

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES  
*CAMPUS PATOS DE MINAS*

THIAGO PEREIRA DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE MÓDULOS DE SENSORIAMENTO PARA A  
SUPERVISÃO E CONTROLE DE FAZENDAS VERTICAIS**

PATOS DE MINAS - MG

2023

THIAGO PEREIRA DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE MÓDULOS DE SENSORIAMENTO PARA A  
SUPERVISÃO E CONTROLE DE FAZENDAS VERTICAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como requisito para conclusão do projeto final de curso de graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr Daniel Costa Ramos

PATOS DE MINAS – MG

2023

THIAGO PEREIRA DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE MÓDULOS DE SENSORIAMENTO PARA A  
SUPERVISÃO E CONTROLE DE FAZENDAS VERTICAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia como requisito parcial para conclusão do  
projeto de final de curso de graduação em Engenharia  
Eletrônica e de Telecomunicações da Faculdade de  
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Costa Ramos.

Patos de Minas, 30 de junho de 2023

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Daniel Costa Ramos – FEELT/UFU (Orientador)

---

Prof. Dra. Karine Carbonaro – FEELT/UFU (Membro 1)

---

Prof. Dra. Eliana Pantaleão – FACOM/UFU (Membro 2)

## RESUMO

O uso de novas tecnologias na indústria e no campo tem conduzido uma revolução na forma de atuar nas mais diversas áreas, incluindo a agricultura. A área atualmente denominada de Agricultura 4.0 ou Smart Farms, promove a integração de diversos sensores e equipamentos com objetivo de melhorar o desempenho, na qual os conhecimentos antes confinados à indústria e à área de telecomunicações, podem ser aplicados nos mais diversos contextos. Um destes contextos, ligados a Agricultura 4.0, são as estufas monitoradas e as fazendas verticais, onde todas as variáveis pertinentes a plantação são monitoradas em um ambiente controlado, utilizando redes de comunicação e tratamento de dados. Dada a diversidade e custo de sistemas para esta aplicação, é proposto neste trabalho o desenvolvimento de um sistema de monitoramento para plantação *indoor* modular de baixo custo, com objetivo de ser modular e acessível aos pequenos agricultores. Para elaboração do protótipo, foram utilizados módulos com conectividade Wi-Fi que comunicam com a central de banco de dados, responsável por armazenar os dados provenientes dos sensores. Um site em HTML e um projeto no Power BI foram criados para visualização dos dados coletados. Essa solução permite monitorar remotamente e de forma automatizada as condições do solo e do ambiente. Como resultado, temos o desenvolvimento de um módulo com microcontrolador ESP para coletar e transmitir dados de umidade do solo, umidade do ar e temperatura. As informações são armazenadas em um banco de dados via Wi-Fi para uso posterior.

**Palavras-chave:** fazenda vertical; ESP8266; Wi-Fi; agricultura 4.0.

## ABSTRACT

The usage of new technologies in industry and farms has been leading a revolution in the way of acting in several fields, including agriculture. The area, currently called Agriculture 4.0 or Smart Farms, promotes the integration of several sensors and equipment aiming to improve performance, in which the previously restricted knowledge from the industry and the telecommunications area, can be applied in the most diverse contexts. One of these contexts, linked to Agriculture 4.0, are the greenhouses and the vertical farms monitoring, where all variables which are relevant to the plantation are monitored in a controlled environment, using communication networks and data processing. Given the diversity and systems cost for this application, it is proposed in this work a monitoring system development for low-cost modular indoor planting, aiming to be modular and accessible to small farmers. To develop the prototype, modules with Wi-Fi connectivity were used, which enabled the communication with the central database, responsible for storing the data coming from the sensors. An HTML website and a Power BI project were created for data visualization. This solution enables remote and automated monitoring of soil and environmental conditions. As a result, a module with an ESP microcontroller was developed to collect and transmit data on soil moisture, air humidity, and temperature. The information is stored in a Wi-Fi-connected database for future use.

Keywords: vertical farm; ESP8266; Wi-Fi; agriculture 4.0.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estufa para plantio de vegetais e plantio vertical em estufa. ....	13
Figura 2 - Fazenda vertical. ....	14
Figura 3 - Fluxograma do projeto. ....	15
Figura 4 - Sistema de monitoramento e controle de temperatura. ....	16
Figura 5 - Diagrama de blocos do sistema. ....	17
Figura 6 - Maquete de estufa controlada para plantio de hortaliças. ....	17
Figura 7 - Fazenda Vertical. ....	19
Figura 8 - Sensor DHT11. ....	20
Figura 9 - Sensor Umidade do solo. ....	21
Figura 10 - Portas ESP8266. ....	23
Figura 11 - Endereçamento IP. ....	25
Figura 12 - Protótipo do módulo de sensoriamento ....	28
Figura 13 - Idealização da maquete e dos módulos para o projeto. ....	29
Figura 14 - Circuito eletrônico ....	32
Figura 15 - Placa de fenolite. ....	32
Figura 16 - Protótipo ....	33
Figura 17 - Teste do circuito ....	33
Figura 18 - Nova estufa com Tela ....	35
Figura 19 - Instalação dos leds ....	36
Figura 20 - Estufa finalizada ....	36
Figura 21 - Diagrama dos sensores ....	37
Figura 22 - Ponte H L298n. ....	38
Figura 23 - Teste de tensão da ponte H ....	38
Figura 24 - Módulo finalizado. ....	39
Figura 25 - Módulo posicionado na estufa ....	40
Figura 26 - Interface XAMPP ....	40
Figura 27 - Interface phpMyAdmin ....	41
Figura 28 - Esquema final do projeto. ....	46
Figura 29 - Visão dos dados ....	46
Figura 30 - Página Inicial do Site ....	49
Figura 31 - Seleção de data no site. ....	49
Figura 32 - Conexão do banco de dados no Power BI ....	55

Figura 33 - Tabela de dados no Power BI. ....	55
Figura 34 - Modulo finalizado e instalado na estufa. ....	57
Figura 35 - Dados disponíveis na tabela de dados. ....	58
Figura 36 - Sistema de Irrigação.....	59
Figura 37 - Tabela com dados dos sensores. ....	59
Figura 38 - Gráfico de Temperatura. ....	60
Figura 39 - Gráfico de Umidade do solo. ....	60
Figura 40 - Gráfico de Umidade do ar.....	60
Figura 41 - Visualização do Power BI .....	61

## LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1 - Especificações DHT11. ....	21
Tabela 2 - Especificações Sensor de solo .....	22
Tabela 3 - Especificações ESP. ....	23
Tabela 4 - Principais componentes utilizados e respectivos custos.....	29



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LoRaWAN	<i>Arquitetura do sistema Lora</i>
ZigBee	<i>Padrão de rede sem fio</i>
Wi-Fi	<i>Padrão de rede sem fio</i>
IEEE	<i>Padrão de rede sem fio</i>
GPS	<i>Sistema de Posicionamento Global</i>
GSM	<i>Sistema Global para Comunicação Móvel</i>
GPRS	<i>Serviços gerais de Pacote por Rádio</i>
ESP8266	<i>Módulo de conexão Wi-Fi</i>
GHz	<i>Giga Hertz</i>
°C	<i>Graus Celsius</i>
mm	<i>Milímetros</i>
cm	<i>Centímetros</i>
s	<i>Segundos</i>
V	<i>Volts</i>
VCC	<i>Tensão em corrente contínua</i>
GND	<i>Filtro graduado de densidade neutra (terra)</i>
mA	<i>Miliampere</i>
KB	<i>Quilobyte</i>
MB	<i>Megabyte</i>
mW	<i>Miliwatt</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1	TEMA DO PROJETO.....	12
1.2	PROBLEMATIZAÇÃO .....	12
1.3	OBJETIVOS .....	14
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>14</b>
1.4	JUSTIFICATIVA.....	15
1.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
2.1	ESTUFAS E FAZENDAS VERTICAIS .....	19
<b>2.2</b>	<b>SENSORES</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.1</b>	<b>DHT 11</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Sensor de Umidade de Solo</b> .....	<b>21</b>
2.3	MÓDULO ESP .....	22
<b>2.3.1</b>	<b>ESP 8266</b> .....	<b>22</b>
2.4	COMUNICAÇÃO WI-FI.....	24
2.5	GERENCIADOR MYSQL .....	25
2.6	POWER BI .....	26
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
3.1	EXPERIMENTO ANTERIOR.....	27
3.2	MATERIAIS.....	28
3.3	METODOLOGIA .....	29
<b>3.3.1</b>	<b>Desenvolvimento Inicial do Projeto</b> .....	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>35</b>
4.1	CONSTRUÇÃO DA ESTUFA.....	35
4.2	MODIFICAÇÃO DOS MÓDULOS.....	37
4.3	COMUNICAÇÃO COM O BANCO DE DADOS .....	40
<b>4.3.1</b>	<b>Visualização do Monitoramento</b> .....	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com os frequentes avanços tecnológicos, tanto na área de eletrônica como na de comunicação sem fio, torna-se viável econômica e tecnologicamente o desenvolvimento de dispositivos de monitoramento e controle remoto para os mais diversos fins. Isto, aliado à crescente necessidade de velocidade na obtenção de informações, promoveu consideravelmente as redes de sensores sem fio, que enviam em tempo real informações pertinentes comumente usadas para controle e segurança (GARCIA, 2018).

Com essa crescente evolução, várias possibilidades de projetos e estudos na área de monitoramento e controle se tornam viáveis, visto que a graduação de Engenharia Eletrônica e de telecomunicações traz aos estudantes conhecimentos de eletrônica e programação, o que possibilita o manuseio de tecnologias usadas no meio.

Dentre as tecnologias mais utilizadas nas redes de sensores sem fio, é possível destacar (GARCIA, 2018): o Wi-Fi (IEEE 802.11 g/n), o LoRaWAN, o ZigBee (IEEE 802.15.4), e o Bluetooth (IEEE 802.15). O LoRaWAN permite comunicação de rádio frequência em longas distâncias, sendo frequentemente utilizada em zonas rurais, podendo atingir até 12 km de alcance com um consumo mínimo de energia. ZigBee é utilizado em aplicações que demandam baixo custo de implementação, baixa potência e baixa taxa de transmissão de dados. O Bluetooth é um protocolo que foi primariamente projetado para operar com baixo consumo de energia e baixo alcance, mas dependendo da potência e da sua versão, pode atingir até distâncias superiores a 100 metros.

Essa gama de tecnologias sem fio permite realizar a leitura de informações nas mais variadas distâncias e aplicações. Dentre as aplicações de monitoramento sem fio, é possível destacar o monitoramento residencial (JUNIOR, 2017), monitoramento ambiental de animais (GRANDE, 2014), o monitoramento eletrônico de pessoas (MASIERO, 2018) e o monitoramento de plantações (JANNUZZI, 2017). O monitoramento residencial visa, a segurança da residência desde gravações de vídeo em tempo real ou com sistema de armazenamento, ao uso de sensores para acionamento de alarme (JUNIOR, 2017). No monitoramento de animais, podemos nos referir as tecnologias de monitoramento que transmitem dados via sinais eletromagnéticos a um receptor, possibilitando a localização de animais, geralmente por sinais de GPS e GSM/GPRS (GRANDE, 2014). O monitoramento de pessoas se faz necessário, geralmente, para o cumprimento de penas judiciais, consistindo em

um equipamento com transmissor capaz de enviar em tempo real a localização exata do equipamento, geralmente no formato de uma tornozeleira (MASIERO, 2018).

Dentre as várias possibilidades de uso das tecnologias de monitoramento e conexão sem fio, destaca-se a aplicação em monitoramento de plantações, estufas e fazendas verticais, trazendo novas possibilidades para um meio, geralmente realizado em fazendas afastadas dos grandes centros. Com isso, torna-se possível o cultivo de diversos tipos de plantio em locais fechados e próximos dos centros comerciais, com economia de insumos e mão de obra, além da economia com o transporte para os locais de consumo. E ainda com a grande utilização do Wi-Fi no dia a dia, o custo de tecnologias com essa conexão cai cada vez mais.

O uso de novas tecnologias na indústria e no campo tem conduzido uma revolução na forma de atuar nos mais diversos campos, incluindo a agricultura. A área atualmente denominada de agricultura 4.0 ou Smart Farms, promove a integração de diversos sensores e equipamentos com objetivo de melhorar o desempenho, na qual os conhecimentos antes confinados à indústria e à área de telecomunicações, podem ser aplicados nos mais diversos contextos. Um destes contextos, ligados a Agricultura 4.0, são as estufas monitoradas e as fazendas verticais, onde todas as variáveis pertinentes a plantação são monitoradas em um ambiente controlado, utilizando redes de comunicação e tratamento de dados.

## 1.1 TEMA DO PROJETO

Dada a diversidade e custo de sistemas para esta aplicação, é proposto neste trabalho o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de sensores, com conectividade Wi-Fi, para plantação *indoor* de baixo custo, com objetivo de ser modular e acessível aos pequenos agricultores.

## 1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

O monitoramento no meio agrícola se torna necessário quando se leva em consideração a economia gerada, o aumento da qualidade e produtividade ocasionada por uma melhor obtenção de informações (DIAS,2018). Essa economia se deve ao fato de que, com um maior monitoramento, é possível regular o uso de energia, água, fertilizante, e outros materiais, pois com as análises e informações obtidas, é possível evitar o desperdício e usar somente o necessário.

A utilização e os benefícios de novas tecnologias no campo são evidentes, sendo um campo denominado de Agricultura 4.0 ou Smart Farming (BACO, 2018), termos originados da

Indústria 4.0, que caracteriza o mesmo impacto que as tecnologias tiveram na automação industrial. Em geral, quando se fala em agricultura 4.0, refere-se a conjuntos de tecnologias digitais, que, integradas e conectadas por meio de softwares e sistemas, são capazes de otimizar a produção agrícola, em todas as etapas que a regem.

Mesmo com estas tecnologias, as plantações em campo aberto sofrem com as constantes mudanças climáticas, causando alterações nas fases de reprodução e de desenvolvimento de vários tipos de culturas agrícolas, tornando muito difícil o controle da produtividade dos produtos cultivados. Isto aliado à falta de estrutura tecnológica em regiões de plantio, tem motivado a migração das plantações para estufas e fazendas verticais próximas aos centros urbanos, principalmente em países desenvolvidos.

As inovações tecnológicas também viabilizaram uma maior diversidade de estufas controladas (Figura 1) e as chamadas fazendas verticais (Figura 2), que são produções agrícolas que podem ser implementadas em construções urbanas (SNA, 2017). Esse sistema envolve a produção agrícola controlada em construções urbanas e prédios, onde todas as variáveis ambientais são monitoradas e controladas, permitindo o dobro ou até o triplo de desempenho em comparação à agricultura tradicional (SNA, 2017). Já em (AMARAL, 2018), é afirmado que a produção tradicional tem uma perda média de 30% do potencial plantado, enquanto as perdas nas fazendas verticais são reduzidas a um percentual menor que 1%.

Figura 1 - Estufa para plantio de vegetais e plantio vertical em estufa.



Fonte: (NEGREIRA, 2014)

Apesar das tecnologias existentes, grande parte dos locais onde se cultivam plantas contam somente com o monitoramento e conhecimento humano para o cuidado do plantio, geralmente com muito pouco uso de tecnologia para isso.

A falta de tecnologia agrícola em pequenos cultivos, se dá principalmente pelo alto custo dos projetos existentes, que são geralmente empregados somente em grandes fazendas. A

existência de projetos de monitoramento de baixo custo permitiria a sua utilização na agricultura familiar e em estufas e fazendas residenciais.

Figura 2 - Fazenda vertical.



Fonte: (AMARAL,2018)

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral na realização deste trabalho é o desenvolvimento de módulos de sensoriamento de baixo custo, que sejam capazes de monitorar, de forma autônoma, fazendas verticais e estufas, realizando a comunicação com um servidor.

Por meio de sensores conectados, o módulo será capaz de se conectar a uma rede Wi-Fi e enviar todas as informações dos sensores em tempo real a um banco de dados. Além disso, o módulo também será capaz de controlar, de forma autônoma por uma programação prévia, irrigação e luminosidade, conforme a necessidade avaliada pelo processamento dos dados colhidos no monitoramento. Nesse caso, as informações obtidas pelos sensores ficarão disponíveis no banco de dados, e o controle de irrigação e luminosidade será autônomo, de acordo com a necessidade da plantação.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

Para concluir o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

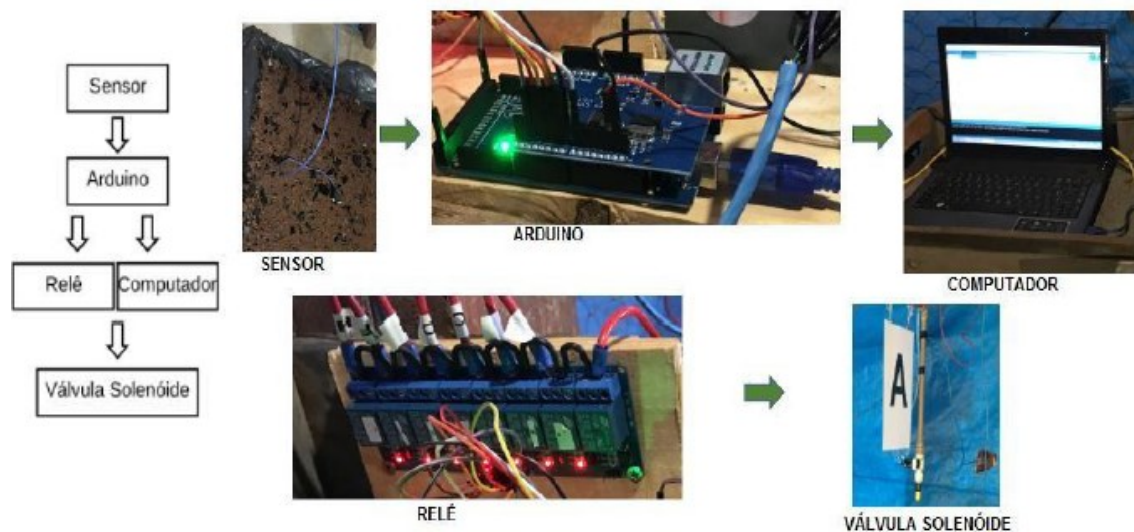
- *Objetivo Específico 1:* Projetar e construir uma estufa pequena, que seja possível a instalação dos módulos de sensoriamento.
- *Objetivo Específico 2:* Projetar e testar os módulos de sensoriamento para utilização na estufa.
- *Objetivo Específico 3:* Avaliar o desempenho do protótipo com um cultivo real.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

O estudo e construção de formas de monitoramento em estufas e fazendas verticais é algo bastante recorrente, visto que os sistemas são desenvolvidos e aplicados somente ao tipo de plantio no qual se quer monitorar. Outra grande vertente de estudos e implementações está relacionada com a tecnologia de comunicação sem fio utilizada, visto que depende diretamente do tamanho da estufa e do acesso a esse tipo de conexão.

Um exemplo desta diversidade é o trabalho de Girardi (GIRARDI, 2018), que visa o controle e monitoramento de canteiros de cogumelo em cultivo familiar, utilizando o Arduino MEGA 2560 como microcontrolador, armazenando os dados colhidos dos sensores em uma plataforma web de Internet das coisas, chamada Thingsboard. Os principais sensores utilizados neste tipo de plantio são o de umidade e o de temperatura, além do acionamento válvulas solenoides para irrigação. Neste projeto é utilizada uma rede cabeada para comunicação dos sensores com o microcontrolador e deste com a central de monitoramento (computador) (Figura 3).

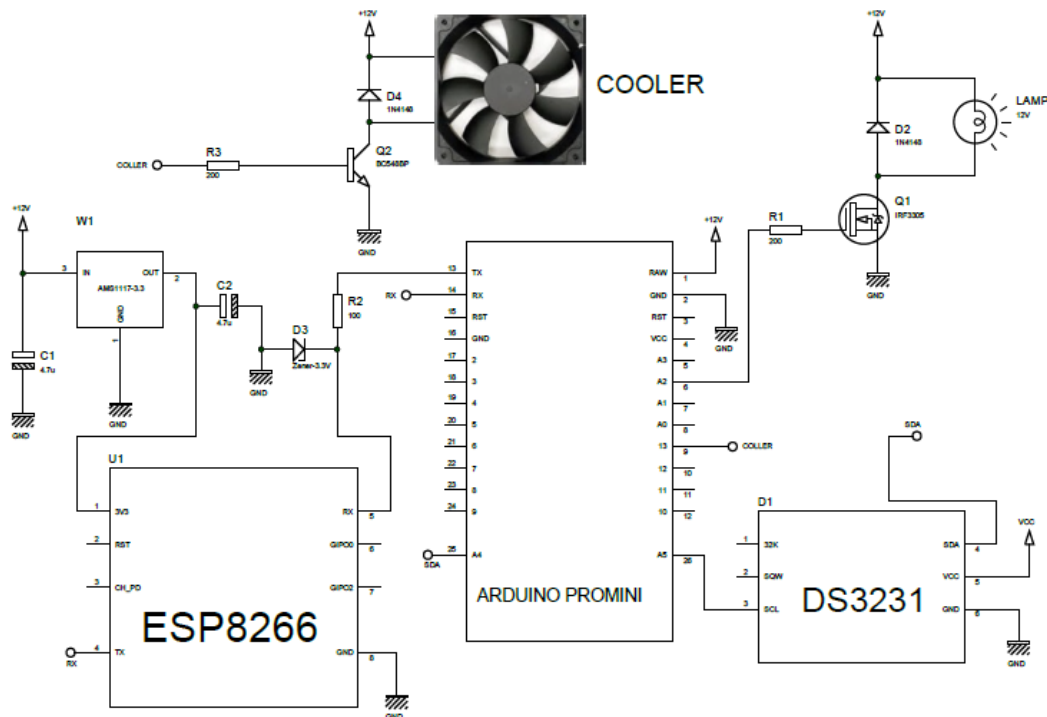
Figura 3 - Fluxograma do projeto.



Fonte: (GIRARDI, 2018)

O projeto de Santos (SANTOS, 2016), visa o estudo de um sistema de controle de temperatura de estufas de baixo custo com monitoramento via aplicativo para dispositivo móvel. No estudo, procura-se aumentar a velocidade de controle de temperatura, evitando variações bruscas. Para isso, utiliza-se como atuadores um *cooler* e uma lâmpada, ligados a um Arduino Promini (Figura 3). No projeto em questão também é utilizado o ESP8266 para enviar dados a um servidor (Raspberry Pi), armazenando os dados em um banco de dados que pode ser acessado por aplicação móvel.

Figura 4 - Sistema de monitoramento e controle de temperatura.



Fonte: (SANTOS, 2016).

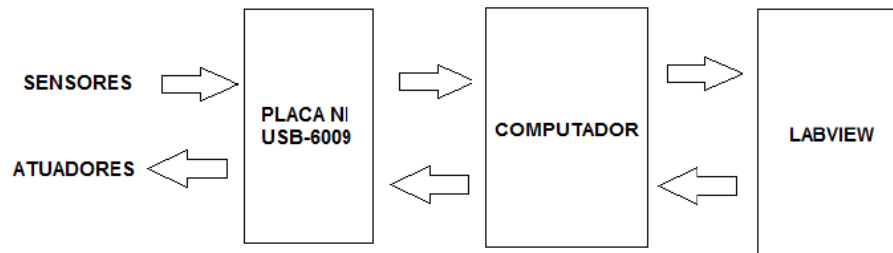
A utilização de comunicação sem fio visa resolver problemas na velocidade de obtenção de informações em cultivos controlados, pois é possível consultar esses dados armazenados em outros locais, sem a necessidade de monitoramento presencial constante por parte de funcionários.

Seguindo outra vertente para a comunicação sem fio, Sampaio (SAMPAIO, 2016) demonstra o projeto e implementação de um sistema de monitoramento de estufa agrícola, utilizando uma rede hierárquica de sensores sem fio (RSSF) com tecnologia Zigbee. No projeto, os nós sensores, de nível hierárquico mais baixo, enviam dados para um nó intermediário, denominado roteador, e ele envia essas informações a um nó coordenador, de mais alto nível hierárquico.

No trabalho de Bitencourt (BITENCOURT, 2013), foi proposto desenvolver um sistema de monitoramento e controle das variáveis que atuam diretamente no cultivo de hortaliças em estufas hidropônicas. O projeto, ocorre a captação de informação de vários sensores em tempo real e, ao mesmo tempo, essas informações são analisadas e processadas utilizando Lógica Fuzzy contida no software LabView.



Figura 5 - Diagrama de blocos do sistema.



Fonte: (BITENCOURT, 2013).

Outro trabalho interessante nesta área foi desenvolvido por Fernandes (FERNANDES, 2017), onde é proposta uma solução automatizada para o controle da temperatura, luminosidade e umidade do solo em estufas, voltado para pequenos e médios produtores rurais de hortaliças. A comunicação do protótipo com o banco de dados é realizada via rede cabeada, mas a conexão do usuário ao banco de dados é feita via Wi-Fi por meio do roteador *wireless* (Figura 6).

Figura 6 - Maquete de estufa controlada para plantio de hortaliças.



Fonte: (FERNANDES, 2017).

Os trabalhos citados serão utilizados como inspiração para a construção da estufa e do módulo. Diferente do trabalho de Girardi (GIRARDI, 2018), será utilizada uma rede sem fio para conectar o módulo ao computador e enviar os dados dos sensores para a base de dados, mas com conexão Wi-Fi, diferente do projeto do Sampaio (SAMPAIO, 2016), que usou a tecnologia ZigBee.

A maquete desenvolvida por Fernandes (FERNANDES, 2017) traz um conceito bem interessante de monitoramento, que será usada como inspiração para a escolha dos sensores utilizados.

## 1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao considerar que este é um tópico relativamente recente e que a implementação de uma rede de monitoramento de uma fazenda vertical exige diversos módulos interconectados e espalhados pelo ambiente, é proposto neste projeto construir um aparato de monitoramento constituído de um conjunto de nós de monitoramento com sensores aplicados à supervisão e controle de fazendas verticais.

No referencial teórico, são apresentados alguns tópicos relacionados as tecnologias envolvidas no projeto, com o intuito de explicar os conceitos necessários ao leitor. É importante entender os conceitos de fazendas verticais, pois será a aplicação principal para qual o módulo será desenvolvido. Para entender como funcionam os sensores, será também apresentado no referencial um texto com as especificações de cada sensor e componente utilizado no processo. O referencial teórico é finalizado abordando o tipo de conexão e como os dados serão armazenados, explicando sobre a conexão Wi-Fi e sobre o *software* de armazenamento de dados utilizado no projeto.

Na seção de materiais e métodos, temos todos os materiais utilizados no projeto, além de informações da execução do projeto. Por fim, o trabalho é encerrado com a apresentação dos resultados e a conclusão.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O trabalho engloba diversas áreas de estudo e diversas tecnologias. Para ser possível um maior entendimento, nesse módulo, iremos nos aprofundar em diversos assuntos relacionados à prática desenvolvida: fazendas verticais, sensor de temperatura, sensor de umidade do ar e do solo, microcontroladores, sistema de gerenciamento de banco de dados MySQL e comunicação Wi-Fi.

### 2.1 ESTUFAS E FAZENDAS VERTICAIS

O conceito de fazendas verticais será muito importante para o trabalho, pois o projeto tem como aplicação, a utilização em pequenos locais de plantio. Podemos definir fazenda vertical como um conjunto, geralmente automatizado, de locais propícios para a produção de alimentos e medicamentos, organizadas em diversas camadas verticais. Tem o propósito de causar baixo impacto ambiental, além da possibilidade de ser instalada em ambientes urbanos, pois foi pensada para aproveitar ao máximo o espaço físico.

Fazendas verticais e estufas tem como vantagem a proximidade do consumidor, reduzindo significativamente os custos de transporte, além de possibilitar um alimento mais fresco na mesa dos consumidores.

Figura 7 - Fazenda Vertical.



Fonte: (SNA, 2017)

## 2.2 SENSORES

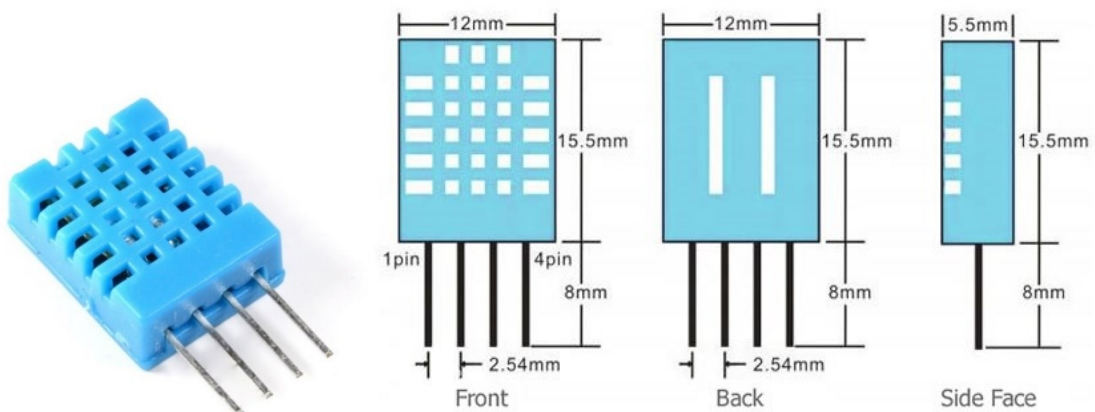
No trabalho prático, será essencial coletar as informações do plantio de forma eficaz. Para conseguir obter as informações de temperatura e umidade, serão utilizados sensores conectados ao microcontrolador. Para se obter a temperatura e umidade do ar, será utilizado um único sensor, conhecido como DHT 11. Será utilizado também um sensor de resistividade do solo, para a obtenção da umidade do solo. Cada sensor tem uma especificação técnica diferente, então será preciso entender as características de cada sensor, para ser possível utilizá-los da forma correta no projeto.

### 2.2.1 DHT 11

O sensor de umidade e temperatura DHT11 terá grande importância, pois é um sensor capaz de realizar leituras de temperatura e umidade (IOT, 2019), sendo as leituras de temperatura cobrindo a faixa de 0° a 50 °C e umidade entre 20 e 90%. É um sensor muito utilizado em projetos de prototipagem, pois é de baixo custo e bons resultados.

Assim, com apenas um sensor, será possível coletar informações de temperatura e umidade do ar, ajudando na otimização do projeto. Na Figura 8 e na Tabela 1 são apresentadas as especificações técnicas do sensor, importantes para a ligação eletrônica e obtenção das leituras.

Figura 8 - Sensor DHT11.



Fonte: (IOT, 2019)

Tabela 1 - Especificações DHT11.

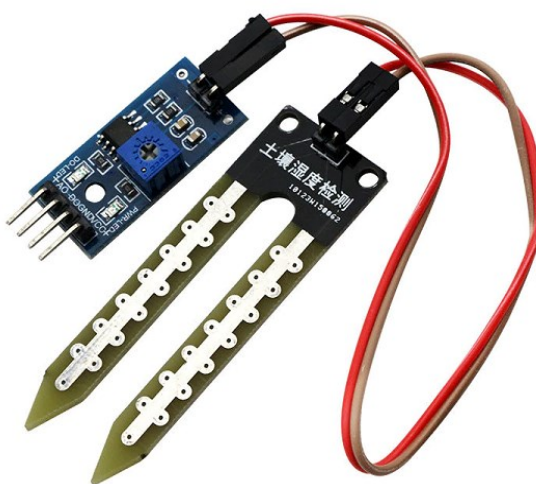
<b>Especificações:</b>	
<b>Faixa de medição de umidade</b>	20 a 90% UR
<b>Faixa de medição de temperatura</b>	0° a 50 °C
<b>Alimentação</b>	3-5VDC (5,5VDC máximo)
<b>Corrente</b>	200 uA a 500 mA, em stand by de 100 uA a 150 uA
<b>Precisão de umidade de medição</b>	± 5,0% UR
<b>Precisão de medição de temperatura</b>	± 2.0°C
<b>Tempo de resposta</b>	2 s
<b>Dimensões</b>	23 x 12 x 5 mm (incluindo terminais)
<b>Faixa de medição de umidade</b>	20 a 90% UR
<b>Faixa de medição de temperatura</b>	0° a 50°C

Fonte: (IOT, 2019)

### 2.2.2 Sensor de Umidade de Solo.

Esse é o sensor que será responsável pela coleta da umidade do solo. É um sensor capaz de detectar a resistividade da terra, medindo assim a umidade presente no solo. Esse sensor deve ser introduzido no solo que se deseja medir a umidade. A saída desse sensor libera um nível lógico alto quando a umidade está baixa, e um nível baixo quando a umidade está alta, e assim, será possível avaliar quando é necessário ativar ou não o sistema de irrigação. Na Tabela 2, são indicadas as especificações técnicas do sensor.

Figura 9 - Sensor Umidade do solo.



Fonte: (MASTERWALKER,2021)

Tabela 2 - Especificações Sensor de solo

<b>Especificações:</b>	
<b>Tensão de operação</b>	3,3-5 V
<b>Ajuste</b>	Sensibilidade ajustável via potenciometro
<b>Saídas</b>	Digital e analógica (D0 e A0)
<b>Indicadores</b>	Led vermelho(tensão) e led verde (saída digital)
<b>Comparador</b>	LM393
<b>Dimensão PCB</b>	3x1,5 cm
<b>Dimensão sonda</b>	6x2 cm
<b>Comprimento cabo</b>	21 cm
<b>Faixa de medição de umidade</b>	20 a 90% UR
<b>Faixa de medição de temperatura</b>	0° a 50°C

**Fonte:** (MASTERWALKER,2021)

### 2.3 MÓDULO ESP

Para a construção do módulo, é necessário um microcontrolador capaz de receber as informações dos sensores, se conectar a uma rede Wi-Fi e enviar as informações colhidas pelos sensores. Além disso, o módulo será responsável por gerenciar atuadores como a mini bomba de água. Um microcontrolador capaz de realizar todas essas funções é o ESP. É um poderoso microcontrolador muito semelhante ao funcionamento do Arduino, pois também se trata de uma placa de desenvolvimento que possui inúmeros recursos para a criação de projetos. Mas com o diferencial de ter integrado ao sistema de conexão Wi-Fi.

Além disso, ele possui conexão bluetooth, várias GPIOs, várias entradas e saídas analógicas e digitais, além de um processador dual-core. Existem vários modelos de microcontrolador ESP, como o ESP32 e o ESP8266, que posteriormente evoluiu para o ESP8266 NODE MCU. Pela facilidade de utilização e pela conexão Wi-Fi, é um módulo bastante usado no desenvolvimento de projetos, se tornando uma referência em projetos de automação.

#### 2.3.1 ESP 8266

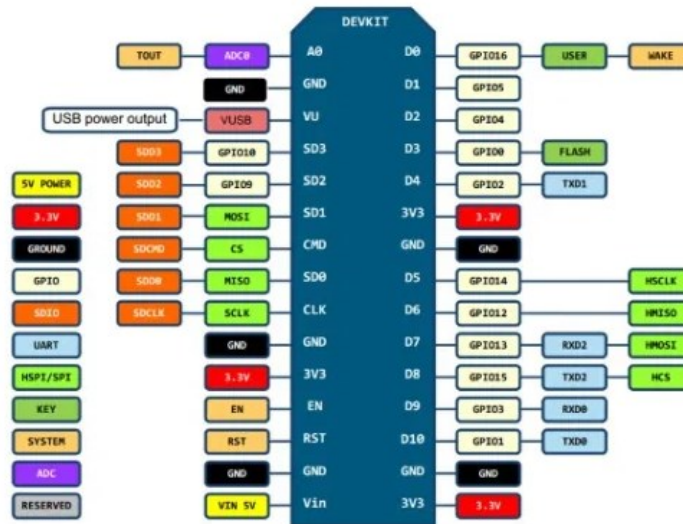
Para o projeto dos módulos de controle e monitoramento, o modelo ESP utilizado é o ESP 8266 nodeMCU, que vem como uma placa nodeMCU, que possui conversor Serial, regulador de tensão próprio, pinos próprios para i2C, SPI, analógicos e outros.

A programação desse módulo pode ser realizada através da IDE do Arduino, facilitando a sua utilização. No módulo, será conectado por meio de cabos os sensores e atuadores do

projeto, sendo muito importante conhecer as especificações técnicas do microcontrolador, para escolher as entradas e saídas nas quais serão feitas as ligações.

Além dos sensores e atuadores, a parte de alimentação de energia é muito importante. Na Figura 10, são indicados todos os pinos disponíveis no microcontrolador, e as especificações técnicas na Tabela 3.

Figura 10 - Portas ESP8266.



Fonte: (IOT, 2019)

Tabela 3 - Especificações ESP.

<b>Especificações:</b>	
<b>Programação e Alimentação</b>	Micro-USB
<b>Chip USB</b>	Serial CH340
<b>Tensão de operação</b>	5V – 9V (Via MicroUSB e pino VIN);
<b>Chip WiFi</b>	ESP8266 - 12E com conexão Wi-Fi padrão 802.11 b/g/n e antena embutida
<b>Alcance da antena</b>	90m;
<b>Memória RAM</b>	20 KB
<b>Portas GPIO'S</b>	de MISO, MOSI, SCK, PWM, I2C, SPI e RX, TX
<b>Porta ADC</b>	10 bits de resolução;
<b>Modos de operação</b>	Access Point /Station /Access Point + Station;
<b>Temperatura de operação</b>	- 40°C à +125°C;
<b>Modos de programação</b>	IDE Arduíno, Python, entre outros
<b>Dimensões</b>	55 x 30 x 7 mm

Fonte: (IOT, 2019)

## 2.4 COMUNICAÇÃO WI-FI

O padrão Wi-Fi (INFOWESTER,2013), termo comumente utilizado como sinônimo para o padrão IEEE 802.11, é bastante utilizado na atualidade, principalmente pelo fato de recorrerem a frequências que não carecem de licença para operar. Geralmente, uma rede Wi-Fi é utilizada para propagar, para quem está no raio de ação, um ponto de acesso à internet, fazendo com que os usuários possam utilizar a internet sem fio. Dento da família IEE 802.11, existem diversos padrões de conexão, que em determinadas frequências é capaz de fornecer diferentes taxas de conexão à internet.

O módulo que será projetado precisará contar com o padrão Wi-Fi, encontrado no módulo disponível. O módulo será programado para se conectar a uma rede sem fio, utilizando um Roteador Wi-Fi.

O computador do banco de dados deve estar conectado também a essa rede. Para essa conexão, será necessário inserir na programação do módulo, o endereçamento da rede Wi-Fi, assim como os dados de criptografia da rede (usuário e senha de conexão).

O endereço IP, como é chamado, é o número que o dispositivo recebe ao estabelecer conexão com uma rede. No caso da rede utilizada, tanto os módulos como o computador pessoal possuirão um IP privado estático, que será necessário para definir a conexão.

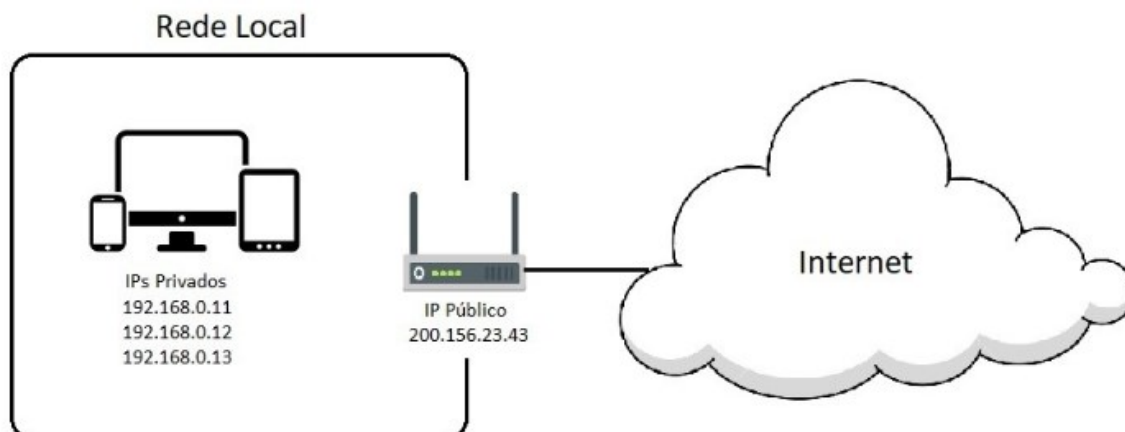
Por ser estático, esse endereçamento IP nunca mudará, facilitando assim as configurações necessárias. Um IP privado nada mais é do que o endereço fornecido pelo roteador aos dispositivos que se conectam a ele, possibilitando assim uma conexão mais segura.

No projeto, por se tratar de uma rede privada, utilizará o protocolo de internet versão 4 (IPv4). O IPv4 é o formato de endereço padronizado utilizado para que máquinas se comuniquem entre si, sendo escrito como uma sequência de dígitos de 32 bits, composto por 4 números variando entre 0 e 255.

Como demonstrado na Figura 11, os módulos, através do microcontrolador ESP, receberão os IPs privados estáticos e o roteador terá um IP público, necessário na programação dos módulos para ser feita a conexão.



Figura 11 - Endereçamento IP.



Fonte: (HOMEHOST, 2019)

## 2.5 GERENCIADOR MYSQL

O sistema de gerenciamento de banco de dados MySQL (DEV MEDIA, 2013), utiliza como padrão a linguagem SQL, que é considerada a mais conhecida para a inserção de dados, além de acesso e gerenciamento dos dados armazenados em um banco de dados.

Como diferencial, apresenta suporte para praticamente qualquer plataforma utilizada atualmente, tendo compatibilidade com diversas linguagens de programação, como Delphi, Java, C/C++, C#, Visual Basic, Python, Perl, PHP, ASP e Ruby. O MySQL é um software livre, com base na GPL.

Para o armazenamento dos dados enviados pelo módulo, será criado um banco de dados com o gerenciador MySQL. Esse banco de dados ficará num computador pessoal comum, com acesso à rede Wi-Fi que os módulos estarão conectados. Esse computador é conhecido como *host*, que é qualquer computador conectado a uma rede, contando com número de IP definido.

O banco de dados pode ser definido como uma coleção de dados estruturado (HOSTINGER, 2020), sendo um local onde os dados são armazenados e gerenciados. O sistema MySQL utiliza a linguagem de programação SQL (Structured Query Language). Sendo assim, o MySQL será utilizado para criar o banco de dados para armazenamento e manipulação dos dados colhidos dos sensores. A programação realizada no ESP será responsável por enviar esses dados ao banco de dados criado no MySQL.

## 2.6 POWER BI

O Power BI é uma plataforma de análise de dados desenvolvida pela Microsoft. Ele permite que os usuários importem, transformem e visualizem dados de várias fontes em painéis interativos e relatórios personalizados. No Power BI é possível compartilhar facilmente os relatórios e painéis criados com outros usuários, permitindo uma colaboração eficiente e a discussão em torno dos insights e descobertas obtidos. Os painéis publicados do Power BI são armazenados em nuvem. Isso significa que os relatórios e painéis podem ser acessados de qualquer lugar e a qualquer momento, possibilitando que as análises sejam visualizadas via internet em qualquer lugar com acesso.

Além disso, o Power BI oferece a integração perfeita com outras ferramentas e serviços da Microsoft, como o Excel e o Azure. Essa integração amplia significativamente as funcionalidades e as possibilidades de uso da plataforma. Através do Power BI, é possível se conectar praticamente em qualquer fonte de dados, seja ela um arquivo ou uma base de dados online, possibilitando sua utilização em diversas aplicações. Em resumo, o Power BI é uma ferramenta indispensável para profissionais e empresas que buscam explorar e extrair insights valiosos a partir de seus dados, potencializando suas capacidades analíticas e promovendo uma tomada de decisão mais informada e estratégica.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto de monitoramento foi constituído de um módulo controlado por um microcontrolador, uma estufa que simulava um meio de cultura e um banco de dados que teve como *Base Host* um computador pessoal. Para o controle do módulo, foi utilizado o ESP NODEMCU, escolhido devido à sua disposição de entradas e saídas de dados digitais e analógicas, possibilitando a conexão de sensores e atuadores, além de conexão Wi-Fi. Sensores foram utilizados para o monitoramento, juntamente com atuadores para a irrigação.

A programação do microcontrolador foi feita utilizando a própria IDE do Arduino, que oferece total compatibilidade com o ESP, além de facilidade de programação e disponibilidade de informações de fácil acesso.

O microcontrolador é responsável por receber as informações dos sensores e enviá-las via Wi-Fi para o banco de dados localizado em um computador conectado à mesma rede. Para a gestão do banco de dados, foi utilizado o MySQL, que é um software amplamente utilizado e com diversas informações disponíveis.

#### 3.1 EXPERIMENTO ANTERIOR

Durante o período curricular, foi desenvolvido um protótipo de um módulo de monitoramento que serviu de base para o trabalho a ser realizado. O módulo foi desenvolvido em um projeto de iniciação científica e utilizou o microcontrolador ESP para a conexão dos sensores e conexão Wi-Fi.

Para realização do projeto do módulo (Figura 12), foi utilizado alguns dos materiais descritos no referencial teórico, como o sensor DHT11 e o sensor de solo. O ESP foi programado através da IDE do Arduino. A primeira parte da programação foi a conexão do módulo com o roteador Wi-Fi. Essa conexão é necessária para que o módulo consiga enviar as informações colhidas dos sensores para o banco de dados. Após a conexão, é necessário programar o intervalo de coleta dos dados do solo, enviando esses dados ao banco de dados armazenado no computador conectado ao mesmo roteador, formando a rede necessária.

No experimento, foram coletadas algumas informações armazenadas no banco de dados do computador. Essas informações ficavam disponíveis para visualização em um site online que só era possível de ser acessado no computador conectado à rede. Com o TCC 2 foi possível aprimorar a forma de coletar os dados, assim como o intervalo de coleta e a confiabilidade dos componentes com testes de maior duração.

Além disso, foram propostas melhorias na programação para permitir a conexão com o roteador e a utilização de mais módulos. Os dados coletados foram interpretados para determinar parâmetros como irrigação e luminosidade, além de possibilitar o acesso ao site em computadores que não estão conectados à rede.

Figura 12 - Protótipo do módulo de sensoriamento



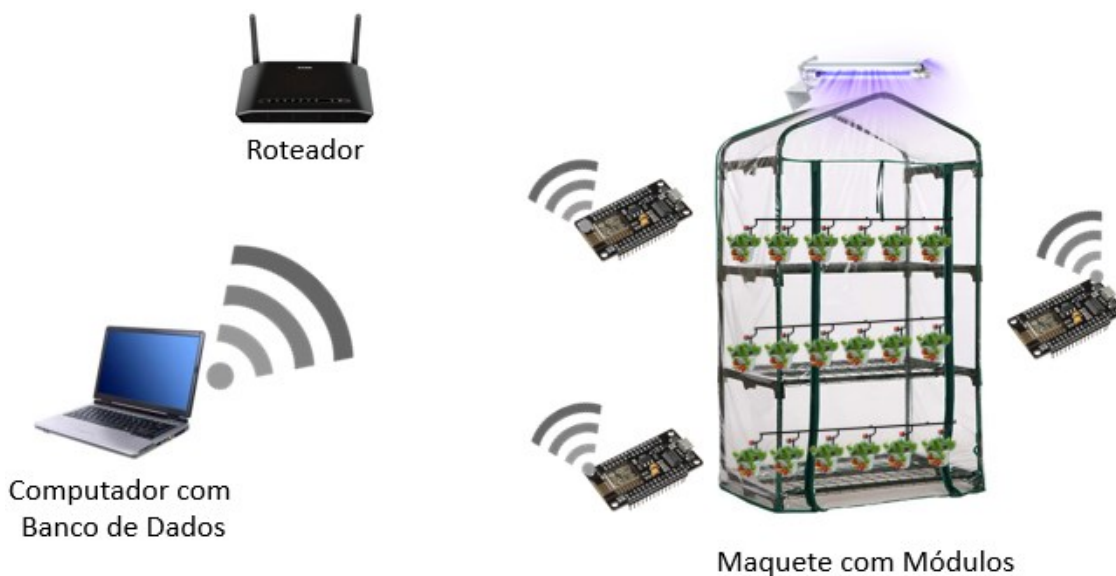
Fonte: (Autor).

### 3.2 MATERIAIS

No desenvolvimento do projeto (Figura 13), foi utilizado o microcontrolador ESP, responsável pela conexão Wi-Fi, controle da irrigação e recebimento de informações dos sensores. Além disso, foram empregados o sensor de temperatura e umidade do ar DHT 11 e o sensor de umidade do solo. Para a irrigação, foi utilizada uma mini bomba submersa de 5V. O sistema foi alimentado por um carregador de 5V.

A estufa foi construída a partir de uma estante de plástico, com a instalação de uma tela de proteção e mangueiras para a irrigação. Os custos associados ao projeto foram financiados pelo orientador.

Figura 13 - Idealização da maquete e dos módulos para o projeto.



Fonte: Autor

Tabela 4 - Principais componentes utilizados e respectivos custos.

Descrição	Quantidade	Custo Total
Nodemcu V3 ESP8266	1	40,00
Sensor DHT11	1	14,00
Sensor Umidade Solo	1	9,00
Carregador 5v	1	14,00
Minibomba submersa 5v	1	20,00
Fita de led	1	12,00
<b>Total</b>		<b>109,00</b>

### 3.3 METODOLOGIA

A seguir, são apresentadas as etapas planejadas do desenvolvimento do trabalho.

#### 1) Revisão e Estudos

Para realizar a pesquisa de referências, foram utilizados buscadores de artigos indexados, como o Google Scholar e a IEEE Explore. Essas ferramentas permitirão a construção de uma base de artigos que abordam protótipos similares ao proposto neste trabalho. Além disso, foi realizada uma busca específica por *startups* e produtos comerciais que tenham objetivos semelhantes ao do protótipo, visando identificar possíveis inovações no campo. A partir dessas informações, foram levantados os principais requisitos do protótipo, incluindo características técnicas e funcionais. Além disso, foi definido um tipo de cultura alvo para os testes iniciais, com o intuito de direcionar o desenvolvimento e avaliação do protótipo.

## **2) Planejamento da estrutura e definição dos componentes**

O módulo inicial tem como foco a agricultura vertical em ambientes indoor. Esta escolha visa facilitar o desenvolvimento do produto e reduzir os custos de desenvolvimento, dado que desta forma a tecnologia Wi-Fi se torna viável e os modems são de fácil aquisição.

Foi montada uma rede local, utilizando um computador pessoal, um modem Wi-Fi e dois módulos de sensores. Cada módulo enviará informações para um sistema de gerenciamento de banco de dados, o MySQL. Para montagem do protótipo, foi utilizado o projeto montado anteriormente na iniciação científica, no qual foram realizadas as devidas manutenções e melhorias nos circuitos e conexões dos sensores. O módulo conta com o ESP8266, que é um microcontrolador com capacidade de conexão Wi-Fi. Cada módulo contará com um ESP8266 NodeMCU V3, que também possui entradas digitais que podem ser usadas para entrada e saída de dados. Cada módulo de sensores contará com sensor de umidade do solo, sensor de temperatura e umidade do ar e sensor de luminosidade.

Os módulos de sensores enviaram as informações via uma rede Wi-Fi, informações foram vistas em tempo real em uma interface gráfica. Essas mesmas informações também foram armazenadas em um banco de dados, para que possam ser usadas futuramente.

## **3) Construção da Estufa**

É planejada a construção de uma maquete, para implantar um sistema de uma fazenda vertical, com monitoramento das variáveis e controle de iluminação e de irrigação. Nessa maquete, foi cultivado um plantio com terra, para realizar os testes dos sensores de umidade do solo, além da coleta da temperatura e umidade do ar.

## **4) Modificação dos módulos**

Foram realizados novos testes dos sensores e atuadores, assim como a adição dos atuadores de luminosidade. Também realizamos a manutenção da estufa construída anteriormente, para a realização de novos testes.

Após as análises e modificações, os módulos podem ser configurados para medir dois ambientes individuais, ou dois pontos da mesma estrutura. Na prática, são utilizados uma grande quantidade de módulos para monitorar de forma uniforme as variáveis em todo o cultivo.

## **5) Comunicação entre o módulo e o banco de dados**

Toda a programação dos módulos foi revisada, para melhorar a eficiência das leituras e da comunicação. Para a comunicação com o banco de dados, o ESP se conecta em uma rede

Wi-Fi, no qual também está conectado um computador pessoal onde está localizado o banco de dados do projeto. Esse banco de dados armazenará os dados colhidos pelos sensores.

#### **6) Visualização do monitoramento**

Os dados armazenados pelos sensores no banco de dados são tratados. Esses dados se tornarão visíveis ao usuário em uma página online, tanto as informações atuais como o histórico de coletas de informações passadas.

#### **7) Validação e Melhorias**

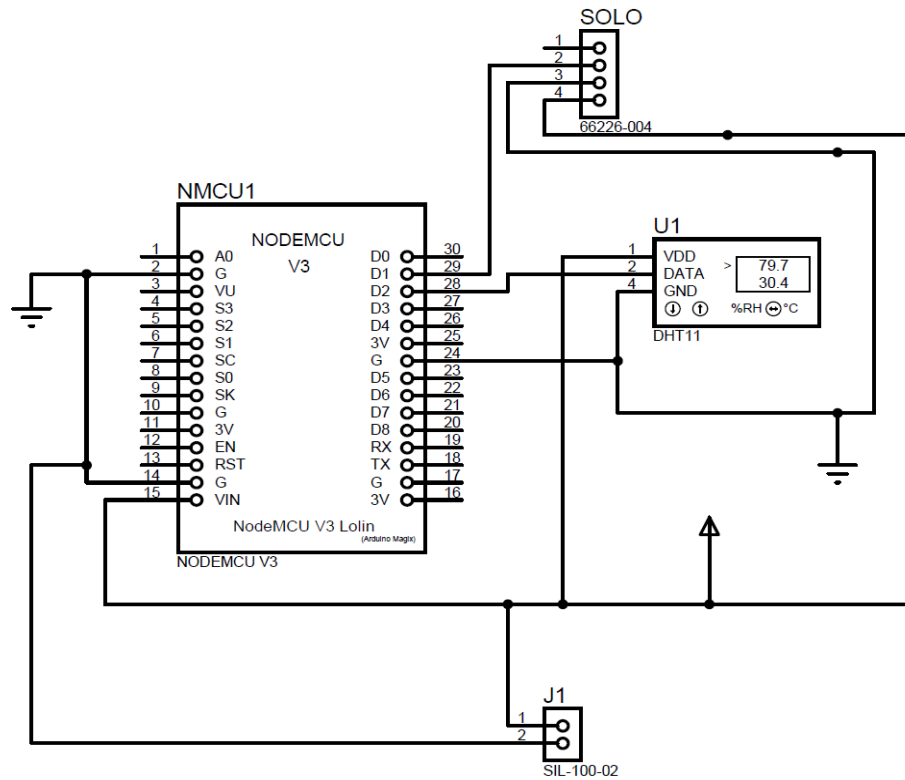
A validação foi realizada com o monitoramento de um cultivo em tempo real, em uma página programada em HTML e conectada ao banco de dados, sendo possível assim, entender e validar o funcionamento da conexão e dos dados colhidos pelos sensores, possibilitando a realização de melhorias no projeto durante o andamento do TCC 2.

### **3.3.1 Desenvolvimento Inicial do Projeto**

As etapas 1, 2 e 3 citadas acima já foram previamente realizados, como trabalho de iniciação científica no curso. Inicialmente foi feito o projeto do módulo, verificando as portas que seriam utilizadas para entrada dos dados dos sensores. Logo após a definição das portas, foi projetado o circuito eletrônico no qual seriam ligados o sensor de solo e o DHT11, além da porta de alimentação.

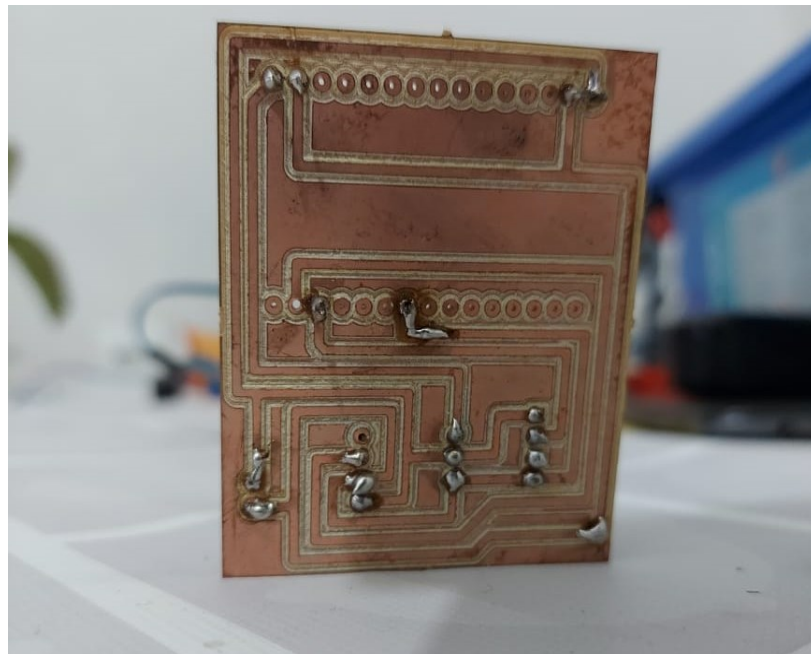
Após o desenvolvimento do circuito eletrônico da Figura 14, foi desenvolvido um circuito impresso em placa de fenolite cobreado (Figura 15), para que fossem conectados os sensores e o microcontrolador, assim como para inserir o sistema de alimentação de 5V, responsável por alimentar o ESP e os sensores.

Figura 14 - Circuito eletrônico



Fonte: Autor

Figura 15 - Placa de fenolite

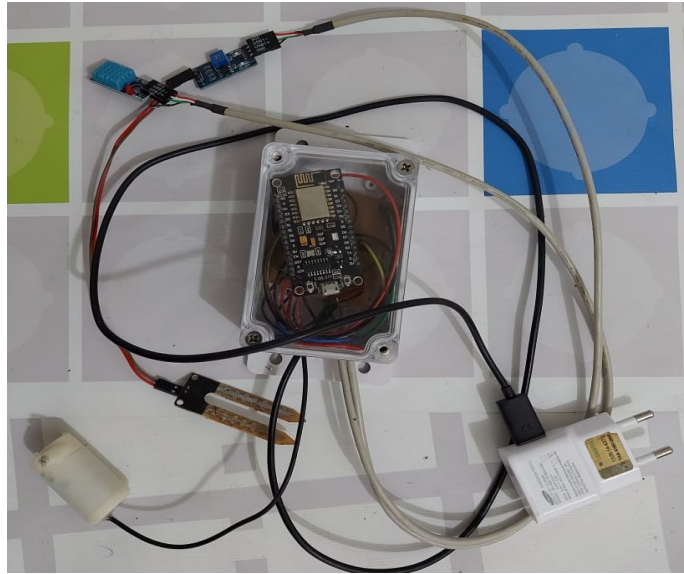


Fonte: Autor

Toda a estrutura foi alocada em uma caixa acrílica para que ficasse protegida da água. Os cabos foram dimensionados para que fosse possível a alocação dos sensores na maquete, possibilitando os testes de funcionamento dos sensores e da mini bomba d'água.



Figura 16 - Protótipo



Fonte: Autor

Com o protótipo montado (Figura 16), o módulo foi instalado na maquete para realizar o funcionamento dos circuitos e da conexão Wi-Fi. Apenas testes iniciais de funcionamento foram realizados, não sendo possível validar completamente a eficiência dos sensores. Apesar do funcionamento, não foi realizada a devida calibração dos sensores, nem verificada a eficácia da conexão nos testes prévios, devido o pouco tempo de funcionamento e problemas de conexão apresentados na montagem da Figura 17.

Figura 17 - Teste do circuito



Fonte: Autor.

Portanto, partindo do trabalho previamente realizado, foi necessário realizar os testes de sensores, assim como tempo de funcionamento, temperatura do sistema e perda de dados durante o envio. Também foi necessário calibrar o funcionamento da irrigação, utilizando os dados de umidade do solo e do ar, após o funcionamento dos módulos durante um período maior, além da instalação dos leds para luminosidade.

Na programação, foi necessário calibrar os intervalos de envio dos dados do sensor, mensurar a quantidade de espaço necessário para armazenamento dos dados, além de melhorar a segurança da conexão. A irrigação do sistema foi calibrada a partir dos dados coletados de umidade do solo.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Nesta fase do projeto, descrevemos o desenvolvimento completo do sistema, incluindo a construção da estufa, as modificações realizadas nos módulos e a implementação da comunicação com o banco de dados. Detalhamos a codificação utilizada para controlar os módulos, estabelecer as conexões e enviar os dados. Além disso, fornecemos informações sobre a programação do site e as análises realizadas no Power BI.

### 4.1 CONSTRUÇÃO DA ESTUFA

Durante a fase inicial do projeto, foi necessário realizar uma reconstrução da estufa a fim de atender às especificações necessárias para os testes dos módulos. Inicialmente, optou-se pela utilização de um gaveteiro como estrutura principal. No entanto, a escolha revelou-se inadequada devido ao tamanho insuficiente do gaveteiro, que promovia um completo isolamento da estufa em relação ao ambiente externo. Considerando a importância da ventilação para o desenvolvimento saudável das plantas, tomou-se a decisão de adotar uma abordagem de isolamento menos restritiva, por meio da utilização de uma tela que permitisse a entrada de ar. Para esse propósito, uma estante de plástico foi selecionada, inicialmente contendo apenas um compartimento. A utilização de uma estante modular, entretanto, apresenta-se como uma solução interessante, devido à possibilidade de adicionar mais compartimentos, permitindo a expansão do número de plantas e sensores, e possibilitando a montagem de uma estufa vertical (Figura 18).

Figura 18 - Nova estufa com Tela



Fonte – Autor.

Após a montagem da estufa, foi indispensável instalar a iluminação na área onde as plantas seriam colocadas. Nesse sentido, optou-se pela utilização de uma fita de LED da Figura 19, conectada a uma fonte de energia proveniente do próprio módulo. Essa solução possibilitou assegurar a iluminação necessária para o desenvolvimento saudável das plantas no interior da estufa, mesmo em condições de total escuridão ambiental.

Figura 19 - Instalação dos leds



Fonte – Autor.

Com a conclusão da instalação dos LEDs e a finalização da montagem da estufa na Figura 20, é possível seguir para uma etapa crucial nos testes do nosso módulo de controle e automação. Esse progresso permite o cultivo de plantas em seu interior, possibilitando realizar as análises e testar as funcionalidades do módulo.

Figura 20 - Estufa finalizada



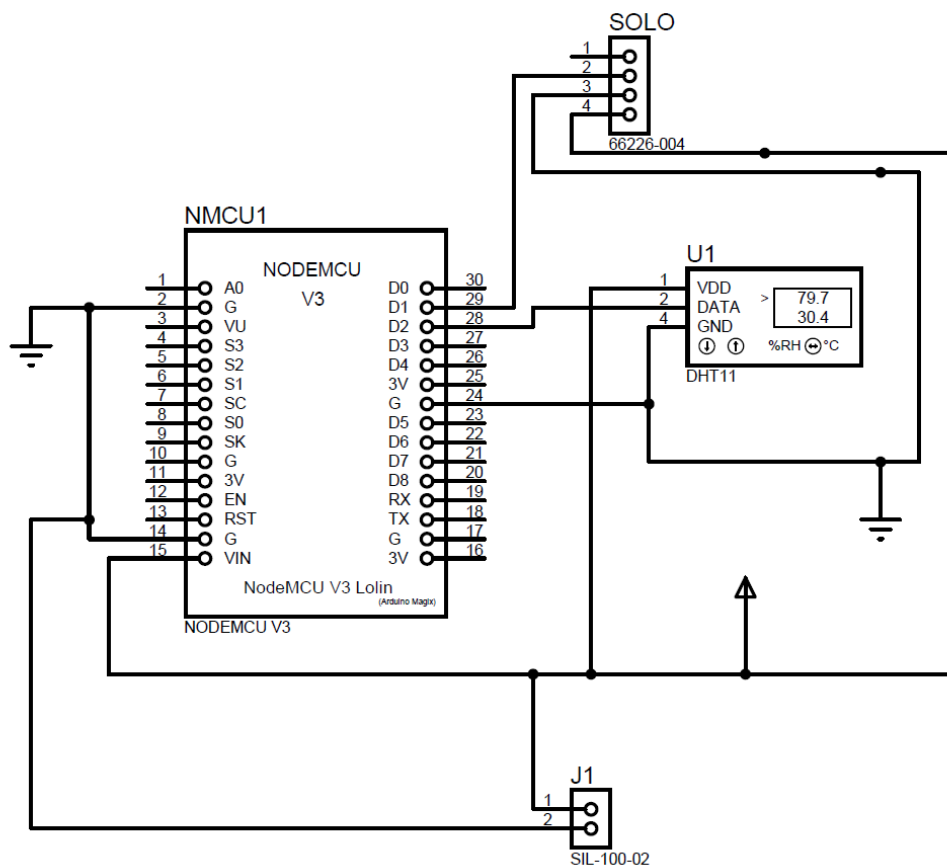
Fonte – Autor.

## 4.2 MODIFICAÇÃO DOS MÓDULOS

Conforme mencionado anteriormente, o protótipo inicial do módulo foi desenvolvido. Para dar continuidade ao desenvolvimento final do módulo, foi necessário realizar uma análise minuciosa para verificar as conexões e soldas realizadas anteriormente no protótipo. Para isso, utilizou-se um multímetro para conferir todas as conexões. Durante esse processo, identificaram-se algumas soldas na placa de fenolite que precisaram ser refeitas, a fim de garantir a confiabilidade no funcionamento do módulo.

Após essa etapa, todos os sensores foram testados, e constatou-se que todos os módulos estavam conectados e funcionais. O diagrama da Figura 21 representa a disposição dos sensores de solo, umidade do ar e umidade do solo mencionados anteriormente. O componente J1 representa a conexão da fonte de 5V com o sistema. A fonte utilizada foi um carregador de smartphone com 5V e 3A, responsável pela alimentação do sistema como um todo.

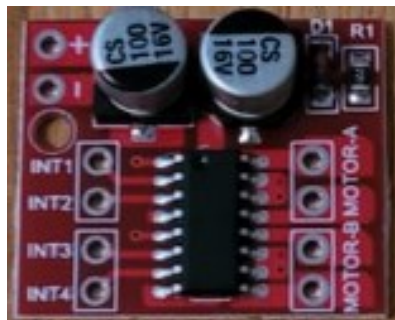
Figura 21 - Diagrama dos sensores



Fonte – Autor.

Com todos os sensores devidamente conectados, deu-se início à etapa de desenvolvimento da parte de controle de irrigação do módulo. Para a irrigação, é necessária a conexão com a bomba de água, responsável por extrair a água de um reservatório e irrigar as plantas. Para essa finalidade, optou-se pelo uso da Ponte H L298n, da Figura 22. A escolha da Ponte H L298n baseou-se em sua simplicidade de utilização e tamanho reduzido. No projeto, apenas a ativação e desativação segura da mini bomba d'água eram necessárias, a fim de evitar danos ao ESP devido à corrente exigida.

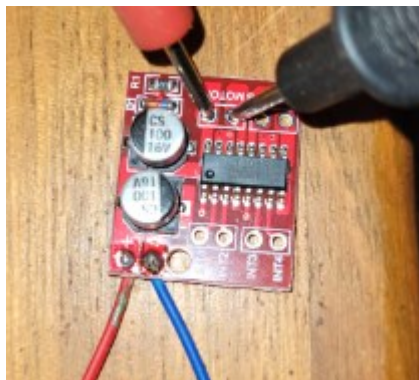
Figura 22 - Ponte H L298n



Fonte – Autor.

Essa medida foi necessária devido à incapacidade da porta de saída do MCU de fornecer corrente direta suficiente para alimentar a bomba. Diante disso, como na Figura 23, foram realizados testes com as saídas disponíveis no módulo, sendo designada a porta D7 do ESP para ativar a ponte H. Além disso, a mesma fonte de energia responsável por alimentar todo o circuito também foi utilizada para fornecer energia à ponte H, a fim de alimentar a mini bomba. Para isso, o motor da bomba foi conectado às entradas designadas como Motor-A, a porta D7 do ESP foi configurada como saída e conectada ao INT1, e a fonte de energia foi conectada às entradas de Tensão + e -. Adicionalmente, foi necessário identificar corretamente as saídas do módulo para garantir que a bomba fosse conectada no sentido de rotação adequado.

Figura 23 - Teste de tensão da ponte H



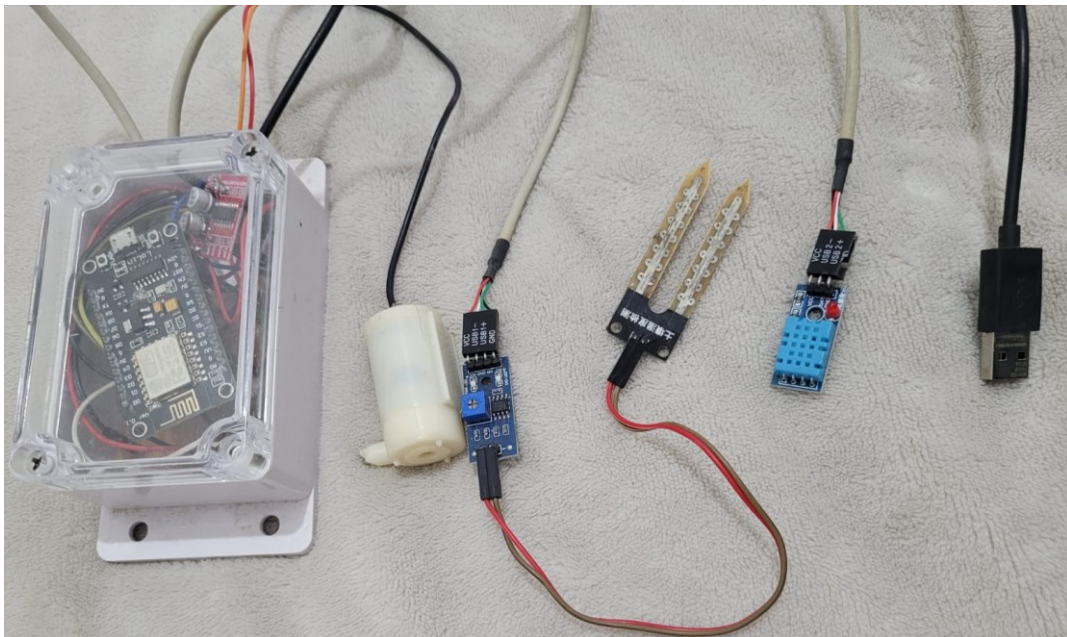
Fonte – Autor.

Na ponte H, a ativação do motor A no sentido horário ocorre quando o INT1 é conectado com nível lógico alto e o INT2 com nível lógico baixo. Por outro lado, ao realizar a ligação inversa, o motor A é ativado no sentido anti-horário. No presente projeto, optou-se por conectar a porta D7 com nível lógico alto quando se desejava acionar a irrigação, ou seja, ligar a bomba d'água.

Após a instalação da mini bomba d'água e dos sensores, foi realizada uma minuciosa verificação de todas as conexões na placa de fenolite. Em seguida, procedeu-se com a montagem do módulo em uma caixa acrílica, visando facilitar a manutenção e permitir a visualização de todos os componentes internos. A escolha da caixa acrílica também se deve à sua capacidade de proteger o circuito, que não é resistente à água. Além disso, para alimentar o circuito, foi adotado o uso de um cabo USB, que pode ser conectado a um carregador comum de smartphone.

Após a conclusão da montagem do módulo de sensoriamento conforme ilustrado na Figura 24, foi necessário realizar a conexão com a estufa, que já havia sido finalizada previamente. Foi selecionado um local estratégico e de fácil visualização para posicionar o módulo, na figura 25. Além disso, um reservatório de água foi adicionado para simular a irrigação. O sensor de umidade do solo foi cuidadosamente inserido no solo, próximo à planta, garantindo uma medição precisa. Já o sensor de umidade e temperatura do ar foi posicionado na parte superior da estufa, permitindo a captura das informações nessa região.

Figura 24 - Módulo finalizado



Fonte – Autor.

Figura 25 - Módulo posicionado na estufa

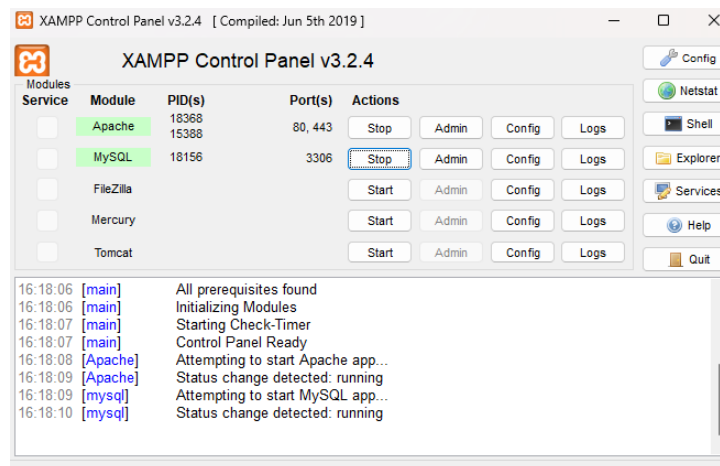


Fonte – Autor.

### 4.3 COMUNICAÇÃO COM O BANCO DE DADOS

O primeiro passo realizado para o armazenamento dos dados coletados pelo módulo consiste na criação e formatação do banco de dados. Para essa finalidade, foi utilizado o software denominado XAMPP. O XAMPP é uma solução abrangente que reúne os principais servidores de código aberto disponíveis no mercado, incluindo o servidor FTP, o banco de dados MySQL e o Apache, que oferecem suporte às linguagens PHP e Perl. Após a instalação do XAMPP, é necessário iniciar o Apache e o MySQL em sua interface (Figura 26) para obter acesso ao banco de dados.

Figura 26 - Interface XAMPP



Fonte – Autor.



Após a ativação dessas funcionalidades, ao acessar o endereço <http://localhost/phpmyadmin> pelo navegador, torna-se possível criar um banco de dados e tabelas para armazenar as informações coletadas pelos sensores do módulo de sensoriamento remoto.

Conforme ilustrado na Figura 27, foi criado um banco de dados denominado "bdnodemcu". Dentro desse banco de dados, foi criada uma tabela com cinco colunas: ID, sensor1 (umidade do ar), sensor2 (temperatura do ar), sensor3 (umidade do solo) e data hora. Após a criação do banco de dados e da tabela "tbdados", foram configuradas as conexões necessárias para acessar o banco de dados e armazenar os dados do sensor por meio dele.

Figura 27 - Interface phpMyAdmin

	id	sensor1	sensor2	sensor3	data_hora
<input type="checkbox"/>	515	94.00	22.50	0.00	2023-05-25 20:48:05
<input type="checkbox"/>	514	93.00	22.70	34.00	2023-05-25 20:46:10
<input type="checkbox"/>	513	90.00	22.90	36.00	2023-05-25 20:44:21
<input type="checkbox"/>	512	90.00	22.90	0.00	2023-05-25 20:42:32
<input type="checkbox"/>	511	87.00	23.30	0.00	2023-05-25 20:40:34
<input type="checkbox"/>	510	88.00	23.40	0.00	2023-05-25 20:38:44
<input type="checkbox"/>	509	87.00	23.40	0.00	2023-05-25 20:36:55
<input type="checkbox"/>	508	85.00	23.70	100.00	2023-05-25 20:35:03
<input type="checkbox"/>	507	84.00	23.70	100.00	2023-05-25 20:33:14
<input type="checkbox"/>	506	86.00	23.80	100.00	2023-05-25 20:31:25
<input type="checkbox"/>	505	87.00	23.40	92.00	2023-05-25 20:29:33
<input type="checkbox"/>	504	82.00	24.00	100.00	2023-05-25 20:27:44
<input type="checkbox"/>	503	94.00	22.90	26.00	2023-05-25 20:25:55

Fonte – Autor.

Para acessar o banco de dados, o XAMPP disponibiliza uma pasta onde foram inseridos os arquivos de configuração necessários para enviar os dados do módulo ao banco de dados. Um desses arquivos é o "conexão.php", responsável por toda a segurança e autenticação do banco de dados. Nele, são especificados o *host*, o nome do banco de dados, além do usuário e senha de acesso. A seguir, o código de conexão com o banco de dados.

```
<?php
try {
    $HOST = "localhost";
    $BANCO = "bdnodemcu";
    $USUARIO = "root";
    $SENHA = "1234";

    $PDO = new PDO("mysql:host=". $HOST .";dbname=". $BANCO .";charset=utf8",$USUARIO, $SENHA);
```

```

        }catch(PDOException $erro){
            echo "Erro de conexao, detalhes: " . $erro->getMessage();
        }
        $suaConexao = mysqli_connect("localhost","root","1234","bdnodemcu");

if (mysqli_connect_errno()){
    echo "Erro" . mysqli_connect_error();
}

?>

```

Além do código de conexão, também é necessário um código para salvar os dados na tabela de dados criada no phpmyadmin. Esse código, assim como o código de conexão, será utilizado pelo ESP do módulo para acessar e salvar informações no banco de dados.

```

<?php

include('conexao.php');

$sensor1 = $_GET['sensor1'];
$sensor2 = $_GET['sensor2'];
$sensor3 = $_GET['sensor3'];

$sql = "INSERT INTO tbdados(sensor1, sensor2, sensor3) VALUES(:sensor1, :sensor2, :sensor3)";

$stmt = $pdo->prepare($sql);

$stmt->bindParam(':sensor1', $sensor1);
$stmt->bindParam(':sensor2', $sensor2);
$stmt->bindParam(':sensor3', $sensor3);

if($stmt->execute()){
    echo "salvo_com_sucesso";
}else{
    echo "erro_ao_salvar";
}

?>

```

Depois da criação dos códigos, é necessário desenvolver o código para o módulo ESP. Esse código será responsável por estabelecer a conexão do módulo com a rede Wi-Fi, acessar o banco de dados, coletar os dados dos sensores, enviar as informações coletadas para o banco de dados e controlar o sistema de irrigação.

A primeira parte do código consiste na inclusão das bibliotecas dos sensores, teste do funcionamento do sensor dht e definição das constantes para a conexão com a rede Wi-Fi. Na constante "ssid", é informado o nome da rede Wi-Fi, e na constante "password", é inserida a senha correspondente. É importante ressaltar que essa rede Wi-Fi precisa ser a mesma rede do computador onde o banco de dados está localizado. Na constante "Host", é definido o endereço

IPv4 da rede, que pode ser identificado ao acessar o *prompt* de comando do computador onde o banco de dados está hospedado.

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include "DHTesp.h"
#ifdef ESP32
#pragma message(THIS EXAMPLE IS FOR ESP8266 ONLY!)
#error Select ESP8266 board.
#endif

DHTesp dht;

const char* ssid = "Nome_da_rede_wifi";
const char* password = "senha_da_rede_wifi";

const char* host = "192.168.0.100";
const int pino_bomba = D7;
```

Na segunda parte do código, é definida a porta na qual a ponte H, responsável pela irrigação, estará conectada, configurada como OUTPUT. Nesse trecho, também são estabelecidas todas as configurações para a conexão com a rede Wi-Fi, utilizando as constantes definidas anteriormente. Além disso, são inseridos comandos "println" para permitir a verificação, por meio do serial monitor da IDE do Arduino, se as conexões foram estabelecidas com sucesso.

```
void setup() {

  pinMode(pino_bomba, OUTPUT); // pino 13

  Serial.begin(9600);
  delay(10);

  dht.setup(4, DHTesp::DHT11);

  Serial.println();
  Serial.println();
  Serial.print("Conectando com ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi conectado");
  Serial.println("Endereco IP : ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}
```

Com a definição de todas as conexões necessárias, é gerada a URL responsável por salvar os dados na tabela "tbdados". Essa URL é construída utilizando as configurações presentes no arquivo "salvar.php" previamente criado. Em seguida, o código realiza o envio das informações para essa URL. Caso o envio seja bem-sucedido, uma confirmação é exibida no monitor serial. No caso de ocorrer algum erro e o envio não for possível, uma mensagem de erro é exibida.

```
String url = "/nodemcu/salvar.php?";
    url += "sensor1=";
    url += sensor1;
    url += "&sensor2=";
    url += sensor2;
    url += "&sensor3=";
    url += sensor3;
    Serial.print("Requisitando URL: ");
    Serial.println(url);

// This will send the request to the server
client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
    "Host: " + host + "\r\n" +
    "Connection: close\r\n\r\n");

unsigned long timeout = millis();
while (client.available() == 0){
    if (millis()-timeout >5000) {
        Serial.println(">>> Client Timeout !");
        client.stop();
        return;
    }
}

// Read all the lines of the reply from server and print them to Serial
while(client.available()){
    String line = client.readStringUntil('\r');
    //Serial.print(line);
    Serial.println();

    if(line.indexOf("salvo_com_sucesso")!=-1) {
        Serial.println("FOI SALVO COM SUCESSO!!");

    }else if(line.indexOf("erro_ao_salvar")!=-1) {
        Serial.println();
        Serial.println("OCORREU UM ERRO!!");
    }
}
```

Em sequência, é inserida uma parte essencial do código, onde é definido o intervalo de tempo entre cada leitura realizada. Essa etapa é crucial devido às restrições de memória do banco de dados. Considerando que a umidade e a temperatura não sofrem mudanças significativas em um curto período, é possível ter um intervalo relativamente amplo entre as

leituras. Para fins de teste do módulo e das leituras, foi estabelecido um atraso de 100 segundos. No entanto, esse valor pode variar conforme as necessidades do usuário ou das plantas. Em um uso contínuo, é possível que esse número seja consideravelmente maior.

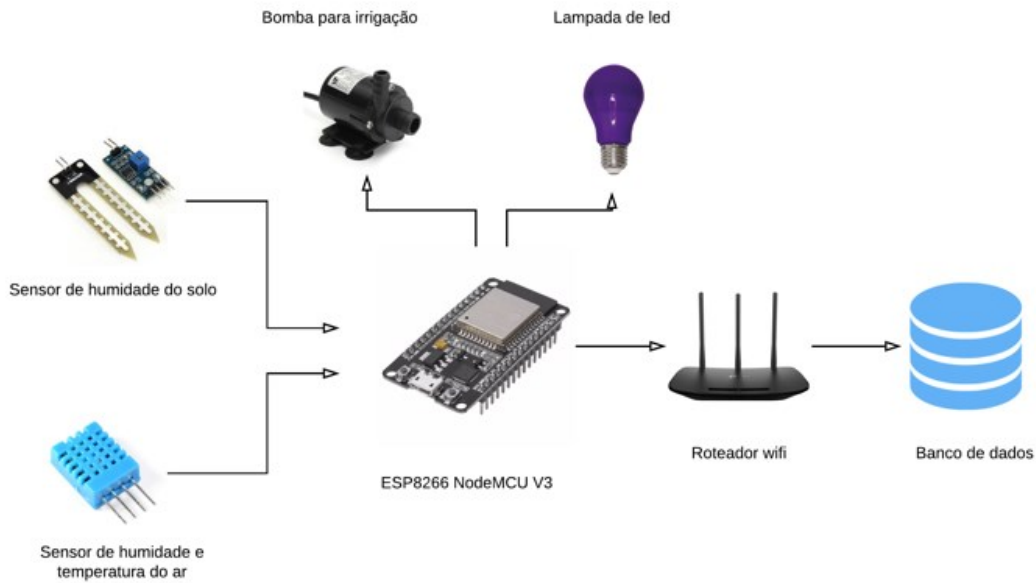
```
Serial.println();  
Serial.println("Conexao fechada");  
delay(100000);
```

Com o tempo de espera definido, chega-se à parte do código responsável pelo controle da irrigação. Os parâmetros são estabelecidos para testar os componentes. Para determinar a necessidade de irrigação da planta, uma estrutura condicional avalia a umidade do solo e decide se o sistema realizará a irrigação durante aquele ciclo ou não. Se a umidade estiver abaixo do valor estabelecido, definido como 40% neste caso, a mini bomba é ativada e, em seguida, desativada. A duração do funcionamento da bomba também é determinada pelo atraso presente dentro da estrutura condicional. Nos testes realizados, foi definido um tempo de irrigação de 3 segundos. Se a umidade estiver acima do limite estabelecido, o módulo prossegue com o ciclo e realiza a verificação novamente após o atraso determinado anteriormente no código.

```
if(sensor3 < 40){  
    digitalWrite(pino_bomba, HIGH); // Liga a bomba  
    delay(3000); // aguarda 5 segundos  
    digitalWrite(pino_bomba, LOW); // desliga a bomba  
}else{  
    delay(3000);  
}  
}
```

O carregamento do código finalizado no módulo é realizado por meio da IDE do Arduino. Em seguida, basta conectar o módulo à tomada para que ele inicie os ciclos programados, como na Figura 28. Caso a conexão não esteja disponível por algum motivo, o módulo continuará tentando se conectar até que a conexão seja restabelecida. Assim que a conexão for estabelecida, o módulo executará os ciclos de leitura e irrigação de forma contínua e ininterrupta.

Figura 28 - Esquema final do projeto.



Fonte – Autor.

Na Figura 29, são apresentados os dados enviados durante alguns testes do módulo. Esses testes foram realizados dentro da estufa. É possível observar, na coluna "sensor3", as variações da umidade do solo após a umidade cair para 38%. Nesse momento, a irrigação era ativada, o que resultava no aumento da umidade na leitura subsequente. No entanto, ao longo das leituras seguintes, a umidade gradativamente diminuía devido ao curto tempo de irrigação (3 segundos) e ao solo extremamente seco utilizado nos testes.

Figura 29 - Visão dos dados

A captura de tela do phpMyAdmin mostra a visualização de dados da tabela 'tbdados'. A interface inclui uma barra de ferramentas com opções como Procurar, Estrutura, SQL, Pesquisar, Inserir, Exportar e Importar. O painel de dados exibe uma tabela com as seguintes colunas: id, sensor1, sensor2, sensor3 e data\_hora. Os dados são os seguintes:

id	sensor1	sensor2	sensor3	data_hora
500	90.00	22.80	68.00	2023-05-25 20:15:05
499	91.00	22.80	38.00	2023-05-25 20:13:16
498	92.00	22.50	40.00	2023-05-25 20:11:27
497	93.00	22.50	70.00	2023-05-25 20:09:38
496	92.00	22.20	38.00	2023-05-25 20:07:49
495	92.00	22.50	40.00	2023-05-25 20:06:00
494	91.00	22.20	70.00	2023-05-25 20:04:11
493	91.00	22.30	38.00	2023-05-25 20:02:21
492	92.00	22.60	40.00	2023-05-25 20:00:32
491	93.00	21.50	74.00	2023-05-25 19:58:43

Fonte – Autor.

### 4.3.1 Visualização do Monitoramento

Durante o progresso do projeto, foi observada a necessidade de processar e apresentar os dados de forma mais amigável aos usuários. Embora fosse possível visualizar os dados por meio do servidor do phpMyAdmin, compreendeu-se que nem todos os usuários teriam conhecimentos em programação ou bancos de dados. Para atender a essa demanda, optou-se por desenvolver um site em HTML dentro do próprio servidor, a fim de tratar e exibir as informações de maneira mais acessível. Para criar esse site, foram utilizadas tanto a linguagem PHP para as conexões com o banco de dados quanto o HTML para definir as visualizações do site. O código do site é armazenado na mesma pasta do XAMPP onde estão os arquivos "conexao.php" e "salvar.php", sob o nome de "index.php". Na primeira parte do código, todas as etapas de seleção e visualização do site são definidas.

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
    <?php
ini_set('display_errors', 0);
error_reporting(0);
?>
    <title>Informações da Plantação</title>
    <style type="text/css">
        /* ESTILOS GERAIS */
        .container {
            width: 50%;
            margin: 0 auto;
        }
        /* ESTILOS FORMULARIO */
        .areaPesquisa {
            border-radius: 5px;
            background-color:#58FA58;
            padding: 10px;
        }
        .titulo{
            width: 100%;
            cursor: pointer;
        }
        input {
            padding: 10px;
            margin: 8px 0;
            border: 1px solid #000;
            border-radius: 4px;
        }
        select {
            padding: 10px;
            margin: 8px 0;
```

```

        border: 1px solid #000;
        border-radius: 4px;
    }
    input[type=submit]{
        width: 50%;
        background-color:#228B22;
        color:#fff;
        cursor: pointer;
    }
    table{
        border-collapse: collapse;
        width: 100%;
        margin-top: 10px;
    }
    table th {
        background:#228B22;
        color: #fff;
        height: 30px;
    }
    /* ESTILOS TABELA */
</style>
<body>
    
    <div class="container">
<?php
$numModulo = "0";
?>
    <div align="center" class="areaPesquisa">
        <form action = "" method="post">
            <label>Selecione a data: </label>
            <input type="date" name="data">
                <label>Escolha o Módulo: </label>
                <select name = "modulo" id="modulos">
                    <option value="0">Selecione...</option>
                    <option value="1" >Módulo 1</option>
                    <option value="2" >Módulo 2</option>
                    <option value="3" >Módulo 3</option>
                </select>
                <input type="submit" name="submit" value="Buscar">
            </form>
        </div>
    </head>

```

Após configurar os estilos e posicionamentos das visualizações, foi necessário estabelecer a conexão entre o *site* e o banco de dados para recuperar as informações coletadas e enviadas pelo módulo. Para esse propósito, assim como no código do módulo, utilizou-se o arquivo "conexão.php" para acessar o banco de dados e a tabela previamente criada,



recuperando os dados armazenados. No *site* HTML, foram implementados recursos que permitem ao usuário selecionar a data e o módulo específico que deseja visualizar, conforme mostrado nas Figuras 30 e 31. Considerando que o projeto envolve uma fazenda vertical com vários módulos, é essencial ter a flexibilidade de escolher qual módulo será analisado.

Figura 30 - Página Inicial do Site



**Selecione o módulo!**

Fonte – Autor.

Figura 31 - Seleção de data no site.



Fonte – Autor.

Com isso, é gerada uma tabela que exibe todas as leituras relacionadas àquela data específica. No código, é necessário filtrar os dados conforme a data e o módulo selecionados. No caso, cada módulo corresponderá a uma tabela de dados criada dentro do banco de dados.

```

include('conexao.php');

// var modulo = document.getElementById("modulo").value

$numModulo = $_POST['modulo'];

$numModulo1 = "Dados do módulo 1";
$numModulo2 = "Dados do módulo 2";
$numModulo3 = "Dados do módulo 3";

if($numModulo == 1){
    echo "<h1> Informações do dia ". $_POST['data']. " - Módulo 1</h1>";
    if($_SERVER['REQUEST_METHOD'] == "POST"){//echo"<h1> Recebeu a data ". $_POST['data']. "</h1>";
        $dataPesquisa = $_POST['data'];
        $sql = "SELECT * FROM tbdados WHERE data_hora LIKE '%" . $dataPesquisa . "%'";
    }
}

elseif($numModulo == 2){
    echo "<h1> Informações do dia ". $_POST['data']. " - Módulo 2</h1>";

    if($_SERVER['REQUEST_METHOD'] == "POST"){//echo"<h1> Recebeu a data ". $_POST['data']. "</h1>";
        $dataPesquisa = $_POST['data'];
        $sql = "SELECT * FROM tbdados2 WHERE data_hora2 LIKE '%" . $dataPesquisa . "%'";
    }
}

elseif($numModulo == 3){
    echo "<h1> Informações do dia ". $_POST['data']. " - Módulo 3</h1>";

    if($_SERVER['REQUEST_METHOD'] == "POST"){//echo"<h1> Recebeu a data ". $_POST['data']. "</h1>";
        $dataPesquisa = $_POST['data'];
        $sql = "SELECT * FROM tbdados3 WHERE data_hora3 LIKE '%" . $dataPesquisa . "%'";
    }
}

}

$i = 0;

$temperatura = array();
$hora = array();
$humidSolo = array();
$humidAr = array();
$resultado = mysqli_query($suaConexao,$sql);

if($numModulo == 1){
    while ($row = mysqli_fetch_object($resultado) ){
        $temperatura[$i] = $row->sensor2;
        $hora[$i] = $row->data_hora;
        $humidSolo[$i] = $row->sensor3;
        $humidAr[$i] = $row->sensor1;
        $i = $i + 1;
    }
}

```

```

$stmt = $PDO->prepare($sql);
$stmt->execute();
echo "<table border='1'>";
echo"<tr>
        <th>Umidade do ar em %</th>
        <th>Temperatura do ar em °C</th>
        <th>Umidade do solo em %</th>
        <th>Data/Hora</th>
    </tr>";
while($linha = $stmt->fetch(PDO::FETCH_OBJ)){
    $timestamp = strtotime($linha->data_hora);
    $dateTabela = date('d/m/Y H:i:s', $timestamp);
    echo"<tr>";
    echo"<td>" . $linha->sensor1 . "</td>";
    echo"<td>" . $linha->sensor2 . "</td>";
    echo"<td>" . $linha->sensor3 . "</td>";
    echo"<td>" . $dateTabela . "</td>";
    echo"</tr>";
}
}elseif($numModulo == 2){
    while ($row = mysqli_fetch_object($resultado) ){
        $temperatura[$i] = $row->sensor22;
        $hora[$i] = $row->data_hora2;
        $umidSolo[$i] = $row->sensor23;
        $umidAr[$i] = $row->sensor21;
        $i = $i + 1;
    }
    $stmt = $PDO->prepare($sql);
    $stmt->execute();
    echo "<table border='1'>";
    echo"<tr>
        <th>Umidade do ar em %</th>
        <th>Temperatura do ar em °C</th>
        <th>Umidade do solo em %</th>
        <th>Data/Hora</th>
    </tr>";
    while($linha = $stmt->fetch(PDO::FETCH_OBJ)){
        $timestamp = strtotime($linha->data_hora2);
        $dateTabela = date('d/m/Y H:i:s', $timestamp);
        echo"<tr>";
        echo"<td>" . $linha->sensor21 . "</td>";
        echo"<td>" . $linha->sensor22 . "</td>";
        echo"<td>" . $linha->sensor23 . "</td>";
        echo"<td>" . $dateTabela . "</td>";
        echo"</tr>";
    }
}
}
while ($row = mysqli_fetch_object($resultado) ){
    $temperatura[$i] = $row->sensor32;
    $hora[$i] = $row->data_hora3;
}

```

```

        SumidSolo[$i] = $row->sensor33;
        SumidAr[$i] = $row->sensor31;
        $i = $i + 1;
    }
    $stmt = $PDO->prepare($sql);
    $stmt->execute();
    echo "<table border='1'\>";
    echo "<tr>
        <th>Umidade do ar em %</th>
        <th>Temperatura do ar em °C</th>
        <th>Umidade do solo em %</th>
        <th>Data/Hora</th>
    </tr>";
    while($linha = $stmt->fetch(PDO::FETCH_OBJ)){
        $timestamp = strtotime($linha->data_hora3);
        $dateTabela = date('d/m/Y H:i:s', $timestamp);
        echo "<tr>";
        echo "<td>" . $linha->sensor31 . "</td>";
        echo "<td>" . $linha->sensor32 . "</td>";
        echo "<td>" . $linha->sensor33 . "</td>";
        echo "<td>" . $dateTabela . "</td>";
        echo "</tr>";
    }
    echo "</table>";
}

```

Além das tabelas de dados, também foram adicionados gráficos que apresentam a variação da temperatura, umidade do solo e umidade do ar ao longo do tempo. Esses gráficos são úteis para analisar o desempenho da irrigação e verificar se os dados das plantas estão dentro dos parâmetros estabelecidos para cada módulo.

```

<script type="text/javascript" src="https://www.google.com/jsapi"></script>
<script type="text/javascript">
    google.load('visualization', '1', {'packages':['corechart']});
    google.setOnLoadCallback(desenha1Grafico);

    function desenha1Grafico() {

        var data1 = new google.visualization.DataTable();
        data1.addColumn('string', 'hora');
        data1.addColumn('number', 'Temperatura');

        data1.addRows(<?php echo $i ?>);

        <?php
        $k = $i;
        for ($i = 0; $i < $k; $i++) {
            ?>
            data1.setValue(<?php echo $i ?>, 0, '<?php echo $hora[$i] ?>');
            data1.setValue(<?php echo $i ?>, 1, '<?php echo $temperatura[$i] ?>');
        }
        <?php
    }

```

```

}
?>

var options1 = {
  title: 'Temperatura por Data e Hora',
  /*width: 400, height: 300,*/
  colors: ['red'],
  legend: { position: 'bottom' }
};

// cria grafico
var chart1 = new google.visualization.LineChart(document.getElementById('chart1_div'));

// desenha grafico "
chart1.draw(data1, options1)
}
</script>
<script type="text/javascript">
google.load('visualization', '1', {'packages':['corechart']});
google.setOnLoadCallback(desenha2Grafico); function desenha2Grafico() {

var data2 = new google.visualization.DataTable();
data2.addColumn('string', 'hora');
data2.addColumn('number', 'Umidade do solo');

data2.addRows(<?php echo $i ?>);

<?php
$K = $i;
for ($i = 0; $i < $K; $i++) {
?>
data2.setValue(<?php echo $i ?>, 0, '<?php echo $hora[$i] ?>');
data2.setValue(<?php echo $i ?>, 1, '<?php echo $umidSolo[$i] ?>');
<?php
}
?>
var options2 = {
  title: 'Umidade do solo por Data e hora',
  /*width: 400, height: 300,*/
  colors: ['blue'],
  legend: { position: 'bottom' }
};
// cria grafico
var chart2 = new google.visualization.LineChart(document.getElementById('chart2_div'));

// desenha grafico "
chart2.draw(data2, options2)
}
</script>
<script type="text/javascript">
google.load('visualization', '1', {'packages':['corechart']});
google.setOnLoadCallback(desenha3Grafico);
function desenha3Grafico() {
var data3 = new google.visualization.DataTable();
data3.addColumn('string', 'hora');
data3.addColumn('number', 'Umidade do ar');
data3.addRows(<?php echo $i ?>);
<?php

```

```

Sk = $i;
for ($i = 0; $i < $k; $i++) {
?>
data3.setValue(<?php echo $i ?>, 0, '<?php echo $hora[$i] ?>');
data3.setValue(<?php echo $i ?>, 1, <?php echo $umidAr[$i] ?>);
<?php
}
?>

var options3 = {
title: 'Umidade do ar por Data e hora',
/*width: 400, height: 300,*/
colors: ['green'],
legend: { position: 'bottom' }
};

// cria grafico
var chart3 = new google.visualization.LineChart(document.getElementById('chart3_div'));
// desenha grafico "
chart3.draw(data3, options3)
}
</script>
<div id="chart1_div"></div>
<div id="chart2_div"></div>
<div id="chart3_div"></div>
</div>

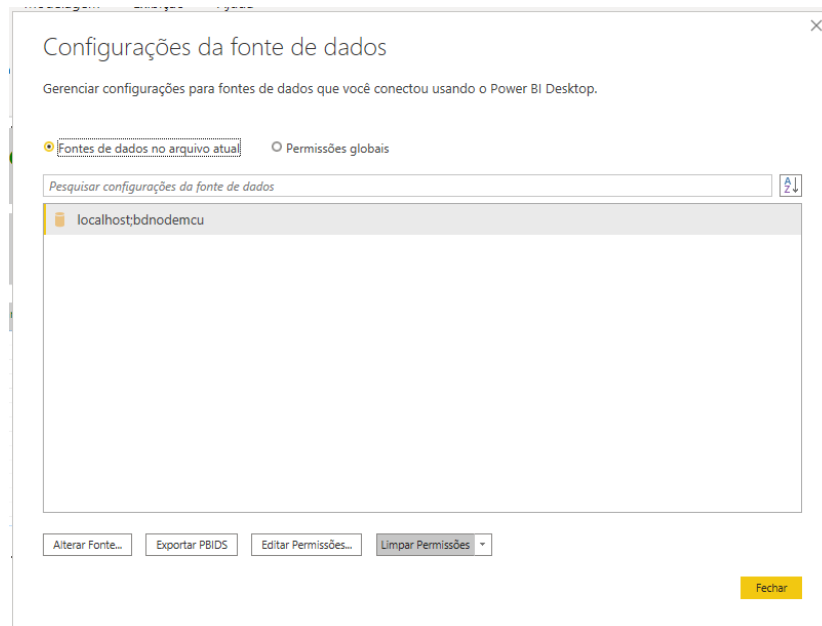
</body>
</html>

```

Essa abordagem facilita a compreensão e o monitoramento do desempenho das plantas, mesmo para usuários sem conhecimentos avançados em programação ou bancos de dados. O *site* HTML desenvolvido oferece uma interface intuitiva e acessível para visualizar e interpretar os dados coletados pelo projeto. No entanto, é importante observar que o *site* HTML não foi hospedado em nenhum domínio, limitando o acesso apenas à máquina onde os dados do servidor estão armazenados. Para superar essa limitação, é recomendável hospedar o *site* em um servidor, permitindo o acesso *online* aos dados.

Uma alternativa viável para tratar e visualizar os dados de forma simplificada e intuitiva é o uso do Power BI. Essa plataforma oferece recursos como a conexão com o banco de dados, a atualização dos dados na nuvem e a criação de visualizações interativas. Isso possibilita o acesso remoto e a disponibilidade das informações de maneira mais acessível e conveniente. Dessa forma, foi estabelecida a conexão com o banco de dados por meio do Power BI, permitindo o tratamento dos dados e sua disponibilização de forma *online*, conforme Figura 32.

Figura 32 - Conexão do banco de dados no Power BI



Fonte – Autor.

Depois da conexão realizada, todos os dados disponíveis na tabela de dados ficam disponíveis também no Power BI, como na Figura 33.

Figura 33 - Tabela de dados no Power BI.

id	Umidade ar	Temperatura	Umidade solo	data_hora
486	8500	2170	8400	23/05/2023 22:05:33
485	8400	2180	3800	23/05/2023 22:03:37
484	8300	2180	4000	23/05/2023 22:01:41
483	8200	2170	4600	23/05/2023 21:59:45
482	8200	2140	6000	23/05/2023 21:57:48
481	8300	2150	5800	23/05/2023 21:55:52
480	8400	2140	6200	23/05/2023 21:53:56
479	8600	2110	6800	23/05/2023 21:52:00
478	8600	2110	3600	23/05/2023 21:50:04
477	8700	2120	2600	23/05/2023 21:43:17
476	8600	2080	2800	23/05/2023 21:41:21

Fonte – Autor.

Com esses dados disponíveis, é possível realizar diversos cálculos e criar diversas visualizações dentro do Power BI, além de publicar essa visualização em um *site online*.



## 5 RESULTADOS

Após a conclusão do trabalho prático, foi desenvolvido um módulo utilizando o microcontrolador ESP, cuja função é coletar dados de umidade do solo, umidade do ar e temperatura do ar. Por meio da conexão Wi-Fi, essas informações são transmitidas e armazenadas em um banco de dados para uso posterior. Esse módulo possibilita a coleta e o armazenamento eficiente dos dados, permitindo sua utilização para análise e tomada de decisões.













































Figura 34 - Módulo finalizado e instalado na estufa.



Fonte – Autor.

Após a ativação do módulo, foi observado o início do ciclo de operação, durante o qual foram coletadas informações relacionadas ao plantio, como leituras de umidade do solo, umidade do ar e temperatura ambiente. Além disso, a iluminação foi ativada automaticamente assim que o módulo entrou em funcionamento. As informações são enviadas para o banco de dados de maneira automática e ficam disponíveis para acesso por meio do *site* HTML e do projeto desenvolvido no Power BI.

Figura 35 - Dados disponíveis na tabela de dados.

		id	sensor1	sensor2	sensor3	data_hora	1
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	484	83.00	21.80	40.00	2023-05-23 22:01:41	
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	483	82.00	21.70	46.00	2023-05-23 21:59:45	
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	482	82.00	21.40	60.00	2023-05-23 21:57:48	
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	481	83.00	21.50	58.00	2023-05-23 21:55:52	
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	480	84.00	21.40	62.00	2023-05-23 21:53:56	
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	479	86.00	21.10	68.00	2023-05-23 21:52:00	
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	478	86.00	21.10	36.00	2023-05-23 21:50:04	
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	477	87.00	21.20	26.00	2023-05-23 21:43:17	
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	476	86.00	20.90	28.00	2023-05-23 21:41:21	
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	475	86.00	20.90	38.00	2023-05-23 21:39:25	
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	474	84.00	20.90	38.00	2023-05-23 21:14:23	
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	473	84.00	20.80	38.00	2023-05-23 21:05:22	
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	472	85.00	20.50	34.00	2023-05-23 20:40:14	
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	471	83.00	20.30	22.00	2023-05-23 20:35:17	
<input type="checkbox"/>	 Edita  Copiar  Apagar	470	84.00	20.60	22.00	2023-05-23 20:33:21	

Fonte – Autor.

Durante cada ciclo, com duração de dois minutos conforme definido no projeto, o módulo realizou uma nova leitura da umidade do solo. Caso a umidade do solo estivesse abaixo de 40%, o sistema de irrigação era acionado, como na Figura 36. Após a irrigação, o ciclo reiniciava, continuando a realizar leituras a cada dois minutos. No caso de a umidade do solo estar acima de 40%, o processo prosseguia sem ativar a irrigação. O sistema retirava água do reservatório e irrigava a planta por um período de 3 segundos.

Nos testes realizados, a bomba irrigava cerca de 23mL por segundo, indo em linha com a vazão fornecida pelo fabricante, de 80L/h. Essa informação é importante para definir a quantidade de água necessária, sendo uma variável diretamente ligada ao tempo definido. Isso é importante para definirmos o tempo necessário para reabastecimento do nosso reservatório de água. Nos testes, por se tratar de um reservatório de 400mL, em cerca de 4 horas foi necessário o reabastecimento, considerando que a umidade se mantinha acima dos 40% na maior parte dos ciclos.

Ao acessar o *site* em HTML disponível no servidor, é possível obter os dados recentemente lidos pelo módulo, conforme ilustrado na Figura 37. Para obter o dado mais recente, basta atualizar a página no navegador, e a conexão será atualizada.

Nos testes realizados, constatou-se que a conexão é rápida, com um tempo médio de menos de 1 segundo para que a leitura do módulo seja visível no banco de dados. No entanto, é importante ressaltar que a visualização dos dados depende da atualização da página. Como as leituras são realizadas a cada 2 minutos, não é possível obter a leitura em tempo real, mas sim

a última leitura disponível no banco de dados. O *site* gera uma tabela contendo todos os dados disponíveis para o dia e o módulo selecionado na Figura 36.

Figura 36 - Sistema de Irrigação



Fonte – Autor.

Figura 37 - Tabela com dados dos sensores.

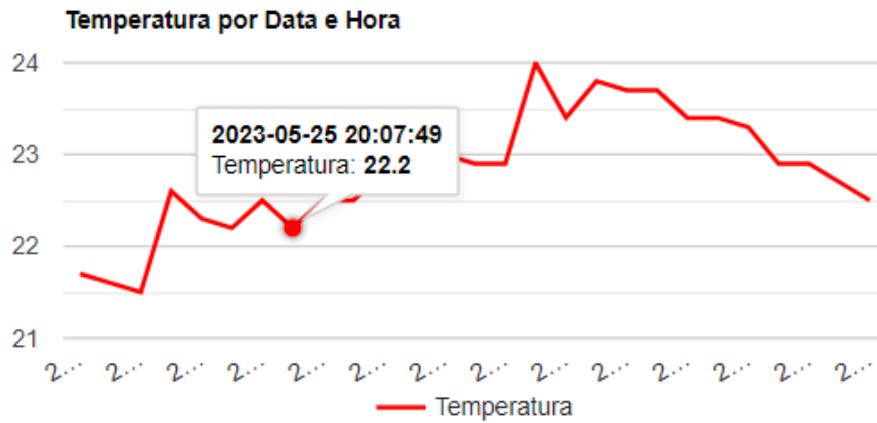
### Informações do dia 2023-05-25 - Módulo 1

Umidade do ar em %	Temperatura do ar em °C	Umidade do solo em %	Data/Hora
94.00	21.70	50.00	25/05/2023 19:55:05
94.00	21.60	38.00	25/05/2023 19:56:54
93.00	21.50	74.00	25/05/2023 19:58:43
92.00	22.60	40.00	25/05/2023 20:00:32
91.00	22.30	38.00	25/05/2023 20:02:21
91.00	22.20	70.00	25/05/2023 20:04:11
92.00	22.50	40.00	25/05/2023 20:06:00
92.00	22.20	38.00	25/05/2023 20:07:49
93.00	22.50	70.00	25/05/2023 20:09:38

Fonte – Autor.

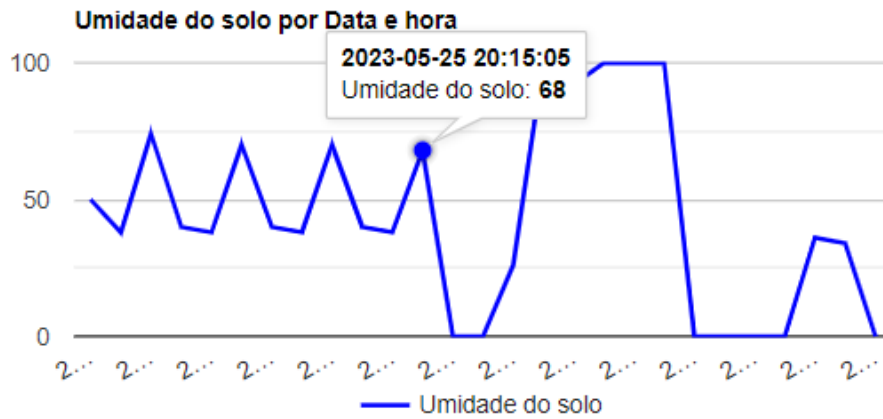
Além de mostrar os dados obtidos na tabela, o *site* cria também gráficos, onde é possível ver a variação das leituras no decorrer do tempo, como podemos ver nas Figuras 38, 39 e 40.

Figura 38 - Gráfico de Temperatura.



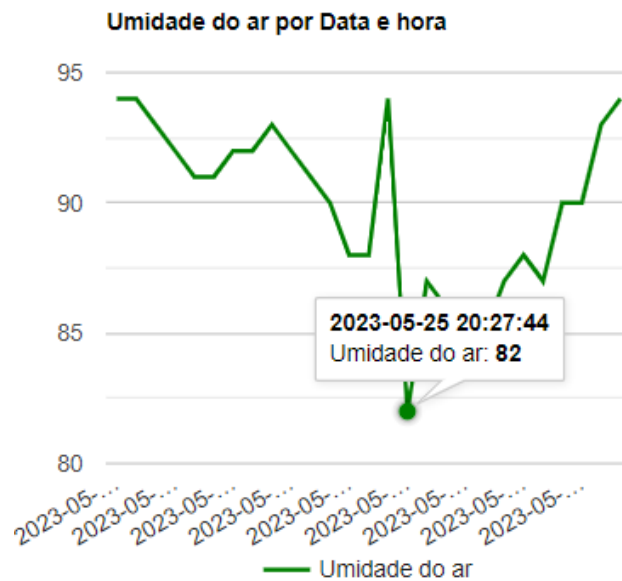
Fonte – Autor.

Figura 39 - Gráfico de Umidade do solo.



Fonte – Autor.

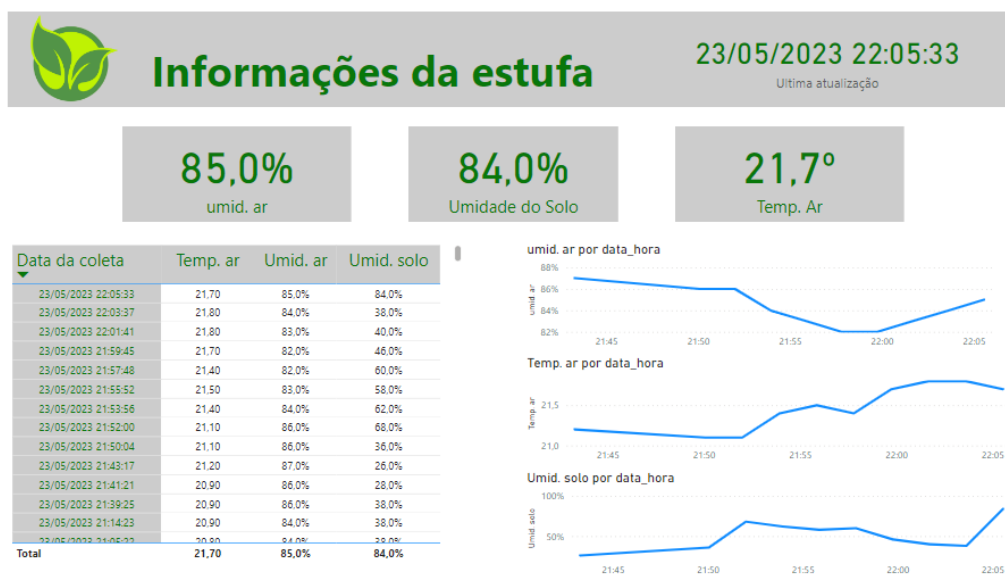
Figura 40 - Gráfico de Umidade do ar.



Fonte – Autor.

O projeto conta também com as análises feitas em Power BI (Figura 41), que possibilita uma visão geral dos dados de forma *online*, onde é possível ver a última leitura de umidade do ar, umidade do solo e temperatura do ar, assim como uma tabela ordenada com os dados e os gráficos de variação das coletas no tempo.

Figura 41 - Visualização do Power BI



Fonte – Autor.

Como pontos fortes do projeto, temos um módulo compacto e simples, capaz de coletar dados de forma eficiente e transmiti-los para o banco de dados sem problemas de comunicação. O site HTML está sempre conectado ao banco de dados, permitindo uma atualização rápida ao atualizar a página para obter informações mais recentes. Além disso, as informações também podem ser acessadas *online* através do Power BI, facilitando a visualização dos dados.

Durante o desenvolvimento do projeto, algumas dificuldades foram encontradas. O processo de irrigação requer um recipiente de água que precisa ser reabastecido regularmente. Para tornar o site HTML disponível *online*, seria necessário hospedá-lo em um domínio, o que melhoraria a eficiência do projeto.

A visualização do Power BI, embora *online*, é limitada pela frequência de atualização dos dados a cada 30 minutos. Na conta gratuita utilizada no desenvolvimento, era possível programar apenas 8 atualizações diárias, com intervalos de 30 minutos ou mais. No projeto, o Power BI é atualizado a cada 3 horas. Mesmo com uma conta *premium* do Power BI, a frequência de atualização permanece limitada a cada 30 minutos. Além disso, nos testes realizados, notou-se que o Power BI leva mais tempo para atualizar o banco de dados, podendo

levar de 3 a 4 minutos para extrair todas as informações. Isso ocorre porque o Power BI baixa todas as informações presentes no banco de dados a cada atualização, o que aumenta o tempo necessário para a atualização.

## 6 CONCLUSÃO

Durante o desenvolvimento deste projeto, foi enfrentado o desafio de criar uma solução automatizada e acessível para o monitoramento e cultivo de plantas em ambientes controlados, como estufas e fazendas verticais. O módulo desenvolvido demonstrou que é possível alcançar esse objetivo, superando obstáculo como o alto custo dos equipamentos e a necessidade de monitoramento constante.

O módulo utiliza sensores e atuadores para coletar dados relevantes e agir autonomamente no cultivo das plantas. Essa abordagem elimina a necessidade de intervenção humana direta, tornando o processo mais eficiente e reduzindo os possíveis erros.

A visualização dos dados coletados é facilitada e intuitiva, possibilitando uma análise detalhada do crescimento e desenvolvimento das plantas. O monitoramento contínuo da umidade do solo permite estabelecer parâmetros de irrigação mais precisos, evitando desperdício de água e reduzindo os custos associados.

Este projeto busca incentivar o cultivo em ambientes internos, oferecendo uma alternativa viável para aqueles que enfrentam restrições de espaço ou não possuem acesso a áreas abertas. Acredita-se que essa solução contribuirá para o desenvolvimento sustentável da agricultura, combinando eficiência, economia de recursos e maior controle sobre o processo de cultivo.

Durante o desenvolvimento, foram identificadas possibilidades de trabalhos futuros, como a criação de um sistema de irrigação conectado à rede hidráulica, eliminando a necessidade de reabastecimento manual. Além disso, o desenvolvimento de um *site* conectado à internet poderia proporcionar atualizações mais rápidas do que o Power BI. Outro aspecto interessante a ser explorado seria o isolamento completo das partes sensíveis à água, tornando o módulo mais robusto.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, C. A. (2018) **Vertical Farm (Fazenda Vertical) análise de qualidade do investimento usando protótipo de empreendimento imobiliário**. USP, Dissertação de Mestrado.
- BACCO, M. et al. (2018) **Smart Farming: Opportunities, Challenges and Technology Enablers**. IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany (IOT Tuscany), IEEE Explorer.
- BITENCOURT, B. C. B. (2013) **Monitoramento e Controle de Estufas Hidropônicas**. Universidade Estadual Paulista, Campus Sorocaba, Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Controle e Automação.
- DEVMEDIA (2013) Introdução ao MySQL. Disponível em <<https://www.devmedia.com.br/introducao-ao-mysql/27799>> acessado em abril de 2021.
- DEVMEDIA(2013) MySQL. Disponível em <<https://www.devmedia.com.br/php-e-mysql-conectando-e-exibindo-dados-de-forma-rapida-dica/28526>>
- DIAS, D. (2018) **Cultivo Protegido em Estufa**, Programa Viver Fora do Sistema.
- FERNANDES, D. G. (2017) **Sistema Automatizado de Controle de Estufas para Cultivo de Hortaliças**. Universidade Federal de Santa Maria, Trabalho de Conclusão de Curso em Sistemas de Informação
- GARCIA, G. T. et al. (2018) **Sensor Network for Monitoring Physical Variables Applied to Green Technology (IoT Green Technology)**. EJECE, European Journal of Electrical and Computer Engineering, Vol. 2, No. 2, DOI: 10.24018/ejece.2018.2.2.15
- GARCIA, L. et al. (2018) **Wireless Technologies for IoT in Smart Cities. Network Protocols and Algorithms**, ISSN 1943-3581, Vol. 10, No. 1, DOI: 10.5296/npa.v10i1.12798.
- GIRARDI, G. C. (2018) **Automação do controle e do monitoramento de temperatura e umidificação de canteiros de cogumelo *agaricus blazei*, no cultivo familiar em Santa Helena/PR**. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, dissertação de Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio
- GRANDE, K. C. et al. (2014) **Biotelemetria Animal por Sistema de Monitoramento Via Internet Com Dispositivo Portátil Baseado Em Gps E Gsm/Gprs**. XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica.
- HOMEHOST (2019) Endereço Ip. Disponível em <<https://www.homehost.com.br/blog/internet/meu-ip/#:~:text=Endere%C3%A7o%20IP%20%C3%A9%20uma%20esp%C3%A9cie,pelo%20servidor%20DHCP%20deste%20roteador.>>
- HOSTINGER (2020) **O que é MySQL?** Disponível em <<https://www.hostinger.com.br/tutoriais/o-que-e-mysql>> acessado em abril de 2022.
- FLIPEFLOP (2022) **Sensor de umidade e temperatura DHT11**. Disponível em <<https://www.flipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11/>> acessado em abril de 2022.



INFOWESTER (2013) **O que é Wi-Fi**. Disponível em < <https://www.infowester.com/wifi.php> > acessado em abril de 2021.

IOT – BUILDING RELIABILITY (2019) **NodeMCU tutorial**. Disponível em < <https://mounishkukkula.wordpress.com/nodemcu-tutorials/> > acessado em abril de 2021.

JANNUZZI, C. (2017) **Irrigação inteligente economiza água e não desperdiça**, disponível em: <<https://www.grupocultivar.com.br/artigos/irrigacao-inteligente-economiza-agua-e-nao-desperdica>>, acessado em abril de 2022.

JUNIOR, Olair R. (2017) **Sistema de monitoramento residencial baseado em Internet das Coisas**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual de Londrina, Bacharel em Engenharia Elétrica.

LOPES, M. A. S. (2010) **Monitoramento eletrônico de residências**. Ideia de Negócios, SEBRAE.

MASIERO, A. (2018) **O uso do monitoramento eletrônico como instrumento de controle penal estatal: breve discussão sobre sua (in)constitucionalidade**. Disponível em: <[http://www.ambito-juridico.com.br/site/?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=20224&revista\\_caderno=22](http://www.ambito-juridico.com.br/site/?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=20224&revista_caderno=22)>, acessado em abril de 2019.

MASTERWALKER (2019) **Sensor (Medidor) de Umidade do Solo (Higrômetro)**. Disponível em <<https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-medidor-de-umidade-do-solo-higrometro>> acessado em abril de 2021.

NEGREIRA (2014) **Você sabe o que são as Estufas Agrícolas?** Disponível em <<http://www.negreira.com.br/blog/voce-sabe-o-que-sao-estufas-agricolas/>>, acessado em abril de 2019.

SAMPAIO, H. V. (2016) **Projeto e Implementação de um Sistema de Monitoramento de uma Estufa Agrícola Utilizando Rede Hierárquica de Sensores Sem Fio**. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação, Faculdade Campo Limpo Paulista.

SANTOS, O. L. D. et al. (2016) **Sistema de Controle de Temperatura para uma Estufa com Monitoramento via Aplicativo**. In: Revista de Ciência e Tecnologia, v.1.n.1 (2016) ISSN 2447-7028.

SNA (2017) **Fazendas verticais: produção pode atingir o triplo da agricultura convencional**. Disponível em <[www.sna.agr.br/fazendas-verticais-producao-pode-atingir-o-triplo-da-agricultura-tradicional-diz-pesquisador/](http://www.sna.agr.br/fazendas-verticais-producao-pode-atingir-o-triplo-da-agricultura-tradicional-diz-pesquisador/)>, acessado em abril de 2019.

UUGEAR (2020) **DHT11 HUMIDITY & TEMPERATURE SENSOR MODULE**. Disponível em < <http://www.uugear.com/portfolio/dht11-humidity-temperature-sensor-module/> > acessado em abril de 2021.