão. Melhor exatidão comparada aos sensores resistivos. Reação rápida a mudanças na umidade do solo.
- Custo relativamente mais alto que os sensores resistivos. Sensível à composição do solo, exigindo calibração.

- Aplicações: Utilizados em sistemas de irrigação de médio a grande porte e em condições onde a durabilidade é um fator importante.

### 2.3.3 Atuadores em Sistemas de Irrigação

Os atuadores são dispositivos que executam as ações físicas no sistema, como o acionamento de válvulas ou o controle de bombas. Os principais atuadores usados na automação de sistemas de irrigação incluem válvulas solenoides e bancos de relés.

- Válvulas Solenoides: São usadas para abrir ou fechar o fluxo de água e outros fluidos. A válvula solenoide apresenta uma bobina, que é formada por um cilindro todo enrolado por um fio, quando uma corrente elétrica é conduzida pelo fio, é gerado uma força no centro da bobina solenoide, forçando o êmbolo da válvula para cima, abrindo ou fechando o sistema de passagem.

As válvulas solenoides podem ser divididas em ação direta, ação Indireta e ação semi-direta.

A válvula de ação direta (ou atuação direta) tem o pistão abrindo diretamente a passagem do fluido. Quando a bobina é energizada, a válvula abre diretamente, assim como mostrado na figura 8 (Mtibrasil, 2024).

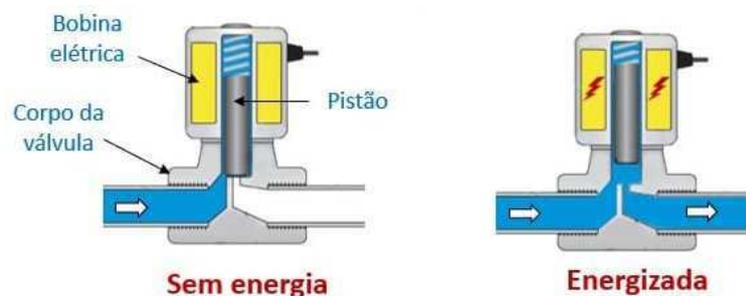


Figura 8 – Válvula Solenoide Ação direta

Já a válvula de ação indireta basicamente utiliza a ajuda da pressão do fluido para fazer a atuação, utilizando uma pequena válvula piloto para regular a pressão no atuador principal. A entrada e a saída são separadas por um diafragma, assim a pressão do fluido e a força da mola mantêm a válvula fechada até que a pressão mínima seja atingida para acioná-la.

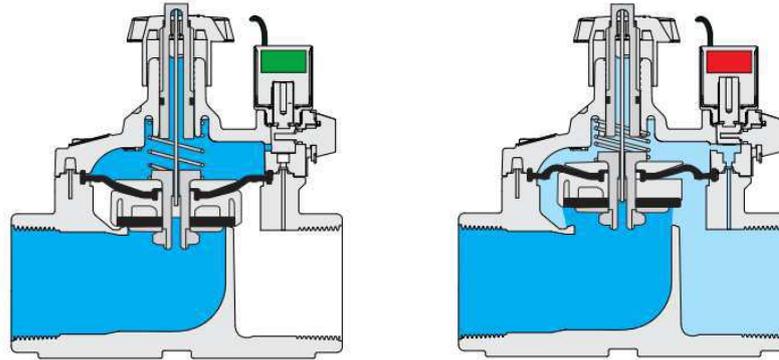


Figura 9 – Funcionamento interno válvula de ação indireta

Fonte: bermad

Abaixo temos uma exemplo de válvula amplamente utilizada em sistemas de irrigação automatizados. A válvula S-210 fabricada pela empresa Bermad exerce a função de abertura e fechamento (ON/OFF), através de um comando elétrico de um solenoide, ação indireta. Estão disponíveis em diferentes tensões.



Figura 10 – Válvula Elétrica 3/4"Normalmente fechada Bermad

Fonte: (Instaagro, 2024)

#### Especificações

- **Modelo:** S-210
- **Tipo de Válvula:** Elétrica, Solenoide de 2 vias (Normalmente Fechada - NC)

- **Tensão de Operação:** 24 VAC (50-60 Hz)
  - **Corrente de Operação:** 0,20 A
  - **Corrente de Partida:** 0,40 A
  - **Pressão de Operação:** 0,7 a 10 bar (mínimo recomendado: 7 mca (0,7 bar))
  - **Fluxo Máximo de Água:** 9 m<sup>3</sup>/h
  - **Temperatura Máxima da Água:** 60 °C
  - **Material do Corpo:** Náilon Reforçado
  - **Dimensões:** 12 cm (comprimento) x 11 cm (largura) x 9 cm (altura)
  - **Diâmetro de Conexão:** 3/4" (polegada)
  - **Seletor Manual:** Trio integrado (Open-Auto-Close)
- **Relés:** São dispositivos comutadores eletromecânicos. Utilizados para acionar equipamentos de maior potência, como bombas e inversores de frequência, com base em sinais de controle de baixa potência. Outra característica e grande vantagem deste tipo de componentes é o isolamento elétrico (galvânico) entre o circuito de comando e o circuito de carga; o isolamento resistivo dos contatos abertos e a baixa resistência dos contatos quando estes estão fechados.

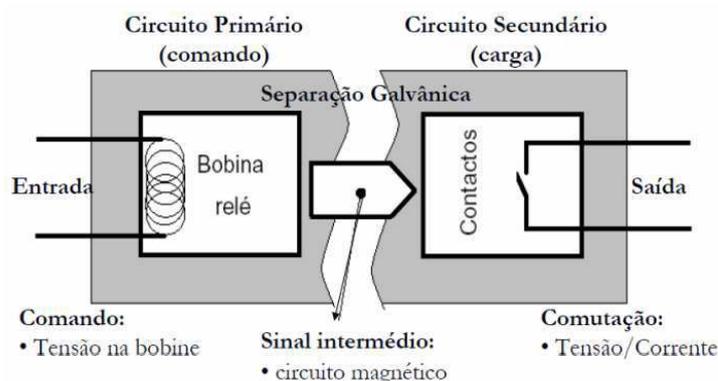


Figura 11 – Circuito básico de comando e de carga

Fonte: (Abelha, 2014)

Os relés possuem contatos Normalmente Abertos (NA) e Normalmente fechados (NF). Os contatos Normalmente Abertos são os que estão abertos enquanto a bobina não está conduzindo corrente, quando a bobina é energizada eles se fecham. O funcionamento dos contatos Normalmente Fechados é ao contrário do Aberto, enquanto a bobina recebe corrente estão abertos e vice-versa (Abelha, 2014).

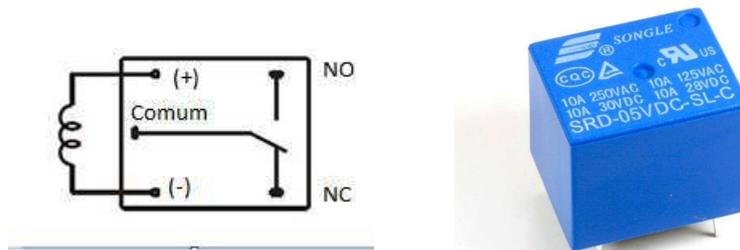


Figura 12 – Esquema relé 5 pinos ( 5VDC )

Existem diversos tipos de relés, com métodos de construção e aplicação diferentes, mas que seguem princípios de funcionamento semelhantes. Contudo, não serão abordados no presente trabalho.

### 2.3.4 Inversores de Frequência em Sistemas de Bombeamento

Nos sistemas atuais os inversores de frequência ajustam a velocidade das bombas, permitindo um controle da vazão e pressão da água, com boa exatidão. Isso não apenas otimiza o consumo de energia, mas também aumenta a vida útil dos equipamentos, além da redução do pico de corrente na partida do motor, quando comparada a uma partida direta.

O funcionamento desses inversores é dado da seguinte forma. Por meio de um retificador a conversão acontece de CA para CC (Barramento CC), e depois para CA novamente por meio de um inversor. Ao realizar a inversão CC-CA, o controle das chaves possibilita variar a frequência da tensão CA de saída. Ou seja, o inversor de frequência converte uma corrente alternada com uma frequência em uma corrente com outra frequência. Esse tipo de inversor também possibilita alterar a tensão de saída, caso seja definido antes por meio dos parâmetros de configuração. Abaixo temos um exemplo de topologia do circuito de comando do inversor CFW500 da WEG.

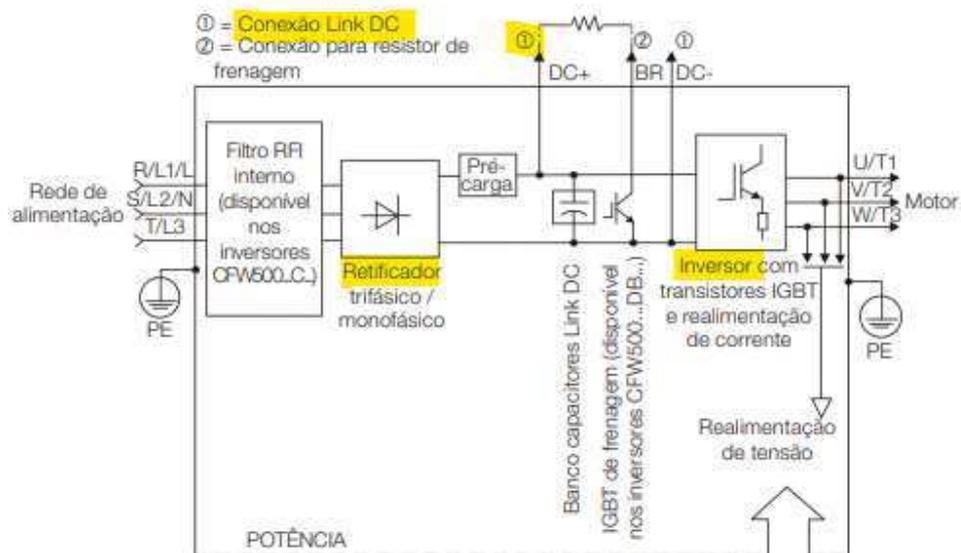


Figura 13 – Topologia Potência CFW500 WEG

Fonte: WEG

Uma outra aplicação dos inversores de frequência na irrigação é no bombeamento solar. Onde o inversor de frequência é alimentado diretamente por painéis fotovoltaicos. A WEG disponibiliza uma material explicativo para realizar esse dimensionamento e conexões. O seguinte esquema abaixo demonstra o esquema de ligação para se utilizar o inversor para bombeamento solar, sendo alimentado diretamente com a corrente CC dos painéis.

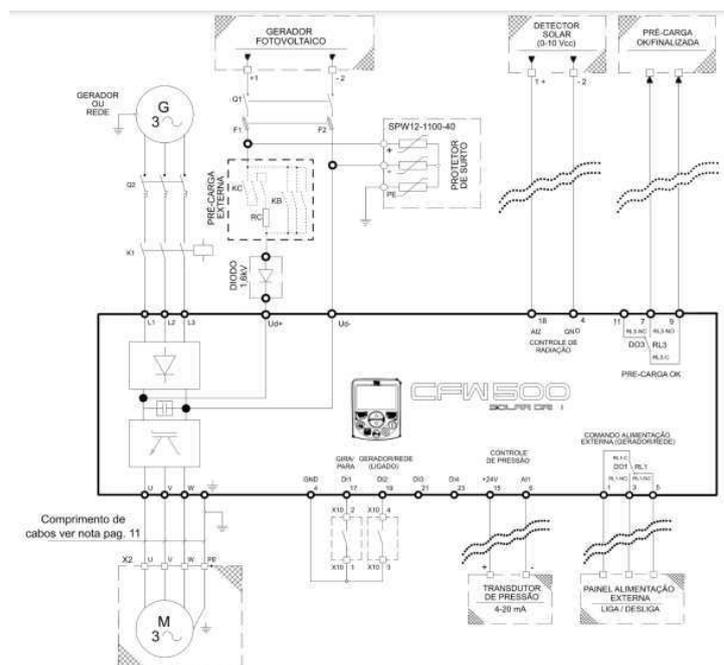


Figura 14 – Esquema de ligação CFW500 com alimentação híbrida

Fonte: WEG

## 3 Materiais e Métodos

A metodologia abordada consistiu em uma revisão da bibliográfica sobre sistemas de irrigação e tecnologias IoT aplicadas à agricultura, seguida pela seleção e especificação dos componentes mais adequados ao sistema proposto. Após isso o projeto segue etapas de planejamento, configuração e programação do *software*, integração do *hardware* (sensores e atuadores) com as plataformas de controle e, por fim, testes simulados para validar o funcionamento do sistema em um ambiente controlado.

### 3.1 Materiais

Os materiais foram selecionados com base em suas funcionalidades específicas e adequação às necessidades do sistema de irrigação. Além disso, foram pensados em componentes que possuam comportamento físico semelhante aos comumente utilizados (visando a escalabilidade). Para assim facilitar uma possível adaptação do sistema. Abaixo, são listados os principais componentes, com suas especificações e justificativas para a escolha.

#### 3.1.1 ESP32

Foi escolhida a placa ESP32 como unidade de controle central do sistema, por se tratar de uma solução simples, de baixo custo. Oferece conectividade Wi-Fi, ideal para aplicações remotas via Node-RED ou Blink. A mesma possui suas limitações em aplicações de automação industrial, como será discutido posteriormente.

No projeto foi utilizado o dev kit, que acompanha periféricos para o bom funcionamento do chip ESP32 e suas respectivas portas. Por conveniência, ao longo do trabalho todas as referências a ESP32 estarão dirigidas a placa do dev kit completo. Apresentado na Figura 15.

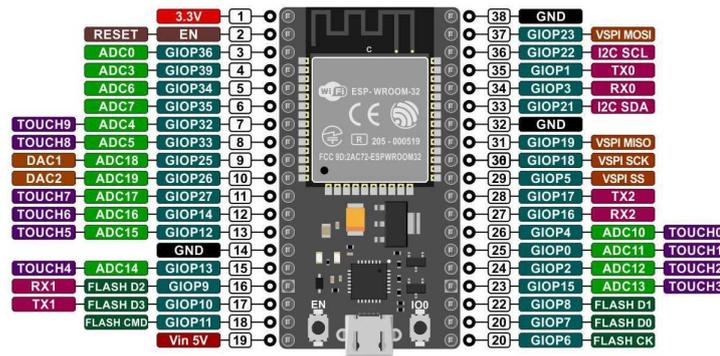


Figura 15 – ESP-WROOM-32 38 Pinos

Fonte: Eletronics

## Especificações

- **Microprocessador:** Dual-core Xtensa® 32-bit LX6, até 240 MHz
- **Memória RAM:** 520 KB
- **Memória Flash:** Suporte para até 16 MB
- **Conectividade:** *Wifi* e *Bluetooth*
- **Alimentação:** 2,3 V a 3,6 V (máx. 240 mA com Wi-Fi ativo)
- **Periféricos:**
  - ***GPIOs:*** 34 portas programáveis
  - ***Analog to Digital Converter (ADC):*** 12 bits (até 18 canais)
  - ***Digital To Analog Converter (DAC):*** 2 conversores de 8 bits
  - ***Pulse Width Modulation (PWM):*** Até 16 canais

## 3.1.2 Sensor de umidade do solo HD 38

Este sensor é utilizado para ler o nível de umidade presente no solo ao seu redor. Se trata de um sensor do tipo resistivo.

## Especificações

- **Tensão de operação:** 3.3 a 12V
- **Sensibilidade:** Ajustável via potenciômetro
- **Saídas:** Digital e Analógica
- **Corrente de operação:** < 20mA
- **Dimensões:** 36 x 15 x 7 mm
- **Comprimento do cabo:** 1 metro
- **Observações:** Ponteiros resistentes a corrosão. Acompanha módulo para ajuste de sensibilidade do sensor.



Figura 16 – Sensor de Umidade do Solo HD 38

Fonte: (Eletrogate, 2024)

### 3.1.3 Sensor DHT22

Para monitorar a temperatura e a umidade do ar, é utilizado o sensor DHT22, que combina um sensor de umidade capacitivo e um termistor (sensor de temperatura composto por material semiconductor) para medir o ar circundante, e emite um sinal digital no pino de dados (sem necessidade de conversores analógicos). Os dados são enviado em 5 segmentos de 8 bits, possui biblioteca consolidada para comunicação com microcontrolador (AOSONG, 2015).

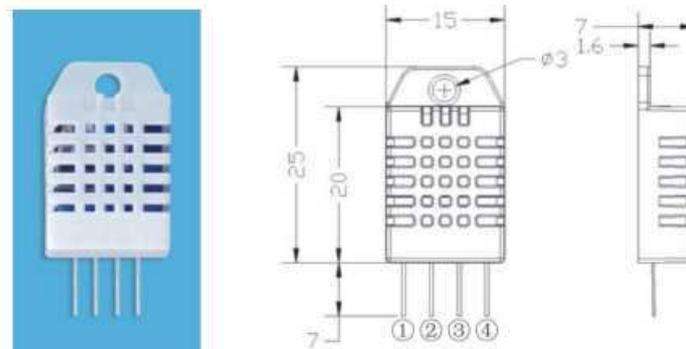


Figura 17 – Sensor de umidade e temperatura do ar DHT22.

Fonte: AOSONG Ficha técnica - DHT22

- **Tensão de operação:** 3,3 V a 6 V
- **Calibrado e não exige componentes adicionais**
- **Corrente máxima:** 2.5mA
- **Taxa de amostragem:** 0,5 Hz
- **Faixa de medição de umidade:** 0-100% com precisão de 2-5%
- **Faixa de medição de temperatura:** -40 a 80 ° C de temperatura leituras  $\pm$  0,5 ° C precisão
- 

### 3.1.4 Válvula Solenoide

Para esse projeto, foi utilizada a seguinte válvula solenoide para o controle do fluxo de água.

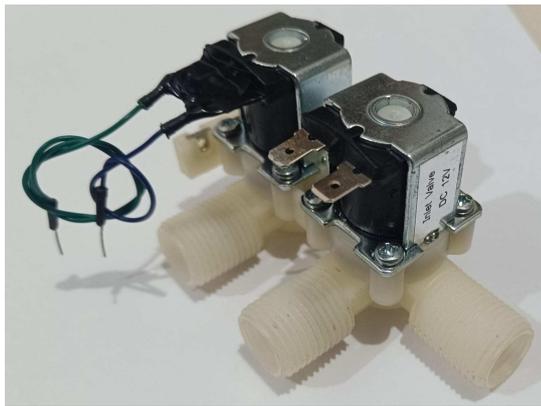


Figura 18 – Válvula Solenoide 1/2"12V

Fonte: Autor

#### Especificações

- **Estado:** Normalmente Fechada (NF)
- **Material:** Plástico ABS
- **Tensão Nominal:** 12V DC
- **Corrente Nominal:** 500 mA
- **Pressão de Operação:** 0,2 a 0,8 MPa
- **Vazão Mínima:** 7 l/min (à 0,2 kgf/cm<sup>2</sup>)
- **Vazão Máxima:** 40 l/min (à 6 kgf/cm<sup>2</sup>)
- **Temperatura Máxima do Líquido:** 60 °C
- **Diâmetro da Rosca:** 1/2"

### 3.1.5 Relé

O relé foi escolhido para que através dos sinais emitidos pelo microcontrolador, realize o acionamento das válvulas do sistema de irrigação, assim como os outros dispositivos a serem utilizados. Garantindo isolação e proteção para o circuito de controle.

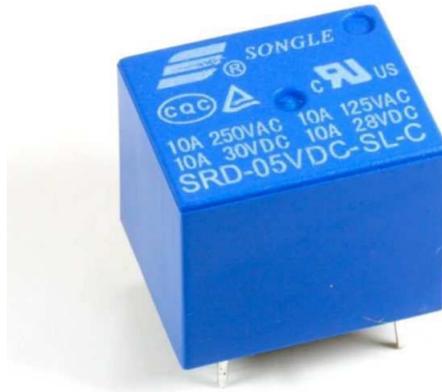


Figura 19 – Relé 5 pinos SRD-05VDC-SL-C

#### Especificações

- **Tensão de Operação:** 5V DC (VCC e GND)
- **Tensão de Sinal:** TTL - 5V DC (IN)
- **Contatos:** Normalmente Aberto (NA), Normalmente Fechado (NF) e Comum
- **Tensão Máxima:** 30V DC ou 250V AC
- **Corrente Máxima:** 10A

Observação: O relé é utilizado em conjunto com optoacoplador, como será descrito mais adiante no trabalho. O acoplador óptico é um componente eletrônico que transfere sinais elétricos entre dois circuitos isolados usando luz. Os opto-isoladores evitam que altas tensões afetem o sistema que recebe o sinal.

### 3.1.6 Sensor de Fluxo

O sensor de fluxo funciona com base no efeito Hall. Quando a água flui através do rotor interno, este gira e a velocidade muda de acordo com o fluxo. O sensor de efeito Hall emite um sinal de pulso correspondente.

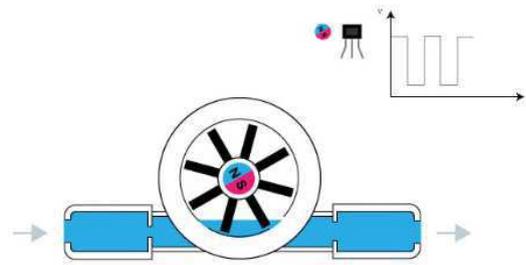


Figura 20 – Princípio do fluxo de água do sensor

Fonte: (Seeed Studio)

O efeito de Hall está relacionado com o aparecimento de uma diferença de potencial através de um condutor elétrico quando um campo magnético é aplicado na direção perpendicular ao do fluxo de corrente.

O sensor de efeito Hall magnético, gera um pulso a revolução do rotor, e cada revolução representa um certo volume de água passando pelo sensor. Dessa forma o fluxo de água é calculado contando o número de pulsos (Eletrogate, 2021).



Figura 21 – Sensor de Fluxo de Água YF-S201

### Especificações

- **Modelo:** YF-S201
- **Tipo de sensor:** Efeito Hall
- **Tensão de operação:** 3,3 V a 18 V
- **Fluxo de Água:** 1 a 30 litros/minuto
- **Temperatura de operação:** -25 a +80 °C
- **Precisão:**  $\pm 10\%$
- **Pressão da água máxima:** 2.0 MPa
- **Comprimento do cabo:** 15 cm

- **Pulsos por litro:** 450
- **Detalhes da conexão:**
  - Fio vermelho: +3,3 V
  - Fio preto: GND
  - Fio amarelo: Saída PWM

## 3.2 Arquitetura do Sistema

O sistema de irrigação automatizado é composto por sensores, atuadores, uma unidade de controle central (ESP32) e uma interface de monitoramento remoto. A arquitetura do sistema foi projetada para permitir a coleta de dados em tempo real, processamento e tomada de decisões automáticas para controle do fluxo de água. A seguir, é apresentado um diagrama de blocos que ilustra a interação entre os principais componentes:

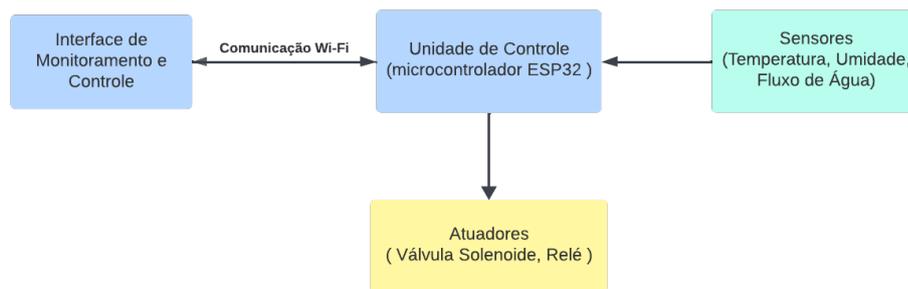


Figura 22 – Diagrama de Blocos simplificado Interação

Fonte: Figura do Autor

As funcionalidades de cada bloco

### 1. Sensores:

- Sensor de Umidade do Solo: Mede a umidade do solo e envia as leituras para o ESP32;
- Sensor de Temperatura: Monitora a temperatura do ambiente e envia os dados para o ESP32;
- Sensor de Fluxo: Mede a vazão de água para monitoramento de fluxo durante a irrigação.

### 2. Atuadores:

- Válvulas Solenoides: Controlam o fluxo de água para diferentes áreas da plantação. São ativadas ou desativadas pelo ESP32 com base nos dados dos sensores de forma automática ou remota via aplicação web.

- Relés: Acionamento de relés que podem estar conectados a contactores, inversor de frequência e outros atuadores com níveis de tensão de diferentes.
3. Unidade de Controle (ESP32):
    - Recebe os sinais dos sensores.
    - Processa os dados e decide quando acionar os atuadores.
    - Conecta-se à rede Wi-Fi para enviar dados ao Broker MQTT.
    - Publica e subscreve mensagens MQTT para controle e monitoramento remoto.
  4. Interface de Monitoramento e Controle (Node-RED):
    - Conecta-se ao Broker MQTT e permite monitoramento em tempo real.
    - Exibe os dados recebidos dos sensores (umidade, temperatura, fluxo).
    - Envia comandos para o ESP32 para acionar as válvulas e controlar o inversor de frequência.

### 3.3 Desenvolvimento do Software

O desenvolvimento do software para o microcontrolador ESP32, foi realizado utilizando o Visual Studio Code (VS Code) em conjunto com o PlatformIO. O VS Code, é um editor de código gratuito criado pela Microsoft, foi escolhido devido a facilidade para instalar bibliotecas e extensões, além da integração com diversas linguagens de programação e um bom editor de código. Já o PlatformIO, é uma ferramenta open source para o desenvolvimento de sistemas embarcados em C/C++, é utilizado como extensão do VS Code, e possui suporte para diversos tipos de microcontroladores, com suas respectivas bibliotecas principais inclusas.

Para instalação do VS Code, basta acessar o site oficial <https://code.visualstudio.com/>, baixar e executar o instalador e prosseguir normalmente com a instalação.

Dentro do ambiente do VS Code, acessar a opção **Extensions** no menu da esquerda, e pesquisar por **PlatformIO** e depois no botão **Install** para instalar a extensão.

Na janela Home do PlatformIO, foi criado o projeto. Após isso, os arquivos do projeto são criados. A programação foi realizada dentro do arquivo `ESP_MQTT > src > main.cpp`. Outro arquivo importante é o `ESP_MQTT > platformio.ini` onde são configurados os parâmetros para comunicação serial e configuração da porta COM utilizada pelo dispositivo.

Com o ambiente de desenvolvimento devidamente configurado passamos para a lógica utilizada na programação para integração dos sensores, atuadores com o microcontrolador ESP32.

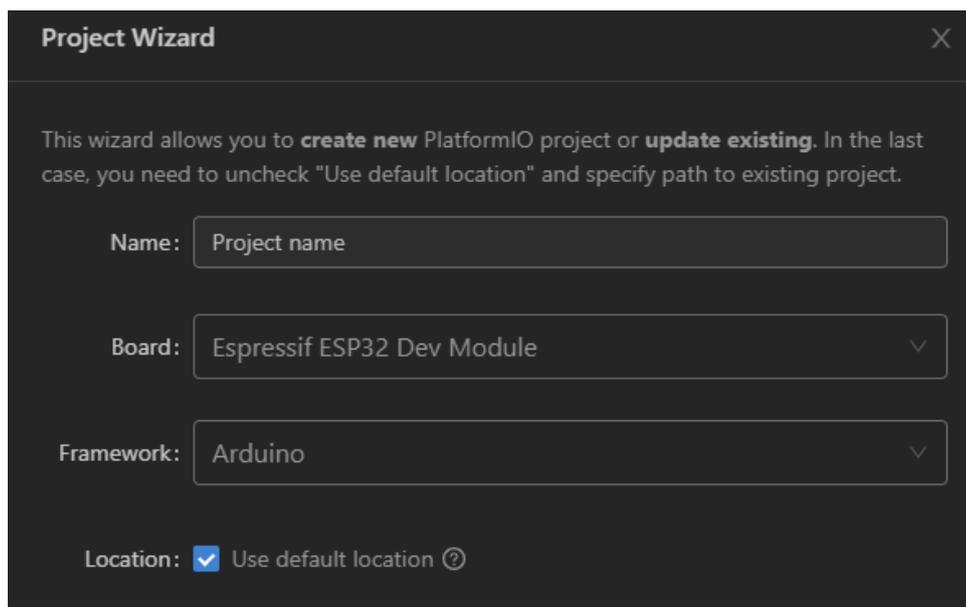


Figura 23 – +New Project PlatformIO

### 3.3.1 Configuração dos Pinos para os Sensores

A seguir serão descritos detalhes importantes na integração do ESP32 com os sensores.

- Sensor de Umidade e Sensor de Temperatura

Para utilizar o sensor de umidade do solo é preciso configurar os pinos como entrada analógica, utilizando o seguinte código para *setup*, `pinMode(PINO_SENSOR, INPUT);` colocando no primeiro campo o número correspondente do pino onde o sensor está conectado. Após isso, fazer a leitura da entrada analógica `leitura_sensor = analogRead(PINO_SENSOR);` e salvar valor em variável, para assim utilizar nos casos condicionais.

O ESP32, possui ADC (conversor analógico-digital) com uma resolução de 12 bits por padrão, com isso os valores lidos estarão na faixa de 0 a 4095 (valor teórico / requer testes físicos para definir limites), representando uma faixa de tensão de 0 a 3,3 V. Nesse caso o valor lido deve ser transformado para uma visualização adequada em níveis de porcentagem. Isso é feito utilizando a função `map()`, que remapeia um número de um intervalo para outro, como no exemplo: `Medicao_% = map(Medicao, Leitura_Umido, Leitura_Seco, 100, 0);`

Em relação ao sensor DHT22 em específico, existe uma biblioteca que facilita o processo (`#include "DHT.h"`). Com ela é possível criar um objeto do tipo DHT (`DHT dht(PINO_SENSOR, DHT22);`), e dessa forma utilizar funções predefinidas para leitura `humidade = dht.readHumidity(); / temperatura = dht.readTemperature();`

- Sensor de Fluxo

Para a integração com o sensor de fluxo faz-se necessário o uso de interrupções. A "Interrupção", quando acionada, "interrompe" a tarefa atual do processador para processar o evento que a causou.

No microcontrolador ESP32 uma interrupção é configurada por meio da chamada da seguinte função, `attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PINO_SENSOR), Fluxo, RISING);`.

`Fluxo` se refere a função a ser chamada quando a interrupção ocorrer. E `RISING` é o modo, ou seja, define quando a interrupção deve ser acionada. No caso de `RISING`, aciona a interrupção quando o `PINO_SENSOR` vai de baixo para alto ( $LOW > HIGH$ ).

A Função `Fluxo` então incrementa uma variável chamada `Pulso`. E a cada segundo usa-se essa variável para calcular o fluxo de água em L/h naquele ciclo, usando a seguinte fórmula.

$$L/h = \text{pulsos} \times 8$$

Obtida partindo do princípio que o sensor realiza 450 pulsos por litro. Fazendo a contagem dos pulsos no software a cada segundo. Temos que,

$$L/s = \frac{\text{pulsos}}{450}$$

Para chegar na equação de L/h, basta realizar a transformação.

### 3.3.2 Configuração dos Pinos para os Atuadores

Os atuadores (válvulas e relés) são controlados por meio de saídas digitais do ESP32, configuradas para 3,3 V (nível lógico alto) quando for para Abrir/Ligar. A seguinte função é utilizada para acionar pinos digitais no ESP32, `digitalWrite(RELE_0, HIGH/LOW)`. Com `HIGH` para ativar a saída ou `LOW` para desativar.

## 3.4 Descrição Montagem Elétrica

- Válvulas e Relés

As válvulas serão conectadas por meio de um circuito intermediário. Que serve para realizar a isolação galvânica entre o circuito de comando e o circuito de potência. O circuito de comando, as conexões foram projetadas para as saídas digitais do ESP32, com nível lógico alto sendo 3,3 V.

Para essa isolação o circuito utiliza do relé e o optoacoplador, por existir a utilização de fontes diferentes para cada uma das partes do circuito, a passagem de ruído é

mitigada. Reduzindo assim os riscos da ocorrência de picos de tensão nos terminais do ESP32.

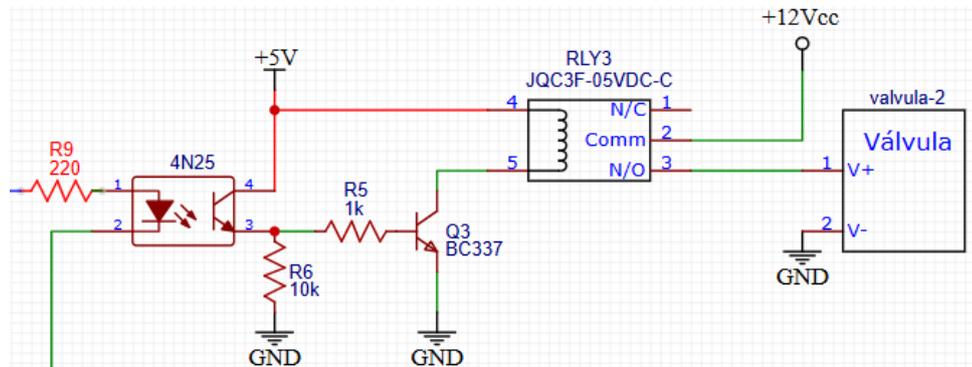
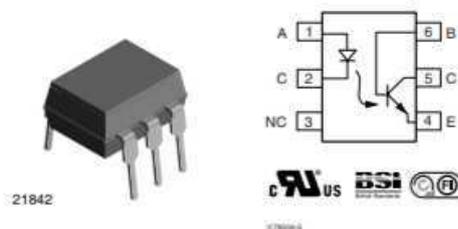


Figura 24 – Circuito 3v3 para 12V

Fonte: Autor

Para projetar esse circuito foi necessário se atentar às informações presentes na ficha técnica do optoacoplador a ser utilizado, e os valores de tensão utilizados em cada parte do circuito.



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (1)							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>INPUT</b>							
Forward voltage (2)	$I_F = 50 \text{ mA}$		$V_F$		1.3	1.5	V
Reverse current (2)	$V_R = 3 \text{ V}$		$I_R$		0.1	100	$\mu\text{A}$
Capacitance	$V_R = 0 \text{ V}$		$C_D$		25		pF

Figura 25 – Optoacoplador diagrama + Ficha técnica

O cálculo da resistência para proteger o diodo do optoacoplador é feito levando em consideração o valor de tensão que será usado para acionamento, queda de tensão típica no diodo do optoacoplador 1.3V e a corrente do diodo do optoacoplador 50mA. Optoacoplador, 4N25.

$$R = \frac{3.3 - 1.3}{50 \text{ m}} = 40 \Omega \approx 50 \Omega$$

No mínimo uma resistência de 50  $\Omega$

O resistor de 10k  $\Omega$  serve como um resistor de pull-up.

- Sensores

Os sensores levados em consideração possuem dois tipos de conexões diferentes. O sensor de umidade do solo, possui conexões para alimentação, e sinal. O sinal é uma saída analógica, então deve ser conectado a entrada analógica do ESP32. A alimentação será feita em 3,3 V por uma fonte separada. Já o sensor de fluxo funciona por meio de pulsos digitais então a conexão é feita em um pino digital configurado para fazer a leitura desse pulso. Todos os sensores devem ser alimentados pela fonte de 3,3 V para que o sinal enviado não ultrapasse esse valor nas entradas do ESP32.

### 3.5 Integração com Dashboard e Comunicação Wi-Fi

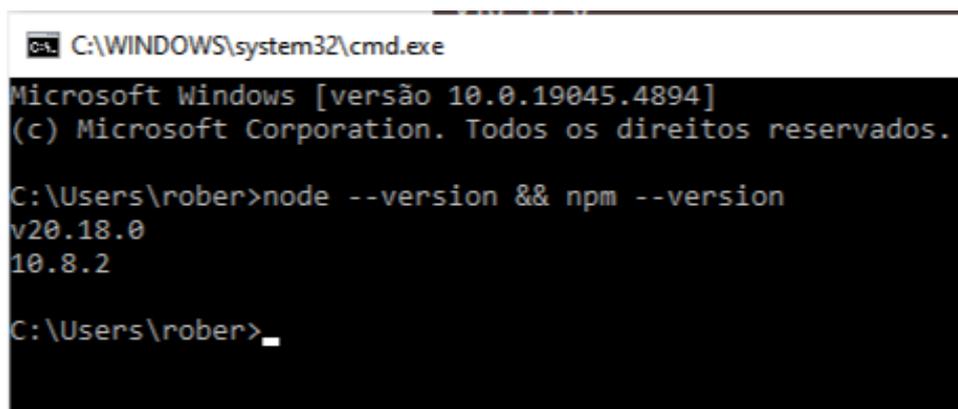
O ESP32 foi configurado para se conectar a uma rede Wi-Fi, permitindo a comunicação com o Node-RED via protocolo MQTT. Esse protocolo foi escolhido por sua eficiência na comunicação entre dispositivos IoT, e especialmente por sua capacidade de minimizar o uso de largura de banda na troca de mensagens. Essa etapa seguiu os seguintes pontos:

- Download e configuração da ferramenta Node-Red - Broker MQTT

O desenvolvimento no Node-RED é realizado dentro de uma guia no espaço de trabalho do editor, chamada de fluxo (*flow*) sendo a principal maneira de organizar os nós. A conexão de vários nós também é chamada de *flow*. Os "nós" por sua vez são blocos de códigos predefinidos, funcionando como funções.

Para o uso e funcionamento correto da ferramenta Node-RED, utilizada para criar os *flows* e realizar a conexão do sistema projetado e a rede, precisamos seguir alguns passos. Será feita a descrição para instalação no windows.

Para o Node-RED funcionar, no PC onde o servidor MQTT estará rodando, é preciso baixar e executar um arquivo complementar inicialmente, o Node.js (LTS). É possível verificar se a instalação foi realizada corretamente, com o seguinte comando no cmd windows.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [versão 10.0.19045.4894]
(c) Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\rober>node --version && npm --version
v20.18.0
10.8.2

C:\Users\rober>_
```

Após instalação do node.js, foi executado o seguinte comando no prompt de comando.

```
C:\Users\rober>npm install -g --unsafe-perm node-red
added 309 packages in 2m

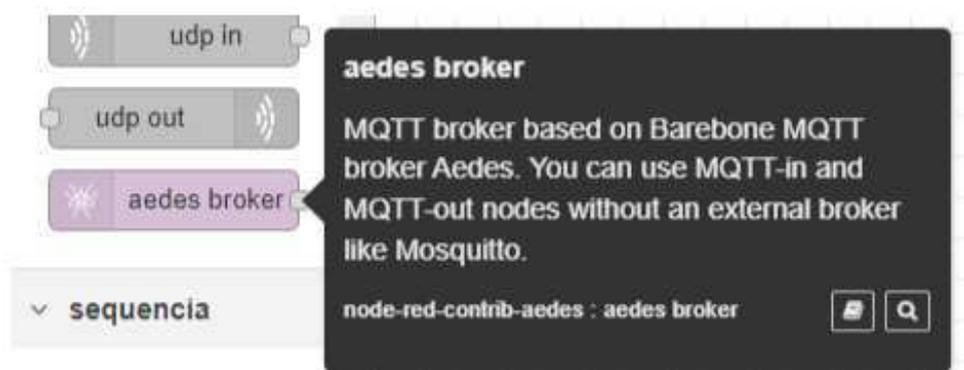
61 packages are looking for funding
  run `npm fund` for details

npm notice
npm notice New minor version of npm available! 10.8.2 -> 10.9.0
npm notice Changelog: https://github.com/npm/cli/releases/tag/v10.9.0
npm notice To update run: npm install -g npm@10.9.0
npm notice
C:\Users\rober>
```

Uma vez instalado, para executar o Node-RED é necessário utilizar o comando `node-red` no cmd. O terminal deve ser mantido aberto para que a aplicação continue em execução. Para acessar o editor e realizar a criação dos flows (fluxos e conexões criadas utilizando os nós), acessar o URL: `http://localhost:1880` no navegador do mesmo computador.

Como já foi dito anteriormente, o protocolo de comunicação utilizado para entregar e receber mensagens será o MQTT. O broker será executado no Node-RED instalado no PC, e o ESP32 funcionará como cliente.

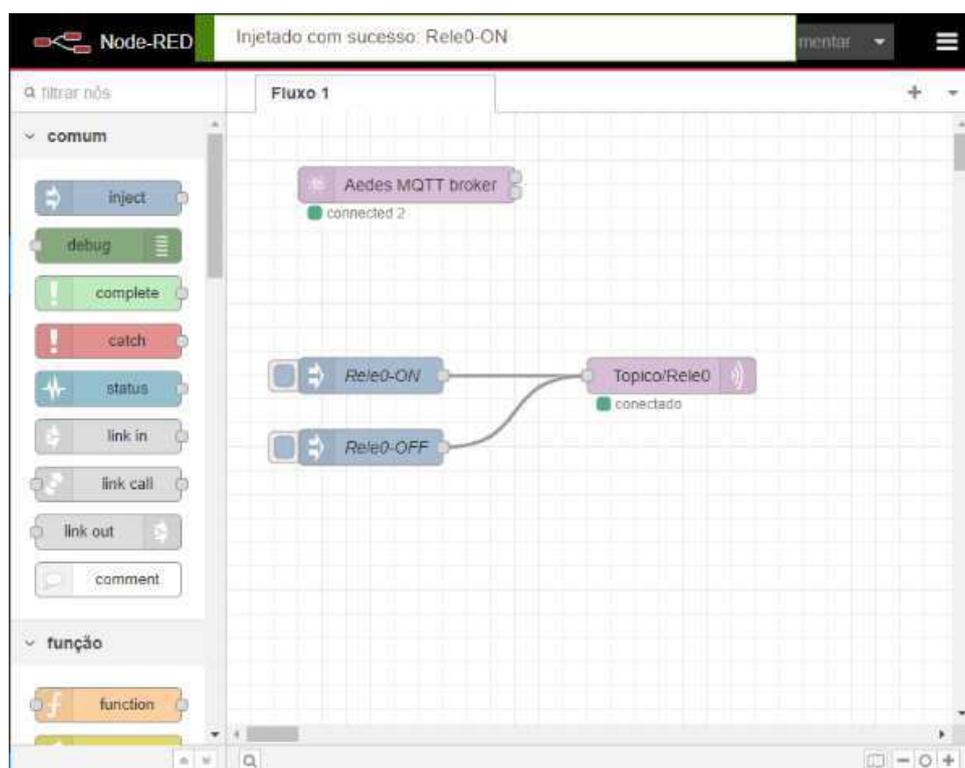
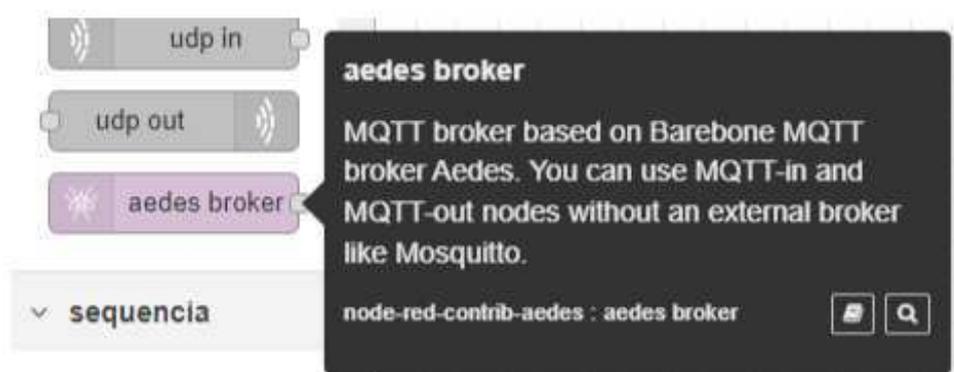
Para que seja possível criar um servidor MQTT no node-red é necessário adicionar um novo módulo : “node-red-contrib-aedes” que pode ser buscado em User settings, Palette, Install.



A configuração do nó é realizada clicando no mesmo.

Para leitura e escrita de dados nos tópicos de comunicação, serão utilizados os nós `mqtt in` e `mqtt out`

O fluxo acima foi montado para enviar uma mensagem a partir do broker, escrevendo um valor `true` ou `false` no tópico nomeado como `Rele0`. O próximo passo é implementar o MQTT na ESP32, para que consiga acessar para ler e escrever no tópico `Rele0`.



- Conexão Wi-Fi do ESP32

Consiste na configuração das credenciais de rede e estabelecimento da comunicação com o servidor MQTT. O código para conexão com o MQTT foi feito usando como base o exemplo disponibilizado na biblioteca PubSubClient > examples > mqtt\_esp8266.

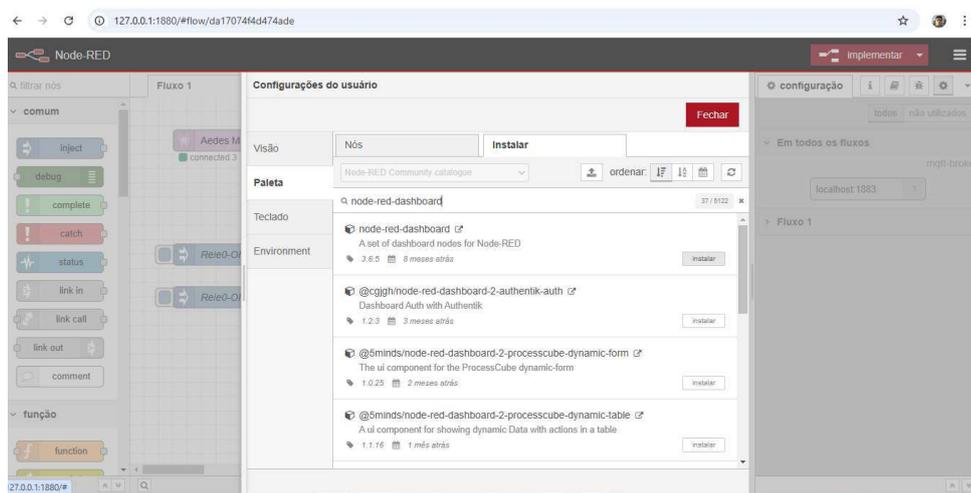
A biblioteca PubSubClient fornece o que é necessário para que o ESP32 se comunique com a rede Wi-Fi.

Pelo monitor do VSCODE podemos acompanhar a interação. Tanto o processo de conexão, como o processo de envio e recebimento de informações.

```
Connecting to brisa-2683916
...
WiFi connected
IP address:
192.168.0.7
Attempting MQTT connection...connected
```

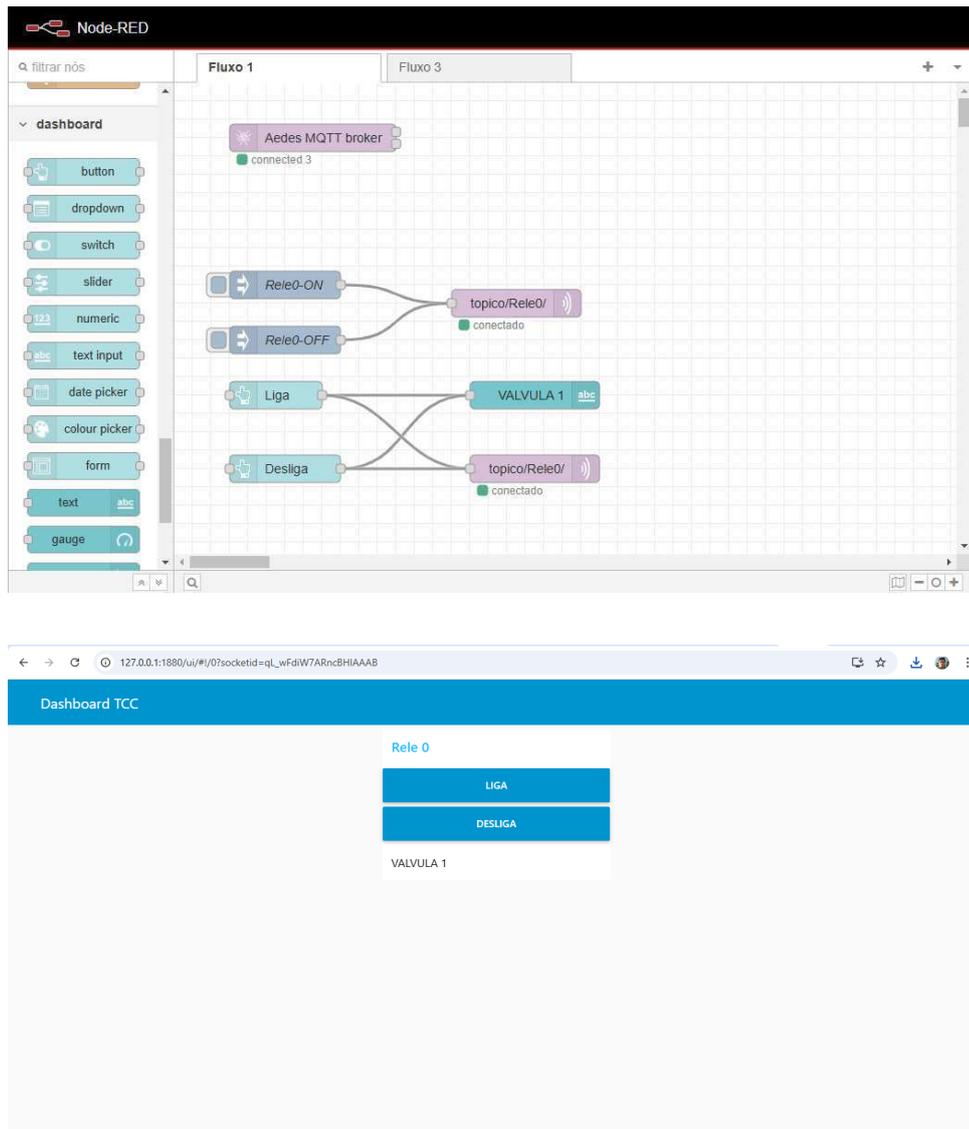
- *Dashboard* no Node-RED:

Etapa referente aos procedimentos para criação de uma interface gráfica para monitoramento dos dados dos sensores e controle das válvulas e da bomba remotamente. Inicialmente foi preciso adicionar os nós referentes ao *dashboard*, para fazer isso seguimos um procedimento semelhante ao adicionar os módulos do MQTT.



Arrastando esses nós para o fluxo, é possível configurar o que deve estar presente no *dashboard*. E para acessar é só entrar link <http://127.0.0.1:1880/ui>.

O fluxo apresentado na figura ??, utiliza dois nós referente aos botões, um texto para facilitar a visualização do que se trata, e um `mqtt out`. Com isso, podemos controlar o relé e visualizar seu status a partir do *dashboard*. Como podemos ver na imagem abaixo.



Podem ser adicionados nós diferentes como gráficos de linha para monitoramento de umidade, indicadores para exibir temperatura, botões para controle manual das válvulas, entre outros.

Além disso o Node-RED disponibilizar formas para armazenar dados em arquivos salvos no dispositivo onde está rodando o servidor local. Mas o armazenamento não será o foco nesse trabalho.

## 4 Resultados e Discussão

Quanto aos resultados obtidos em relação aos estudos e execução, o trabalho focou na concepção do projeto, nos passos necessários para estabelecer uma conexão eficiente e na plataforma de visualização e controle de variáveis disponibilizadas pelo ESP32.

Em relação ao *hardware*, como o microcontrolador ESP32 opera com níveis de tensão de 3.3V e correntes na faixa de miliamperes, qualquer dispositivo externo conectado diretamente aos terminais do ESP32 exige uma análise cuidadosa quanto à compatibilidade elétrica. Para permitir o uso de atuadores industriais, foi projetado um circuito que assegura isolamento galvânica entre os circuitos de potência e controle, utilizando um relé e um optoacoplador. Esse circuito permite o uso da saída digital em nível industrial, possibilitando a conexão segura de dispositivos com demandas de corrente e tensão mais elevadas.

Em relação a interface desenvolvida no dashboard, por meio do Node-RED. Foi desenvolvido algo que permite uma operação prática e intuitiva dos acionamentos. A comunicação bidirecional possibilita o monitoramento das variáveis em tempo real e oferece feedback imediato sobre o estado do sistema. Por exemplo, ao abrir uma válvula, é possível verificar o valor do sensor de fluxo para confirmar o acionamento, e também monitorar o aumento da umidade do solo, verificando se o sistema está operando conforme esperado.

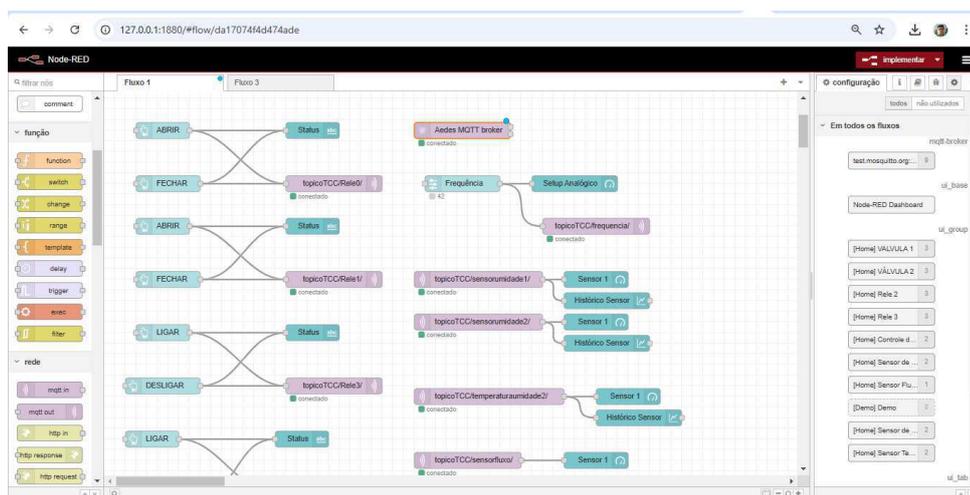


Figura 26 – Node-Red - Fluxo

Para testar a comunicação MQTT entre o broker e o ESP32, foi utilizado o MQTT Explorer, que oferece uma visão geral dos tópicos MQTT na rede. O MQTT Explorer é uma ferramenta de código aberto e apresenta uma análise estruturada dos tópicos do broker.

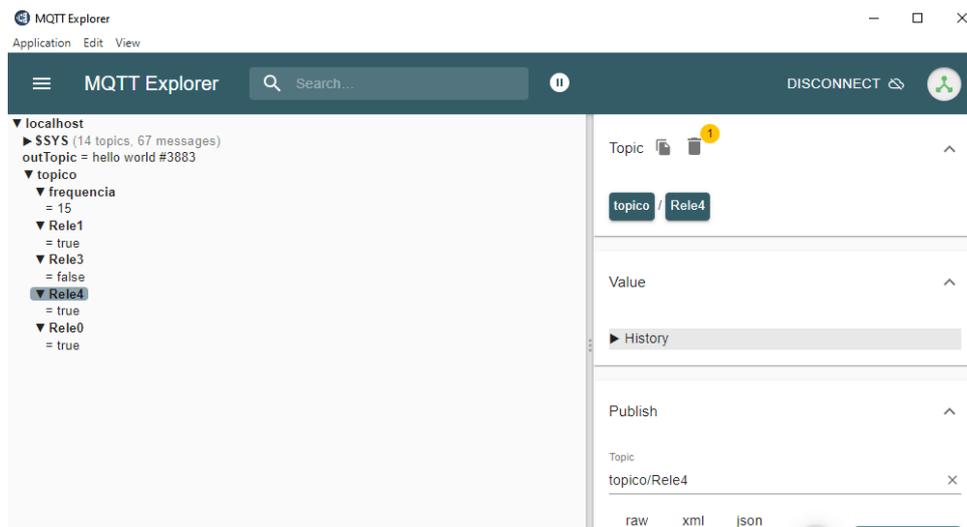


Figura 27 – MQTT Explorer - Tópicos ativos

Os testes iniciais mostraram que o sistema possui uma resposta rápida, com troca de informações consistente entre o ESP32 e o broker, sem perdas de dados.

As interações foram acompanhadas tanto no MQTT Explorer quanto no Monitor serial do VS Code. Onde o contador em Hello Word serviu para testar se a conexão se manteria constante.

```
Publish message: hello world #14
Mensagem Recebida [topico/Rele0/] true
Mensagem Recebida [topico/Rele0/] true
Publish message: hello world #15
Mensagem Recebida [topico/Rele0/] false
Mensagem Recebida [topico/Rele0/] false
Publish message: hello world #16
Mensagem Recebida [topico/Rele0/] true
```

Figura 28 – MQTT ESP32 - VS Code

Após realizar os testes utilizando o *localhost* e o ESP32 físico, foi utilizado o ambiente de simulação Wokwi. Onde foi possível simular o envio de dados do sensor DHT22.

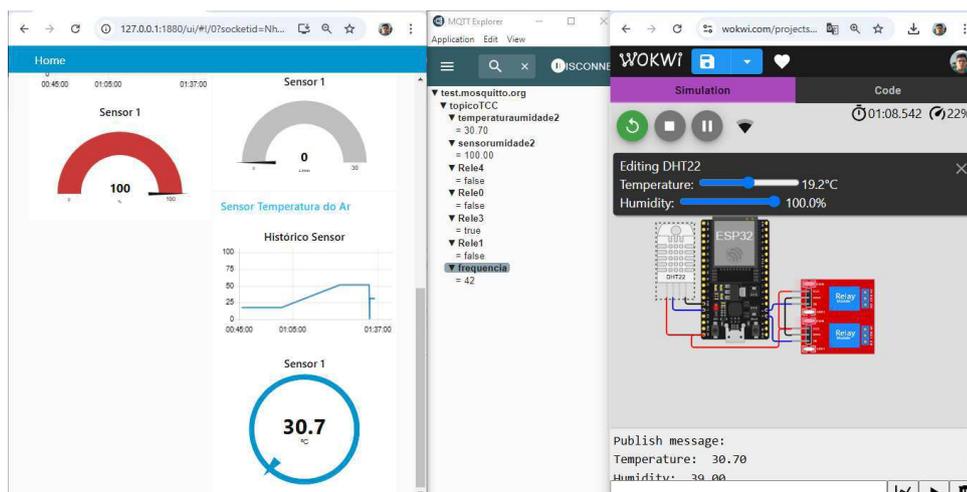


Figura 29 – Simulação Wokwi - 1/2

Para o ambiente de simulação Wokwi foi preciso utilizar o MQTT Broker público, que não apresentou bom desempenho em termos de velocidade de resposta ao comandos, em comparação com o MQTT Broker localhost.

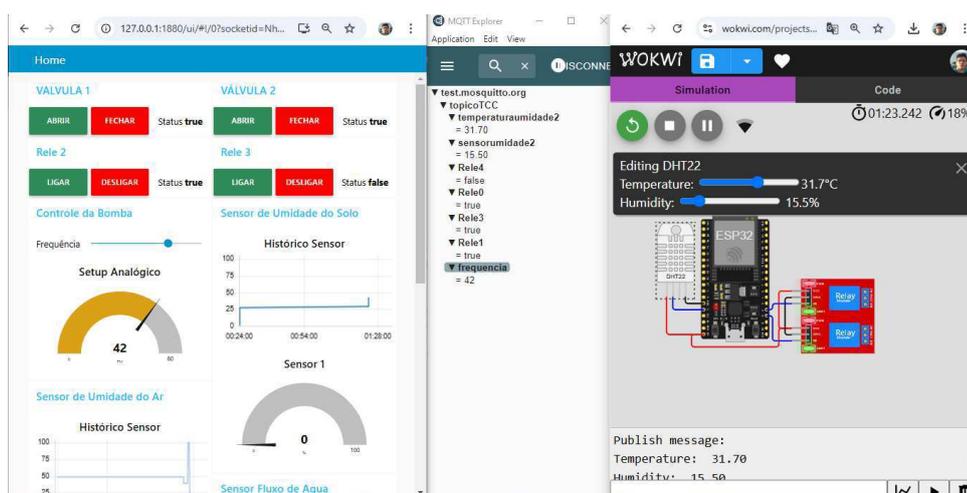


Figura 30 – Simulação Wokwi - 2/2

Embora os testes de consumo real de água não tenham sido realizados, este controle automatizado aponta para uma potencial economia de água ao longo de um ciclo produtivo. O sistema interrompe automaticamente o fluxo ao atingir o nível de umidade desejado, evitando o desperdício que ocorre em sistemas manuais baseados em temporização fixa. Promovendo um uso mais sustentável dos recursos hídricos, especialmente em regiões semiáridas, onde a escassez de água é um desafio.

A arquitetura do sistema permite fácil expansão, possibilitando a adição de novos clientes à rede MQTT sem grandes modificações na configuração existente. Para a implementação em campo, uma solução ideal seria instalar o broker em uma Raspberry Pi, garantindo independência da rede e mantendo os procedimentos de comunicação via

Node-RED. Essa abordagem aumenta a escalabilidade do sistema e a viabilidade de uso em ambientes com pouca infraestrutura de conectividade.

O diagrama final do projeto, ficou com as seguintes conexões.

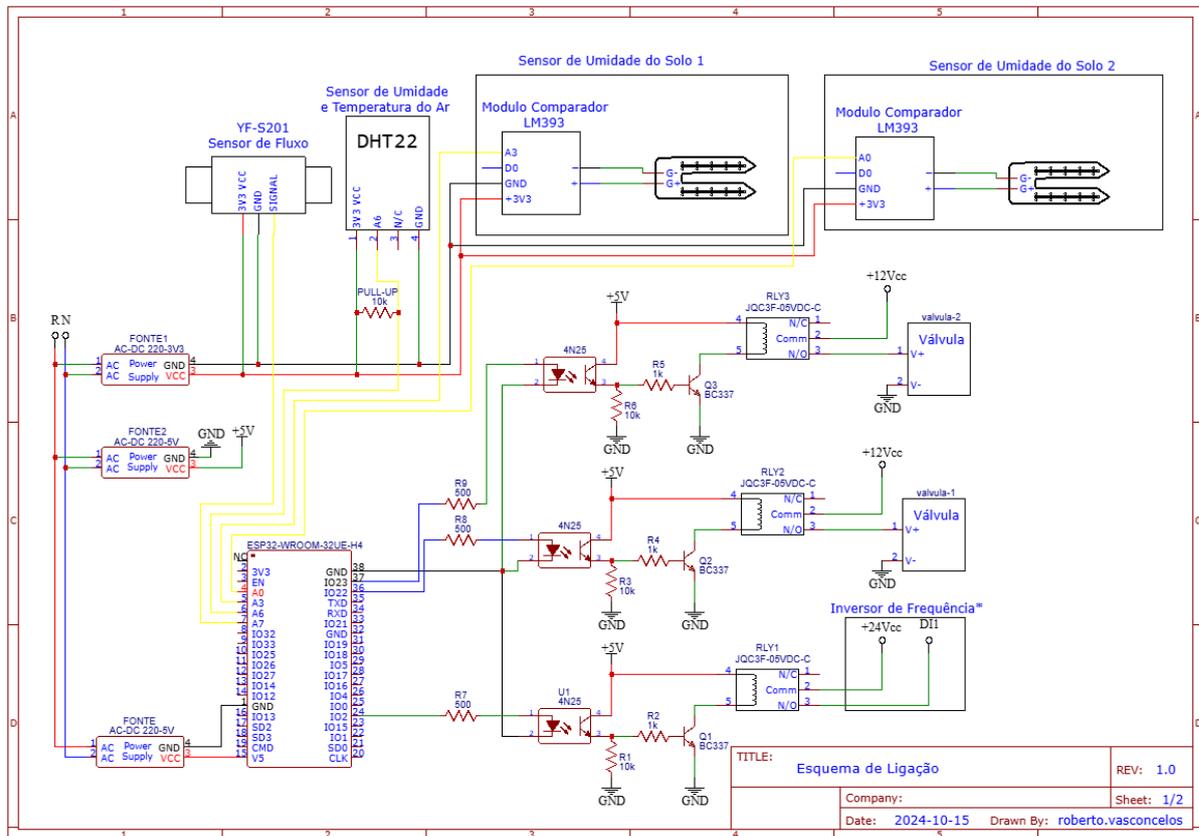


Figura 31 – Esquema Elétrico

O *dashboard* utilizando o Node-Red pode ser acessado em diferentes dispositivos na rede local onde o servidor está sendo executado. Abaixo é apresentado o *dashboard* em um navegador web. Além disso ele pode ser acessado por meio de um navegador mobile.

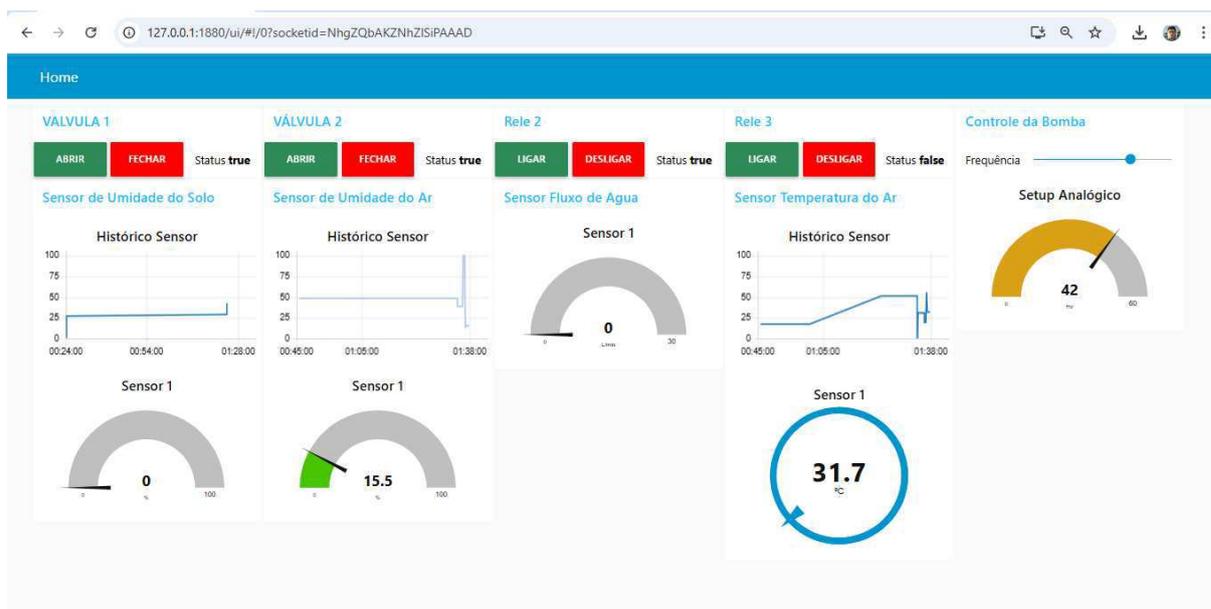


Figura 32 – Dashboard Web

O Node-Red apresenta diversas opções de edição para o *dashboard* de monitoramento. Porém a documentação existente, é limitada. Ficando a cargo do desenvolvedor ter que buscar a forma ideal de utilizar cada "nó".

## 5 Conclusão

O trabalho buscou explorar comunicação entre dispositivos IoT e a possibilidade de controle remoto em tempo real, para projetar um sistema de controle de irrigação automatizado.

Com a análise dos resultados, é possível concluir que a implementação de um sistema com o uso do protocolo MQTT, para comunicação entre o microcontrolador e a interface Node-RED é extremamente útil, por sua facilidade de implementação, velocidade de resposta e escalabilidade. O Node-Red por si só, possui diversos benefícios como a praticidade, amplo suporte para dispositivos e protocolos de comunicações diferentes.

Porem o microcontrolador escolhido mostrou-se limitado ao se tratar de aplicações industriais, devido a existência de restrições para uso em conjunto com sensores ou atuadores que possuem sinais comuns na industria atual, como sinais variáveis de 4-20mA ou digitais de 24V. Sendo necessário assim, acoplar outros módulos e circuitos para que o mesmo desempenhe as funções desejadas.

Em síntese, os objetivos foram alcançados. O sistema projetado permite uma alternativa escalável para controle, com potencial de redução de consumo de água e aumento da precisão na irrigação, por mais que possua limitações.

No projeto, procurou-se contornar essas restrições, com as adaptações apresentadas. Mas um cenário adequado seria utilizar do CLP industrial em conjunto com o Node-Red, por meio dos protocolos de comunicação comumente usados na industria, como OPC-UA. Pois verificou-se que se trata de uma excelente plataforma para visualização e controle, compatível com diferentes necessidades.

# Referências Bibliográficas

- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). PIB do agronegócio brasileiro. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 1 ago. 2024. Nenhuma citação no texto.
- GUILHERME, D. O. et al. Automação do monitoramento e controle na agricultura de precisão. In: Anais do Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC, 2019. Palmas. Nenhuma citação no texto.
- GUIMARÃES, V. G. Automação e monitoramento de sistema de irrigação na agricultura. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Nenhuma citação no texto.
- GARCÍA, Laura et al. IoT-based smart irrigation systems: an overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture. *Sensors*, v. 20, n. 4, p. 1042, 2020. Nenhuma citação no texto.
- ALMEIDA, F. M. Internet das coisas aplicada a domótica. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) - Universidade Federal do Sergipe, Sergipe, 2013. Nenhuma citação no texto.
- ORACLE. Internet of Things. Disponível em: <<https://www.oracle.com/br/internet-of-things/>>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.
- RODIĆ, A. D. Automation and Control, Theory and Practice. Intech, 2009. Nenhuma citação no texto.
- MASSRUHÁ, S. M. F. S. Contribuição da TI para o desenvolvimento agropecuário. Embrapa Informática e Agropecuária, 2018. Nenhuma citação no texto.
- PEREIRA, E. Entenda como a agricultura 4.0 inovou no monitoramento inteligente da lavoura. Cotrijuc, 2019. Nenhuma citação no texto.
- YOHANNES, F.; TADESSE, T. Effect of drip and furrow irrigation and plant spacing on yield of tomato at Dire Dawa, Ethiopia. Alemaya University of Agriculture, 1998. Nenhuma citação no texto.
- SANTOS, Bruno P. et al. Internet das coisas: da teoria à prática. In: Minicursos SBRC - Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2016. Nenhuma citação no texto.

NODE-RED. Node-RED. Disponível em: <<https://nodered.org/>>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.

ALFACOMP. MQTT: conheça o protocolo padrão do IoT. Disponível em: <<https://alfacomp.net/2022/03/24/mqtt-conheca-o-protocolo-padrao-do-iot>>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.

MQTT. Getting Started with MQTT. Disponível em: <<https://mqtt.org/getting-started/>>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.

SIGMA SENSORS. Sigma Sensors. Disponível em: <<https://sigmasensors.com.br>>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.

MTI BRASIL. O que é uma válvula solenóide? Disponível em: <<https://mtibrasil.com.br/blog/pneumatica-geral/valvulas-pneumaticas/o-que-eh-uma-valvula-solenoide>>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.

ABELHA, Pedro Cláudio Freixo. Estágio - TE Connectivity. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.26/8189>>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.

WEG. Manual de aplicação - Solar Pump Drive. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h6a/h3a/WEG-cfw500-manual-de-aplicacao-solar-pump-drive-10005027808.00.pt.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.

NODEJS. Node.js. Disponível em: <<https://nodejs.org/en/>>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.

ELETROGATE. Sensor de umidade de solo com sonda HD-38. Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/sensor-de-umidade-de-solo-com-sonda-hd-38>>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.

ELETROGATE. Sensor de fluxo de água. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/sensor-de-fluxo-de-agua/>>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.

ELETROGATE. Conhecendo o ESP32 - Introdução. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/conhecendo-o-esp32-introducao-1/>>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.

Espressif Systems. ESP32 Datasheet. Disponível em: <[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.

Seeed Studio. How to Use Water Flow Sensor with Arduino. Disponível em: <<https://www.seeedstudio.com/blog/2020/05/11/how-to-use-water-flow-sensor-with-arduino/>>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.

ALFACOMP. Inversor de Frequência: Como Funciona. Disponível em: <<https://alfacomp.net/2022/02/05/inversor-de-frequencia-como-funciona/>>. Acesso em: 30 out. 2024. Nenhuma citação no texto.

WEG. Manual de Programação - CFW500. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h4a/hb4/WEG-CFW500-manual-de-programacao-10006739493-pt.pdf>>. Acesso em: 1 nov. 2024. Nenhuma citação no texto.