

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**ANGELO AUGUSTO GRASSI BUSS
LEONARDO SALGADO AUGUSTINHO**

**GERENCIAMENTO DE TEMPERATURA E MONITORAMENTO DE SENSORES
COM APLICAÇÃO WEB INTEGRADA A MICROCONTROLADOR EM SISTEMA
HIDROPÔNICO**

CURITIBA

2024

**ANGELO AUGUSTO GRASSI BUSS
LEONARDO SALGADO AUGUSTINHO**

**GERENCIAMENTO DE TEMPERATURA E MONITORAMENTO DE SENSORES
COM APLICAÇÃO WEB INTEGRADA A MICROCONTROLADOR EM SISTEMA
HIDROPÔNICO**

**TEMPERATURE MANAGEMENT AND SENSOR MONITORING WITH WEB
APPLICATION INTEGRATED TO A MICROCONTROLLER IN A HYDROPONIC
SYSTEM**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica do Curso de Bacharelado em Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Tarso Neves Junior.

**CURITIBA
2024**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ANGELO AUGUSTO GRASSI BUSS
LEONARDO SALGADO AUGUSTINHO**

**GERENCIAMENTO DE TEMPERATURA E MONITORAMENTO DE SENSORES
COM APLICAÇÃO WEB INTEGRADA A MICROCONTROLADOR EM SISTEMA
HIDROPÔNICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica do Curso de Bacharelado em Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data da aprovação: 26 de março de 2024.

Paulo de Tarso Neves Junior
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rubens Alexandre de Faria
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Luciane Agnoletti dos Santos Pedotti
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CURITIBA
2024**

AGRADECIMENTOS

À medida que finalizamos esta jornada acadêmica, gostaríamos de expressar nossa mais profunda gratidão àqueles que tornaram este trabalho possível. Primeiramente, agradecemos aos nossos professores da UTFPR, principalmente do DAELN, cujo conhecimento e orientação foram fundamentais para o nosso desenvolvimento acadêmico e pessoal. Um agradecimento especial ao nosso orientador, cuja expertise e apoio inestimável foram essenciais na condução e realização deste projeto.

Não podemos deixar de agradecer à família, por sua compreensão, amor e suporte incondicional. Nos momentos de desafio e dúvida, foram vocês que nos proporcionaram a força e a motivação para continuar.

Este trabalho não seria o que é sem a colaboração e apoio de todos vocês. Nossa jornada até aqui foi enriquecida e inspirada pela generosidade e sabedoria de cada um. Nosso sincero obrigado a todos que fizeram parte deste caminho.

" Sometimes I'll start a sentence, and I don't even know where it's going. I just hope I find it along the way." - Michael Scott.

RESUMO

A hidroponia é essencial nos dias atuais devido à sua eficiência no uso de recursos hídricos, controle preciso das condições de crescimento, redução de pragas e doenças, adaptabilidade a ambientes urbanos e condições adversas. Este estudo descreve o desenvolvimento de um sistema hidropônico monitorado, utilizando o microcontrolador ESP32 como peça central. O microcontrolador é encarregado da aquisição de dados por meio de sensores de temperatura, umidade do ar, pH, luminosidade e nível de água. O protótipo inclui um sistema de controle de temperatura integrado e um servidor web local para apresentar uma interface com dados em tempo real. Através do monitoramento contínuo dessas variáveis, o sistema busca proporcionar ao usuário informações sobre as condições e fatores que afetam o crescimento das plantas. O uso consciente da tecnologia agregada ao cultivo das hortaliças contribuem para a eficiência e sustentabilidade do sistema hidropônico.

Palavras-chave: hidroponia; monitoramento; esp32; peltier.

ABSTRACT

Hydroponics is essential today due to its efficiency in the use of water resources, precise control of growing conditions, reduction of pests and diseases and adaptability to urban environments, as well as adverse conditions. This study describes developing a monitored hydroponic system using the ESP32 microcontroller as the centerpiece. The microcontroller is responsible for acquiring data through temperature, air humidity, pH, luminosity and water level. The prototype includes an integrated temperature control system and a local web server to interface with real-time data. Through continuous monitoring of these variables, the system seeks to provide the user with information about the conditions and factors that affect plant growth. The conscious use of technology added to the cultivation of vegetables contributes to the efficiency and sustainability of the hydroponic system.

Keywords: hydroponics; monitoring; esp32; peltier.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de blocos do sistema hidropônico.	16
Figura 2 – Método NFT.	18
Figura 3 – Método DFT.	18
Figura 4 – Método Aeroponia.	19
Figura 5 – Método em Substrato.	19
Figura 6 – ESP32.	20
Figura 7 – Pinagem ESP 32.	21
Figura 8 – Sensor de temperatura - DS18B20.	22
Figura 9 – Sensor de pH - PH4502-C.	22
Figura 10 – Sensor de nível de água.	23
Figura 11 – Sensor de luminosidade - BH1750.	24
Figura 12 – Sensor de umidade do ar - DHT11.	24
Figura 13 – Efeito Seebeck.	25
Figura 14 – Efeito Peltier.	26
Figura 15 – Placa Peltier.	26
Figura 16 – Esboço das calhas do sistema.	31
Figura 17 – Esboço da base estrutural do sistema.	32
Figura 18 – Modelagem do sistema.	32
Figura 19 – Vista em corte do sistema.	33
Figura 20 – Suporte dos sensores: (a) Suporte modelado, (b) Suporte real.	34
Figura 21 – Calhas do sistema.	34
Figura 22 – Base estrutural do sistema.	35
Figura 23 – Orifícios das calhas do sistema.	35
Figura 24 – Estrutura finalizada do sistema.	36
Figura 25 – Circuito do DHT11.	37
Figura 26 – Diagrama do BH1750.	38
Figura 27 – Diagrama do DS18B20.	38
Figura 28 – Sistema de acionamento magnético: (a) Bóia, (b) Diagrama.	39
Figura 29 – Sonda de pH.	40
Figura 30 – Bomba de água - RS-385.	41

Figura 31 – Sistema de controle termoelétrico.	42
Figura 32 – Diagrama de alimentação e polarização do sistema termoelétrico. . . .	43
Figura 33 – Diagrama elétrico do circuito.	44
Figura 34 – Interface <i>Web</i> multiplataforma: (a) Smartphone, (b) Laptop.	46
Figura 35 – Servidor <i>Web</i> local.	46
Figura 36 – Fluxograma do software.	47
Figura 37 – Sistema hidropônico em funcionamento.	48
Figura 38 – Teste com sensor de temperatura - DS18B20.	51
Figura 39 – Teste com sensor de luminosidade - BH1750.	52
Figura 40 – Teste com sensor de pH - PH4502-C.	53
Figura 41 – Teste com sensor de umidade do ar - DHT11.	54
Figura 42 – Teste de estresse com pastilha Peltier.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre sistema hidropônico e cultivo tradicional	17
Tabela 2 – Custos do projeto	57

LISTA DE SÍMBOLOS

Siglas

ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
DAC	<i>Digital to Analog Converter</i>
DFT	<i>Deep Flow Technique</i>
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
ESP32	<i>Espressif Systems Processor 32</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
JS	<i>Java Script</i>
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
NFT	<i>Nutrient Film Technique</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
pH	Potencial Hidrogeniônico
PLA	<i>Polylactic Acid</i>
PVC	<i>Polyvinyl Chloride</i>
PWM	<i>Pulse With Modulation</i>
SCL	<i>Serial Clock</i>
SDA	<i>Serial Data</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SSID	<i>Service Set Identifier</i>

UART *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*

UTFPR Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Hidroponia	16
2.2	ESP32	20
2.3	Sensores	21
2.3.1	Sensor de temperatura	21
2.3.2	Sensor de pH	22
2.3.3	Sensor de nível de água	23
2.3.4	Sensor de luminosidade	23
2.3.5	Sensor de umidade do ar	24
2.4	Efeito termoeletrico	25
2.5	Aplicação Web	27
2.5.1	HTML + CSS	27
2.5.2	Web server assíncrono	28
3	DESENVOLVIMENTO	30
3.1	Especificações do projeto	30
3.1.1	Requisitos funcionais	30
3.1.2	Requisitos não funcionais	30
3.2	Protótipo	31
3.2.1	Esboço da estrutura	31
3.2.2	Modelagem 3D	32
3.2.3	Confecção	34
3.2.4	Hardware	36
<u>3.2.4.1</u>	<u>DHT11 - sensor de umidade de ar</u>	<u>36</u>
<u>3.2.4.2</u>	<u>BH1750 - sensor de luminosidade</u>	<u>37</u>
<u>3.2.4.3</u>	<u>DS18B20 - sensor de temperatura</u>	<u>38</u>

3.2.4.4	Sensor de nível da água	39
3.2.4.5	PH4502-C - sensor de pH	40
3.2.4.6	RS-385 - bomba de água	40
3.2.4.7	Sistema de controle térmico	41
3.2.4.8	Comunicação dos sensores	44
3.2.5	Software	45
3.2.5.1	Interface	45
3.2.5.2	Implementação	47
3.2.6	Funcionamento do protótipo	48
4	TESTES E RESULTADOS	50
4.1	Premissas	50
4.2	Teste dos sensores durante um dia completo de operação	50
4.3	Teste de estresse de temperatura com pastilha Peltier	54
5	GESTÃO	56
5.1	Análise de riscos	56
5.2	Custos	57
6	CONCLUSÃO	58
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Hidroponia é uma técnica de cultivo de plantas sem solo, onde as raízes crescem em uma solução nutritiva. Esse método de cultivo é focado em produzir alimentos de alta qualidade, com sabor e aparência superiores em comparação aos cultivados tradicionalmente, apresentando um menor risco de contaminação por doenças comuns na agricultura convencional (SANTOS, 2002). O uso de sensores em projetos de hidroponia representa um avanço significativo na agricultura moderna, proporcionando um controle automatizado das condições ambientais essenciais para o cultivo de plantas.

Na sociedade moderna, onde a eficiência e a sustentabilidade são cada vez mais valorizadas, sistemas hidropônicos integrados com aplicação web surgem como uma inovação promissora no campo da agricultura urbana e tecnológica. Esses sistemas utilizam a tecnologia de microcontroladores para monitorar e ajustar automaticamente as condições essenciais para o cultivo hidropônico, como pH, iluminação, temperatura e umidade. A tecnologia aplicada à agricultura representa um método em evolução que apoia as práticas agrícolas, melhorando a produtividade e a qualidade das culturas, ao mesmo tempo em que diminui os custos, aprimorando os processos de produção mitigando os impactos negativos causados por condições climáticas desfavoráveis (LIMA, 2014).

Em vista do atual cenário, o presente trabalho visa integrar tecnologia e práticas sustentáveis através do desenvolvimento de um projeto de hidroponia residencial com sensores e atuadores. Este projeto não só proporciona uma oportunidade para a aplicação prática de conhecimentos adquiridos em diversas áreas de estudo, mas também promove a consciência ambiental e a sustentabilidade.

1.1 Justificativa

A hidroponia nas residências urbanas ganhou importância significativa como uma solução inovadora para a agricultura em espaços limitados. Esta técnica de cultivo sem solo é ideal para ambientes urbanos, onde o espaço é restrito e o acesso a terras aráveis é limitado. Além de ser uma maneira eficiente de cultivar alimentos frescos e saudáveis diretamente no lar, a hidroponia urbana contribui para a sustentabilidade ambiental, reduzindo o uso de água em comparação com métodos de cultivo tradicionais. Em países como México, Peru e Cuba, os agricultores estão inovando ao utilizar espaços pouco tradicionais para a produção de alimentos adotando a hidroponia orgânica, conhecida como organoponia, para cultivar de maneira eficiente e sustentável em ambientes urbanos (MACHADO; MACHADO, 2002).

A fim de ser um projeto residencial robusto, tornou-se evidente a importância de um monitoramento contínuo do plantio verificando as condições em que as plantas estão se desenvolvendo e realizar ajustes e práticas de manejo adequadas para garantir o êxito do cultivo hidropônico (EGÍDIO; LEVY, 2011). A integração com uma aplicação web permite o gerencia-

mento remoto e em tempo real dessas condições, facilitando o acompanhamento por parte do usuário. Este avanço tecnológico torna o uso da água e nutrientes mais eficiente, diminuindo danos ao meio ambiente, e facilitando o acesso a alimentos frescos e saudáveis.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Será desenvolvido um sistema hidropônico, utilizando-se do microcontrolador ESP32, o qual será monitorado remotamente através de um servidor local. Este servidor proporcionará uma interface intuitiva, estando integrado a sensores e atuadores, incluindo um controle de temperatura. A finalidade dessa integração é fornecer dados em tempo real, facilitando a visualização e interpretação das informações coletadas para uma gestão eficiente e otimizada do sistema hidropônico.

1.2.2 Objetivos Específicos

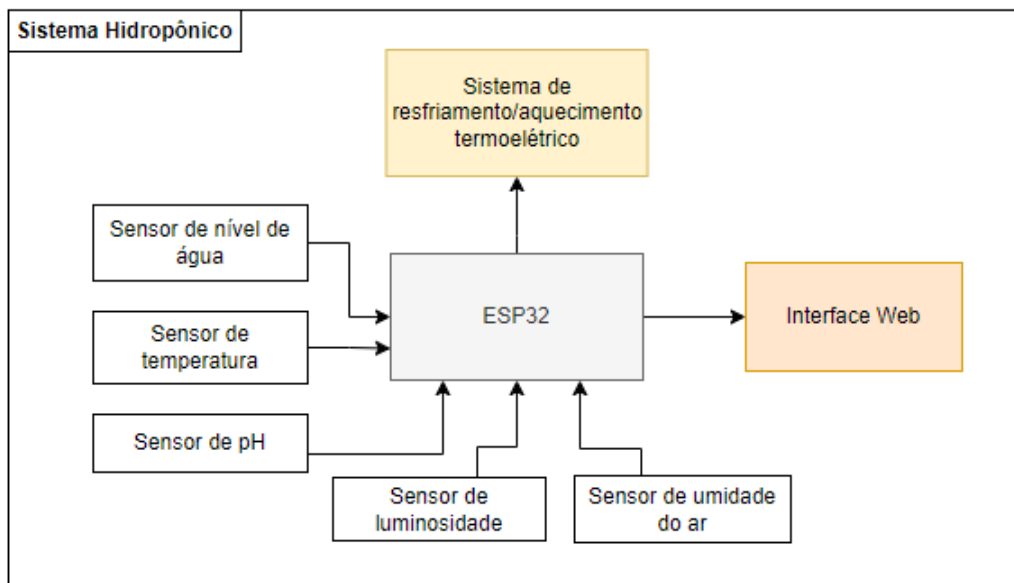
Com o intuito de atingir o objetivo geral, necessita-se a execução dos objetivos específicos:

- Definir os modelos de sensores adequados para cada tipo de medição;
- Escolher uma plataforma de desenvolvimento adequada à aplicação;
- Desenvolver um software capaz de coletar os dados, armazenar e transmitir para um servidor Web;
- Desenvolver uma interface de supervisão do ambiente de plantação;
- Validar, simular e testar o sistema desenvolvido.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O projeto, como mostrado na Figura 1, detalha a criação de um sistema hidropônico com monitoramento, empregando o microcontrolador ESP32 como elemento principal, sendo responsável por coletar informações através de sensores específicos como temperatura, umidade do ar, pH, luminosidade e nível de água. O modelo desenvolvido possui um mecanismo integrado para controle de temperatura utilizando um sistema termoelétrico com pastilha Peltier e uma Interface *Web* que permite o acesso do usuário a dados atualizados em tempo real.

Figura 1 – Diagrama de blocos do sistema hidropônico.



Fonte: Autoria própria (2024).

2.1 Hidroponia

A Hidroponia, como elemento histórico, tem como sua menção mais antiga oriunda da sua utilização nos Jardins suspensos babilônicos (LAY-ANG, 2024), porém a palavra hidroponia só foi empregada para descrever tal método de cultivo em 1937 pelo Dr. William Frederick Gericke o qual promoveu através de suas pesquisas laboratoriais a disseminação do conhecimento e prática do cultivo hidropônico aos agricultores, possibilitando a utilização da prática hidropônica em escala comercial (MARTINS, 2011). Há relatórios e documentos, onde durante a Segunda Mundial nas Ilha de Ascensão, o exército dos Estados Unidos da América utilizou-se de técnicas hidropônicas para o cultivo de vegetais e hortaliças para alimentar seus militares (SANTOS, 2000).

Os países pioneiros na adoção da hidroponia, como Holanda, França, Estados Unidos e Japão, compartilharam fatores semelhantes motivados pelas restrições impostas pelos métodos convencionais de cultivo, incluindo limitações climáticas, sazonalidades, padrões de chuva, de-

safios relacionados à composição e estrutura do solo, além das restrições espaciais inerentes ao cultivo tradicional (RESH, 2001).

No cultivo hidropônico, as perdas por evaporação são baixas, assim como a inexistência de perda por percolação, resultando em uma economia que somada representa um ganho de cerca de 80% da quantidade de água gasta com o plantio convencional, fato este que abre a possibilidade de a hidroponia estabelecer unidades produtivas eficientes mesmo em condições onde os suprimentos de água são limitados, como em áreas caracterizadas por aridez ou desertificação e baixa fertilidade de solo (SILVA; PINTO, 2019). Assim, observa-se um impacto positivo tanto em vilarejos quanto em cidades, oferecendo não apenas meios de subsistência, mas também ampliando as opções de lazer e entretenimento para a população urbana (DOUGLAS, 1987).

O uso do sistema de plantio hidropônico permite o controle preciso das variáveis essenciais em cada fase do cultivo. Sua eficácia decorre da habilidade de criar um ambiente altamente controlado, reduzindo significativamente os desafios associados ao cultivo tradicional. Isso oferece uma metodologia de cultivo mais eficiente, sustentável e flexível, adaptável às necessidades específicas de diversas espécies vegetais (VELAZQUEZ-GONZALEZ *et al.*, 2022).

Ao analisar sob a perspectiva da eficiência produtiva, a hidroponia atinge uma escala comercial global graças à capacidade das plantas, neste método de cultivo, de ocuparem menos espaço. Isso se deve aos sistemas radiculares mais compactos e reduzidos, além da rica disponibilidade de nutrientes proporcionada pela solução nutritiva. Esta abordagem não apenas otimiza o uso do espaço, mas também garante uma nutrição vegetal ideal, contribuindo significativamente para a viabilidade e expansão da hidroponia, resultando em uma produtividade, em média, de três a quatro vezes maior em comparação com os modelos de cultivo convencionalmente utilizados, conforme apresentado na Tabela 1 (SILVA *et al.*, 2006).

Tabela 1 – Comparação entre sistema hidropônico e cultivo tradicional

Cultura	Hidroponia Ton/ha	Hidroponia Nº de ciclos	Hidroponia Ton/ha/ano	Solo Ton/ha/ano
Brócolis	32,5	3	97,5	10,5
Feijão/Vagem	11,5	4	46,0	6
Repolho	57,5	3	172,5	30
Berinjela	28,0	2	56,0	20
Alface	31,3	10	313,0	52
Pimentão	32,0	3	96,0	16
Tomate	187,5	2	375,0	100

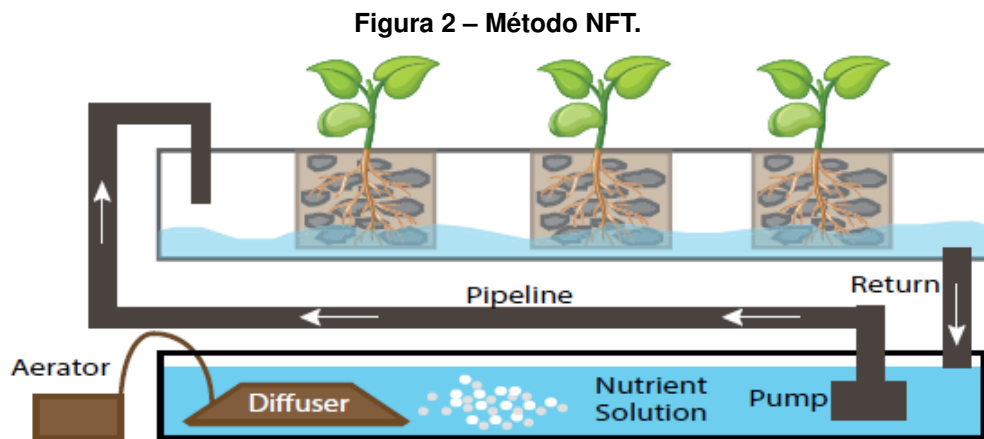
Fonte: (VELAZQUEZ-GONZALEZ *et al.*, 2022).

Conforme indicado na Tabela 1, as variedades investigadas foram avaliadas em termos de sua produtividade por hectare, bem como na frequência de ciclos de colheita ao longo do ano, resultando na produção anual total do cultivo hidropônico. Ao contrastar esses resultados com a

produção obtida pelo cultivo tradicional no solo, observa-se um notável aumento de rendimento ao utilizar o método hidropônico.

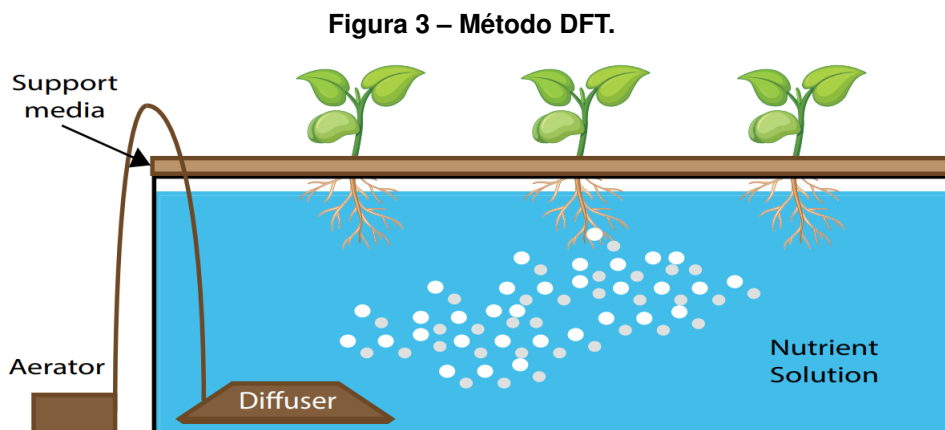
Dentre as principais variações de hidroponia que são encontradas em território nacional, temos as que mais se destacam:

- **Nutrient Film Technique (NFT):** Nesse método, como se ilustra na Figura 2, a solução nutritiva é direcionada para circular por calhas, canais ou tubos, nos quais as raízes das plantas estão posicionadas, promovendo uma distribuição eficaz dos nutrientes (CARRIJO *et al.*, 2000).



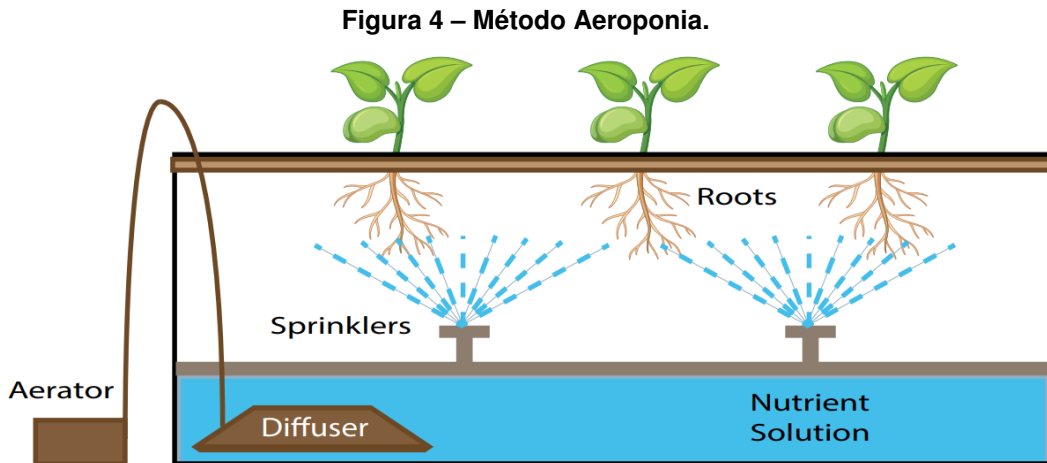
Fonte: (VELAZQUEZ-GONZALEZ *et al.*, 2022).

- **Deep Flow Technique (DFT):** Este modelo, como se observa na Figura 3, envolve o cultivo em uma camada de solução nutritiva armazenada em um reservatório em formato de piscina (CARRIJO *et al.*, 2000).



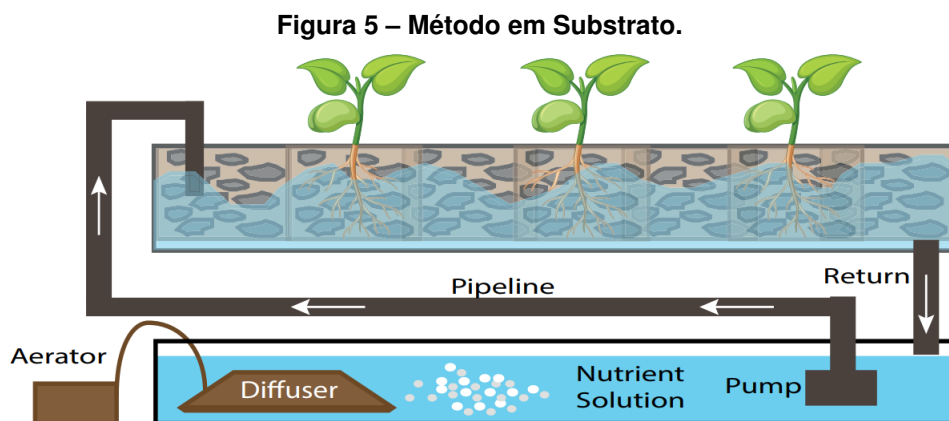
Fonte: (VELAZQUEZ-GONZALEZ *et al.*, 2022).

- **Aeroponia:** Neste modelo, como ilustrado na Figura 4, água e nutrientes são pulverizados sobre as raízes das plantas que estão suspensas no ar, proporcionando um ambiente altamente oxigenado e eficiente para o desenvolvimento vegetal (CARRIJO *et al.*, 2000).



Fonte: (VELAZQUEZ-GONZALEZ *et al.*, 2022).

- **Cultivo em Substrato:** A abordagem hidropônica implica o fornecimento de todos os nutrientes necessários por meio de uma solução nutritiva, caracterizando-se pela utilização de um substrato para promover melhor aderência das raízes ao sistema hidropônico. Essa técnica é frequentemente empregada no cultivo de plantas frutíferas, como morangos, devido à sua capacidade de proporcionar maior estabilidade no manejo, conforme exemplificado na Figura 5 (CARRIJO *et al.*, 2000).



Fonte: (VELAZQUEZ-GONZALEZ *et al.*, 2022).

2.2 ESP32

A ESP32, exibido na Figura 6, é um microcontrolador desenvolvido pela *Espressif Systems*, uma empresa chinesa líder em soluções de conectividade sem fio, especialmente voltada para o mercado de IoT.

Figura 6 – ESP32.

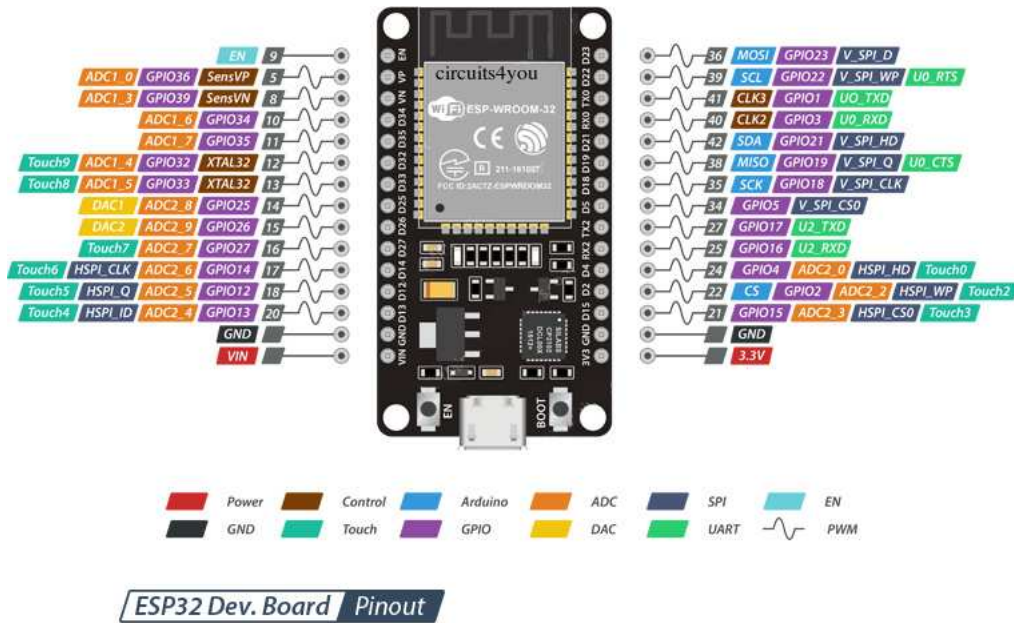


Fonte: (SYSTEM, 2023).

Baseada na arquitetura Xtensa LX6 da Tensilica, o microcontrolador possui um processador dual-core de 32 bits, capaz de operar em frequências de até 240 MHz. A ESP32 se destaca ainda pela sua conectividade integrando suporte para Wi-Fi nos padrões 802.11 e um módulo *Bluetooth* que abrange tanto *Bluetooth Classic* quanto *Bluetooth Low Energy*, a tornando um dos microcontroladores mais usados em projetos IoT. Além disso, a ESP32 implementa recursos como suporte a criptografia, para maximizar a proteção dos dados trafegados (SYSTEM, 2023).

Em termos de periféricos e entradas e saídas, a ESP32 oferece uma gama diversificada, incluindo GPIOs, UART, I2C, SPI, ADC, DAC, PWM, proporcionando flexibilidade para conectar-se a uma variedade de dispositivos externos, sensores e atuadores, como observado através da Figura 7 (SYSTEM, 2023).

Figura 7 – Pinagem ESP 32.



Fonte: (CIRCUITS4YOU, 2018).

2.3 Sensores

Na seção subsequente, será realizada uma exposição detalhada dos sensores incorporados ao projeto, abordando suas especificidades técnicas e relevância no contexto do projeto.

2.3.1 Sensor de temperatura

A temperatura da solução nutritiva tem um impacto significativo no crescimento das plantas. Uma temperatura ideal é essencial para a absorção eficaz de nutrientes, para a saúde das raízes, e para prevenir o surgimento de doenças. O sensor de temperatura permite o monitoramento constante e preciso dessas condições, garantindo que o líquido esteja sempre nas condições ideais. Isso não só maximiza a eficiência do uso de nutrientes e água, mas também promove um crescimento mais saudável das hortaliças.

O sensor DS18B20, mostrado na Figura 8, é capaz de realizar medições de temperatura em Celsius em uma faixa operacional de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$ com resolução de 9 a 12 bits e se alimentar diretamente da própria linha de dados, conhecida como "energia parasita". Além disso, este sensor utiliza um sistema de comunicação de somente um fio de dados para se conectar a um microprocessador central (SEMICONDUCTOR, 2013).

Figura 8 – Sensor de temperatura - DS18B20.



Fonte: A autoria própria (2024).

2.3.2 Sensor de pH

O monitoramento do pH em plantas é necessário, pois o pH influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes na solução nutritiva. Um pH inadequado pode levar à deficiência de nutrientes, afetando negativamente a absorção de elementos essenciais pelas raízes impactando diretamente na atividade fotossintética das plantas, uma vez que o CO₂, ao dissolver-se na água, leva à diminuição do pH (NAKAOKA; YAMADA, 2012). Para alcançar o crescimento máximo das plantas, é essencial otimizar sua capacidade mantendo o pH da solução aquosa em um intervalo adequado, a fim de prevenir qualquer dano às plantas (KIRSCHBAUM, 2011).

O PH4502-C, apresentado na Figura 9, é um módulo sensor de pH que oferece uma gama de características técnicas para medição e monitoramento eficientes do pH se destacando pelo seu sistema de ajuste de offset, permitindo uma calibração fina e uma maior precisão nas leituras de pH (AWSLI, 2022).

Figura 9 – Sensor de pH - PH4502-C.



Fonte: A autoria própria (2024).

2.3.3 Sensor de nível de água

Os sensores de nível de água, como mostrado na Figura 10, desempenham um papel vital em projetos de hidroponia, onde a gestão precisa da solução é essencial para o sucesso do cultivo. Nesse contexto, eles servem para monitorar constantemente o nível no sistema, garantindo que as plantas recebam a quantidade ideal de nutrientes e água. Um sensor de nível eficiente pode alertar quando o nível de solução está baixo, evitando que as plantas sofram com a falta de hidratação e nutrientes, ou quando está transbordando, prevenindo desperdícios e possíveis danos ao sistema. Esse monitoramento contínuo é fundamental para manter o equilíbrio do ecossistema hidropônico, otimizando o crescimento das plantas e garantindo uma produção agrícola mais eficiente.

Figura 10 – Sensor de nível de água.



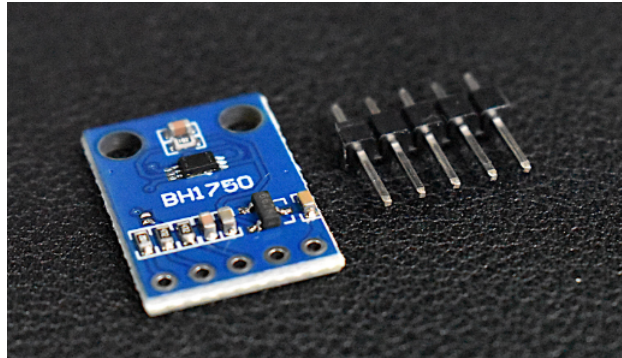
Fonte: Autoria própria (2024).

2.3.4 Sensor de luminosidade

A exposição das plantas à luz solar tem um impacto significativo no seu crescimento, tornando o seu monitoramento uma tarefa essencial, pois quando a radiação solar é insuficiente, as plantas tendem a apresentar um crescimento deficiente. Por outro lado, uma exposição excessiva pode causar danos como queimaduras nas plantas (SANTOS, 1998).

O módulo digital BH1750, apresentado na Figura 11, é um sensor de luminosidade capaz de efetuar leituras entre 1 e 65.535 lux com um conversor analógico-digital de 16 bits e opera através do protocolo I2C. Uma das suas principais vantagens é a sua ampla utilização em projetos de automação residencial de pequena escala, oferecendo uma precisão superior em comparação aos tradicionais LDRs (SEMICONDUCTOR, 2011).

Figura 11 – Sensor de luminosidade - BH1750.



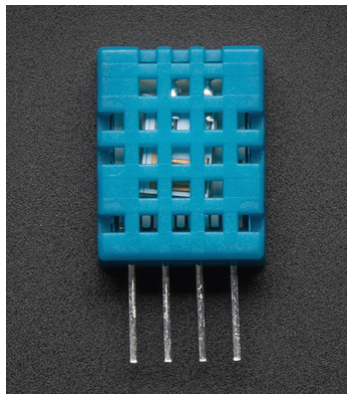
Fonte: Autoria própria (2024).

2.3.5 Sensor de umidade do ar

A umidade do ar influencia significativamente a taxa de transpiração das plantas e a eficiência da absorção de nutrientes. Um nível adequado de umidade ajuda a manter um bom equilíbrio hídrico, evitando tanto a desidratação quanto a excessiva umidade das plantas.

O sensor DHT11, como mostrado na Figura 12, é um dispositivo eficaz, usado principalmente para medir umidade relativa do ar e temperatura. Uma característica de destaque do DHT11 é sua interface de comunicação serial de um único fio, que facilita significativamente a integração com diversos sistemas. Além disso, o sensor é compacto, o que o torna ideal para aplicações com limitações de espaço, e consome pouca energia, expandindo sua aplicabilidade (ELETRONICS, 2010).

Figura 12 – Sensor de umidade do ar - DHT11.



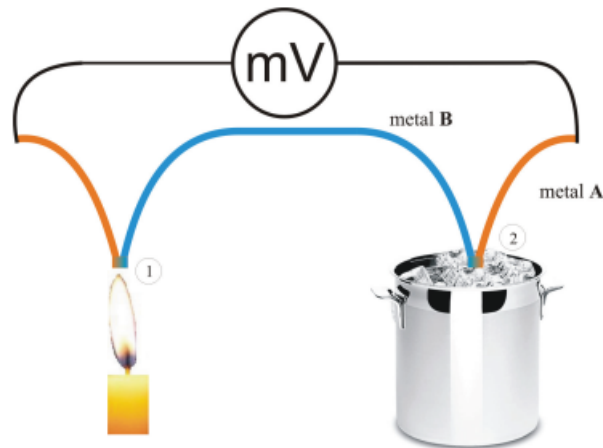
Fonte: Autoria própria (2024).

2.4 Efeito termoelétrico

O efeito termoelétrico se refere à interação entre a temperatura e as características elétricas dos materiais, representando a conversão direta de um diferencial de temperatura em eletricidade, ou vice-versa (HUANG *et al.*, 2010).

Os primeiros fenômenos associados à termoeletricidade foram identificados por Thomas Seebeck em 1821, esse efeito consiste na geração de uma diferença de potencial medida por um galvanômetro, ao expor dois metais diferentes, interligados, a um gradiente de temperatura, como representado na Figura 13. Seebeck demonstrou que a junção de dois metais distintos, sob a influência de Athanase Peltier fez a descoberta do chamado efeito Peltier. Este fenômeno contrasta com a observação de Seebeck um gradiente de temperatura, resulta no movimento de elétrons, originando assim uma corrente elétrica (GONÇALVES, 2008).

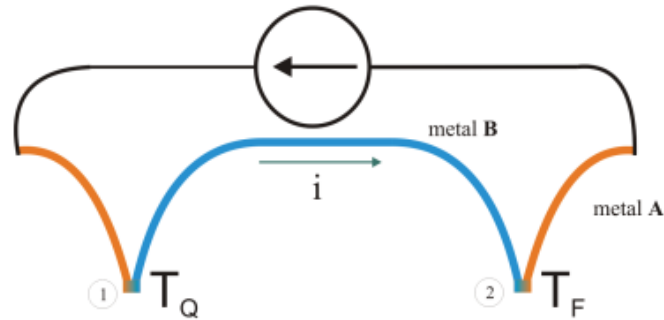
Figura 13 – Efeito Seebeck.



Fonte: (MOURA, 2010).

Em 1834, o físico francês Jean Charles Peltier, ao passar uma corrente pelas junções do material ocorre o aquecimento ou resfriamento delas, dependendo do sentido da corrente, isso resulta na criação de um gradiente de temperatura, manifestando-se como um processo exotérmico na extremidade quente e endotérmico na extremidade fria (FERNANDES, 2012), efeito esse que pode ser visto na Figura 14.

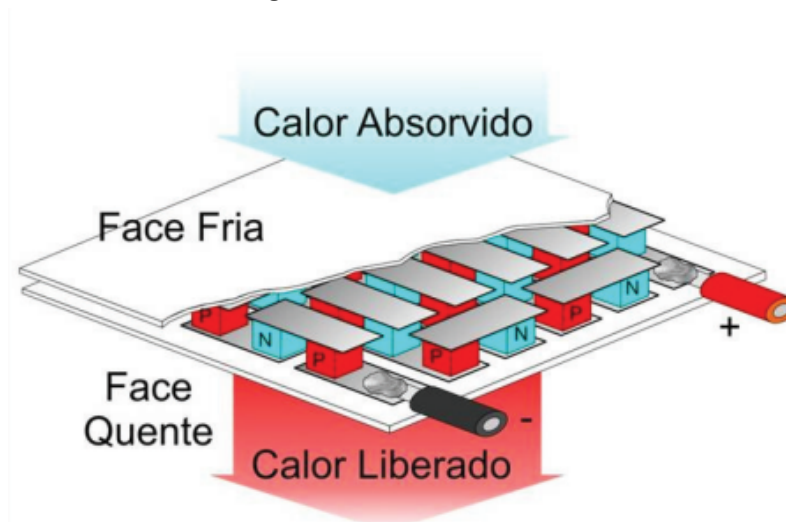
Figura 14 – Efeito Peltier.



Fonte: (MOURA, 2010).

O módulo de Peltier representa a abordagem mais prática para a aplicação do efeito Peltier, que consiste em um arranjo de pequenos blocos de telureto de bismuto (Bi_2Te_3) dopados como tipo N e tipo P, dispostos alternadamente e conectados eletricamente em série entre duas placas cerâmicas de boa condutividade térmica. Essa disposição faz com que todos os termoelementos conduzam calor na mesma direção estando termicamente em paralelo (FERNANDES, 2012), como se vê na Figura 15.

Figura 15 – Placa Peltier.



Fonte: (MOURA, 2010).

A pastilha de Peltier apresenta diversas vantagens, incluindo a inexistência de peças mecânicas móveis para o processo de refrigeração, o que contribui para a durabilidade do sistema e minimiza a necessidade de manutenção. Além disso, sua permanência em estado sólido assegura alta confiabilidade e níveis reduzidos de ruído. A capacidade de aquecer ou resfriar depende exclusivamente da polaridade da alimentação, dispensando o uso de gases refrigerantes. Essas características tornam a pastilha de Peltier adequada para aplicações que demandam controle eletrônico preciso da temperatura, como os lasers de diodo utilizados em

telecomunicações. Vale destacar que ela opera em qualquer orientação, independentemente da presença ou ausência de gravidade (MOURA, 2010).

2.5 Aplicação Web

O crescimento das aplicações *Web*, abrangendo tanto sua amplitude quanto o alcance de sua utilização, impactou diversos aspectos da humanidade gerando preocupações adicionais que impulsionaram pesquisas no campo da engenharia de aplicações *Web*, buscando aplicar princípios de engenharia para criar aplicativos de alta qualidade (LOUDON, 2018).

Observa-se que esses programas *Web* são comumente desenvolvidos em ambientes de trabalho multidisciplinares, onde muitos estudos concentram-se exclusivamente no desenvolvimento de software, enquanto outros destacam o design, com ênfase em estética e mídia, ou ainda abordam a produção de conteúdo informativo, arquitetura da informação e redação de texto (GONÇALVES *et al.*, 2005).

Assim como na engenharia de software tradicional, o objetivo principal é criar uma aplicação precisa e abrangente, atendendo aos requisitos do usuário. A distinção reside no fato de que esse desenvolvimento ocorre dentro do âmbito de um projeto que leva em consideração a infraestrutura da rede para sua implementação e disponibilização (LOUDON, 2018).

Um servidor *Web* local oferece segurança, desempenho rápido, independência da conectividade externa e potencial redução de custos, tornando-se uma solução valiosa para projetos residenciais. O servidor é um programa que está constantemente em espera, aguardando por pedidos do cliente e quando uma solicitação é recebida, o servidor a analisa e, se for considerada válida, envia de volta ao cliente o item pedido que pode estar armazenado no sistema de arquivos do servidor ou ser criado no momento por um programa ou *script* (TEIXEIRA *et al.*, 2004).

2.5.1 HTML + CSS

HTML e CSS representam as tecnologias mais utilizadas na criação de páginas *Web*. Enquanto o HTML estabelece a estrutura básica das páginas para diversos dispositivos, o CSS é responsável pela disposição e pelo design visual e sonoro, sendo que, em conjunto com imagens e codificação, formam os pilares fundamentais no desenvolvimento de páginas e aplicativos da internet (SHARMA, 2021).

Com o HTML, é possível elaborar documentos online contendo cabeçalhos, textos, tabelas, listas, imagens, entre outros elementos e com um simples clique, é possível acessar informações online por meio de links de hipertexto (SHARMA, 2021). Em contra-partida, CSS é uma linguagem utilizada para determinar a aparência das páginas da *Web*, abrangendo aspectos como cores, disposição e tipos de letras permitindo que a apresentação seja adaptada

para diferentes tipos de dispositivos, como telas grandes, pequenas ou impressoras (SHARMA, 2021).

No desenvolvimento de sites, é fundamental saber sobre o design da página, a formatação, as estratégias para organizar o *layout*, além do uso de gráficos, multimídia, imagens e como trabalhar com páginas múltiplas (SIR; MAM; SHEKHER, 2022). Um dos grandes desafios no desenvolvimento *Web* é a integração de diferentes linguagens de programação. Além do HTML e o CSS, também há o *JavaScript*, responsável pela interatividade, como, por exemplo, as ações que ocorrem ao clicar em um botão (OZELIN, 2023).

O design responsivo é essencial em uma página web devido à diversidade de dispositivos utilizados para acessar a internet, como *smartphones*, *tablets*, *laptops* e *desktops*, cada um com tamanhos de tela e resoluções diferentes. A responsividade garante que o site se adapte automaticamente para oferecer a melhor experiência de visualização em qualquer dispositivo, melhorando a usabilidade e acessibilidade para uma ampla gama de usuários. O elemento central de um design *Web* responsivo é o layout flexível que evita o uso de medidas fixas, como *pixels* (ou pontos, centímetros, milímetros etc.), na programação do design (LOPES, 2013).

2.5.2 *Web server* assíncrono

Um servidor *Web* assíncrono é uma categoria de servidor projetada para tratar solicitações de maneira eficiente e escalável, permitindo que múltiplas solicitações HTTP de clientes sejam processadas de forma simultânea sem interferências mútuas. Utiliza um único processo de trabalho para receber e gerenciar as solicitações HTTP de todos os clientes, empregando *loops* de eventos orientados que facilitam a execução sem causar bloqueios típicos de servidores convencionais (MDNWEBDOCS, 2023).

Em um servidor *Web*, a concorrência pode ser alcançada através do uso de mecanismos tanto síncronos quanto assíncronos, que são fornecidos pelo sistema operacional. Os mecanismos assíncronos, em particular, são vantajosos em comparação com os síncronos, pois oferecem os benefícios da concorrência, reduzindo simultaneamente a sobrecarga e a complexidade associadas ao uso de múltiplas threads possibilitando criar um servidor *Web* eficiente e de alto desempenho (PRAPHAMONTRIPONG *et al.*, 2006).

É fundamental estabelecer e desenvolver uma interface específica que possa processar requisitos provenientes de páginas da *Web* utilizando *JavaScript* durante a fase de criação do servidor. É preciso considerar que o servidor possa atender a diversos tipos de demandas e tenha a capacidade de gerenciar múltiplos requisitos simultaneamente introduzindo um conjunto de elementos conhecidos como *listeners*, os quais têm a habilidade de processar eventos gerados no contexto de páginas HTML com o auxílio de *JavaScript* (MALY; SLABY, 2010).

Ter um programa multiplataforma que utiliza um servidor *Web* assíncrono e não necessita de atualizações constantes da página é essencial para proporcionar uma experiência de usuário mais fluida e consistente em diferentes dispositivos e sistemas operacionais. Essa

abordagem melhora a usabilidade, a acessibilidade e a satisfação do usuário, enquanto otimiza o desempenho da aplicação. Para avaliar, inspecionar ou fazer escolhas sobre as condições ambientais, é preciso ter um sistema de monitoramento que funcione em tempo real (ALLAFI IBRAHIM; IQBAL, 2017).

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será descrito o desenvolvimento do protótipo, descrevendo como foi realizada a ligação entre os componentes utilizados, como o ambiente do software foi configurado, como os sensores foram utilizados e finalmente como foi realizada a aquisição dos dados.

3.1 Especificações do projeto

Para definir o escopo do projeto foram criados requisitos funcionais e não funcionais. Estes requisitos detalham a estrutura do projeto, implementação e interface.

3.1.1 Requisitos funcionais

RF1: O sistema deve ser desenvolvido para o microcontrolador ESP32.

RF2: O sistema deve possuir um mínimo de quatro sensores.

RF3: O sistema deve possuir uma interface para o usuário.

RF4: O sistema deve ter um sistema para controle de temperatura.

RF5: O sistema deve funcionar via página *Web* para acesso em qualquer dispositivo.

RF5:1. A interface precisa mostrar os dados dos sensores em tempo real.

RF5:2. A interface precisa mostrar métricas do estado dos sensores.

RF5:3. A interface deve ter comunicação sem fio.

3.1.2 Requisitos não funcionais

RF1: O protótipo deve seguir o projeto de modelagem 3D.

RF2: O hardware mais sensíveis devem ter uma proteção contra água.

RF3: O sistema deve medir a temperatura em graus Celsius.

RF4: A interface deve ser desenvolvida em HTML e CSS.

RF5: O sistema deve possuir uma interface limpa e intuitiva.

RF6: A solução nutritiva deve atender as necessidades da hortalça.

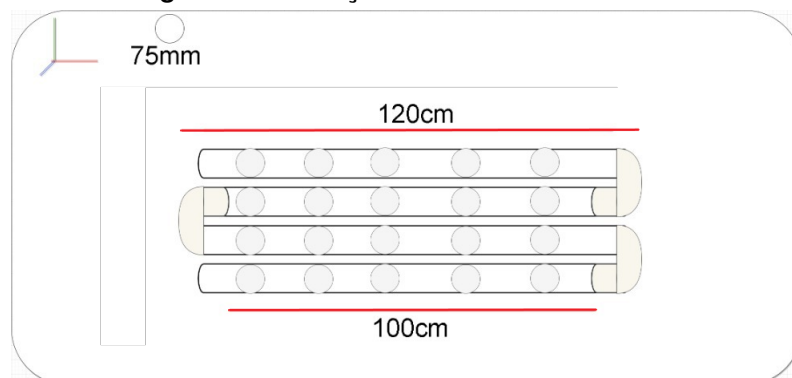
3.2 Protótipo

Nesta seção, serão apresentados em detalhes o protótipo do projeto, começando com o esboço inicial da ideia e progredindo para a modelagem 3D do sistema. Serão detalhadas a construção da estrutura física, além da montagem e integração do hardware e software, proporcionando uma visão clara e abrangente de cada etapa do desenvolvimento do projeto. Será concluído com uma explicação detalhada do funcionamento do protótipo, abrangendo todos os seus componentes.

3.2.1 Esboço da estrutura

A estrutura do protótipo do sistema hidropônico foi baseada utilizando o método NFT onde foi utilizado tubos de PVC de 75mm para as calhas com a abertura de orifícios de 75mm de diâmetro para a inserção das plantas. As hortaliças ficaram distribuídas entre quatro seções dos tubos de PVC com cinco orifícios por segmento, que foi idealizado e teve seu esboço elaborado, conforme se observa na Figura 16.

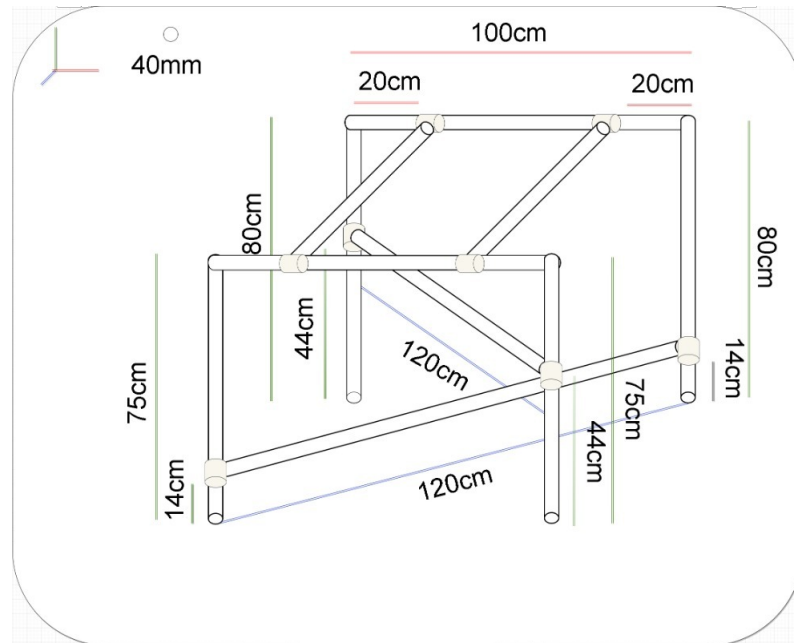
Figura 16 – Esboço das calhas do sistema.



Fonte: Autoria própria (2024).

Para o suporte do sistema e a criação do declive para o funcionamento adequado, foi desenvolvida uma base de apoio utilizando conexões e tubos de PVC de 40mm, conforme demonstrado na Figura 17.

Figura 17 – Esboço da base estrutural do sistema.

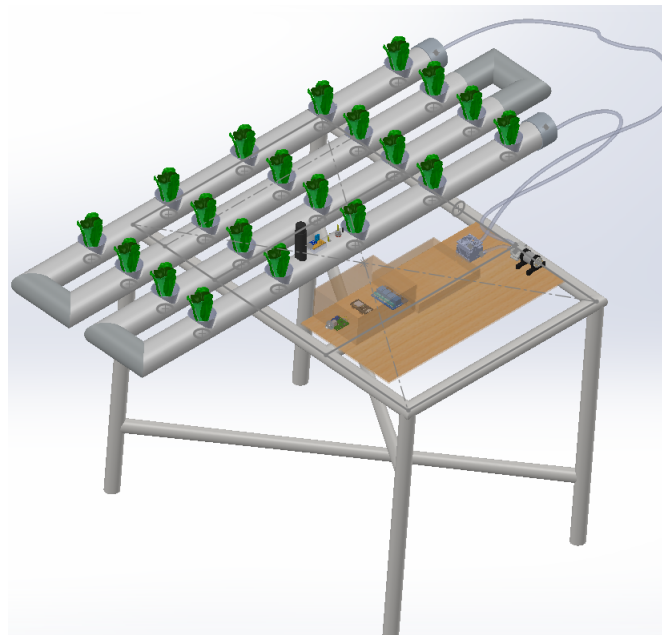


Fonte: Autoria própria (2024).

3.2.2 Modelagem 3D

A modelagem 3D do sistema hidropônico é importante para proporcionar uma visualização facilitada do produto, como se pode observar na Figura 18, auxiliando nas decisões de projeto e possibilitando modificações conforme necessidade.

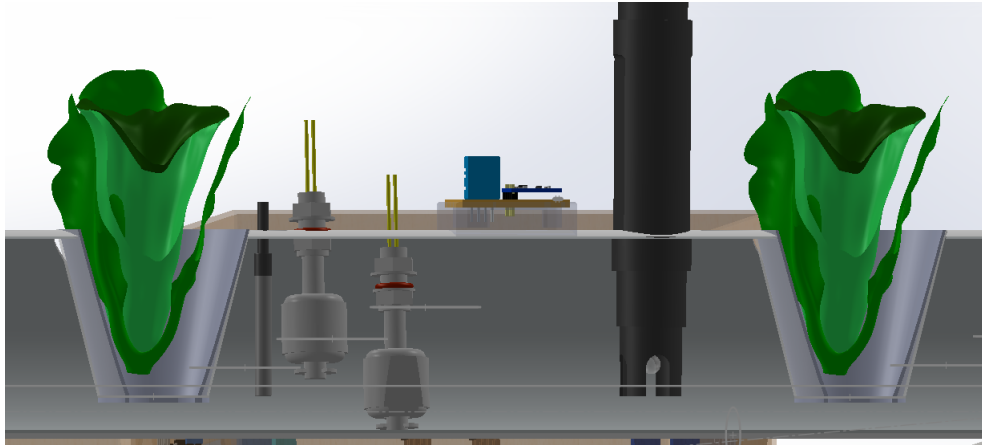
Figura 18 – Modelagem do sistema.



Fonte: Autoria própria (2024).

A modelagem 3D possibilita uma prototipagem rápida, realista, precisa e ajustável, além disso, ela ajuda a prevenir erros de acoplamento e posicionamento dos segmentos do projeto, pois oferece uma melhor compreensão e visualização do sistema como um todo, como se evidencia através da Figura 19, onde pode-se observar e compreender de maneira explícita onde alguns dos sensores, de mais difícil visualização, estão posicionados através da utilização de uma vista de corte.

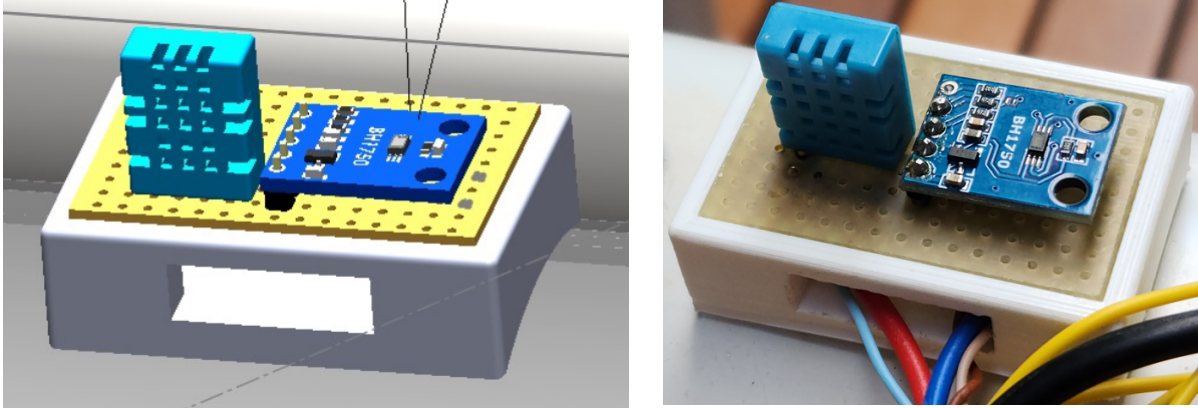
Figura 19 – Vista em corte do sistema.



Fonte: Autoria própria (2024).

Houve desafios ao posicionar os sensores de umidade e luminosidade na estrutura cilíndrica das calhas do sistema hidropônico, características do método NFT, sendo que estes sensores são importantes para o funcionamento adequado do projeto e devem estar próximos dos alvos da medição para assegurar a consistência dos dados coletados. A tecnologia de manufatura aditiva foi utilizada para superar essas dificuldades, utilizando-se do material PLA em impressoras 3D para a confecção da solução encontrada, que foi a criação de um suporte para acomodar uma placa de fenolite perfurada com os sensores de umidade e luminosidade, como ilustrado nas Figuras 20 (a) e (b). O design deste suporte auxiliou na elevação tanto da funcionalidade quanto da estética do produto, otimizando e simplificando a implementação e o acesso, além de aprimorar a apresentação dos sensores.

Figura 20 – Suporte dos sensores: (a) Suporte modelado, (b) Suporte real.
(a) Suporte modelado **(b) Suporte real**



Fonte: Autoria própria (2024).

3.2.3 Confeção

A modelagem 3D antes da fabricação permitiu avaliar e ajustar o design do produto, evitando erros e reduzindo custos na produção, sendo uma ferramenta eficaz para aprimorar o produto e economizar materiais. Para a confecção das calhas do sistema, conforme Figura 21, foi implementado canos de PVC de 75mm, agrupados e interligados com pares de conectores do tipo joelho de 90°. Além disso, no fim de curso dos canos foram utilizados conectores do tipo luva de PVC.

Figura 21 – Calhas do sistema.



Fonte: Autoria própria (2024).

A base foi projetada para suportar a estrutura principal do projeto, como mostrado na Figura 22, e desenvolvida mantendo os canos de PVC de 40mm onde foram adotados como alicerces. Foi utilizado também conectores do tipo joelho de 90° para interligar as extremidades dos canos sustentando as calhas. Por fim, escolheu-se conectores do tipo T para conectar os canos perpendiculares que atuam principalmente estabilizando o sistema.

Figura 22 – Base estrutural do sistema.



Fonte: Autoria própria (2024).

Foi utilizado um furadeira com serra-copo para fazer os orifícios das calhas com 75mm de diâmetro, conforme Figura 23. Fixou-se uma placa e duas caixas de MDF para suporte e proteção dos componentes eletrônicos do sistema, assim como para a fixação da alimentação, que teve sua fiação instalada por entre os canos do sistema. O sistema estrutural como um todo está mostrado na Figura 24.

Figura 23 – Orifícios das calhas do sistema.



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 24 – Estrutura finalizada do sistema.



Fonte: Aatoria própria (2024).

O sistema e sua base foram construídos utilizando canos de PVC, um material que pode se degradar e enfraquecer ao longo do tempo devido à exposição aos raios ultravioleta. Para prevenir essa potencial degradação, uma camada de tinta acrílica branca foi aplicada, oferecendo uma solução eficaz para mitigar o problema e prolongar a durabilidade dos componentes.

3.2.4 Hardware

Nesta seção, são detalhados os componentes que constituem o hardware do projeto. Inicialmente, descreve-se a implementação de cada componente, elucidando sua função específica no sistema, incluindo a exploração das capacidades do sistema termoeletrônico, que possui a função de resfriar e aquecer, visando o controle da temperatura da solução aquosa. Posteriormente, examina-se a integração e a inter-relação entre os componentes, evidenciando a lógica operacional do sistema.

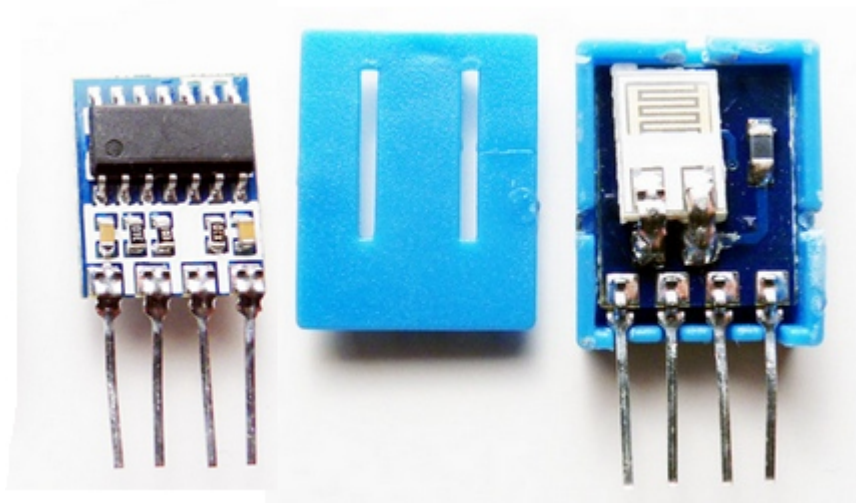
3.2.4.1 DHT11 - sensor de umidade de ar

O sensor DHT11 é uma opção econômica para medir temperatura e umidade do ar. Ele utiliza um termistor NTC para medir a temperatura, onde a resistência do termistor varia proporcionalmente à temperatura ambiente, já para medir a umidade, o DHT11 utiliza dois eletrodos separados por um substrato dielétrico poroso, atuando como um capacitor (ELETRO-NICS, 2010). Um microcontrolador de 8 bits é responsável por coletar e processar esses dados,

transmitindo-os através de um pino de dados específico, implementando um resistor de $1K\Omega$ entre a fonte de alimentação e o pino de dados para ser utilizado como um típico resistor *pull-up*. Os componentes internos do sensor são ilustrados na figura 25.

Na implementação prática deste projeto, decidiu-se utilizar exclusivamente a funcionalidade de medição de umidade do sensor DHT11. Isso se deve ao fato de que o monitoramento da temperatura será realizado por um sensor distinto e com o foco de medição na solução nutricional, quanto à umidade, os dados são coletados pelo microcontrolador ESP32, que, por sua vez, transmite essas informações ao usuário por meio de uma aplicação hospedada em um servidor Web local.

Figura 25 – Circuito do DHT11.



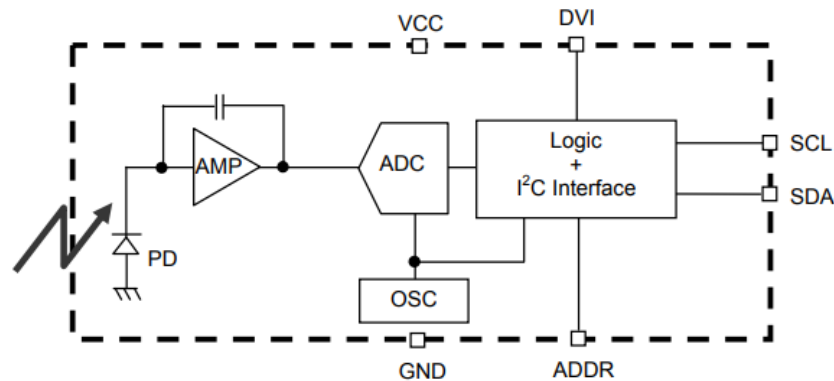
Fonte: (CITYTECH, 2017).

3.2.4.2 BH1750 - sensor de luminosidade

O sensor BH1750 é um sensor implementado para mensurar a intensidade luminosa incidente sobre o sistema hidropônico. Sua operação é fundamentada em um fotodiodo, que tem a capacidade de transformar a luz ambiente em corrente elétrica. A Figura 26 ilustra o diagrama de blocos do circuito, que é composto por um fotodiodo, responsável por gerar corrente elétrica proporcional à intensidade da luz incidente, um circuito integrador que converte essa corrente em tensão e um conversor analógico-digital de 16 bits, encarregado de processar e interpretar os sinais do fotodiodo e facilitar a comunicação dos dados com outros dispositivos.

Para a troca de informações, o sensor tipicamente recorre à interface de comunicação I2C, um protocolo serial bidirecional eficiente para o envio e recebimento de dados entre dispositivos eletrônicos, sendo que para o correto funcionamento deste se tem sua saída consistindo em dois pinos: um no SCL (*Serial Clock*) e outro no SDA (*Serial Data*), que são utilizados para a implementação do protocolo I2C (ELETRONICS, 2010). Estes dados são recebidos pelo microcontrolador ESP32 e informados ao usuário via interface Web para monitoramento.

Figura 26 – Diagrama do BH1750.

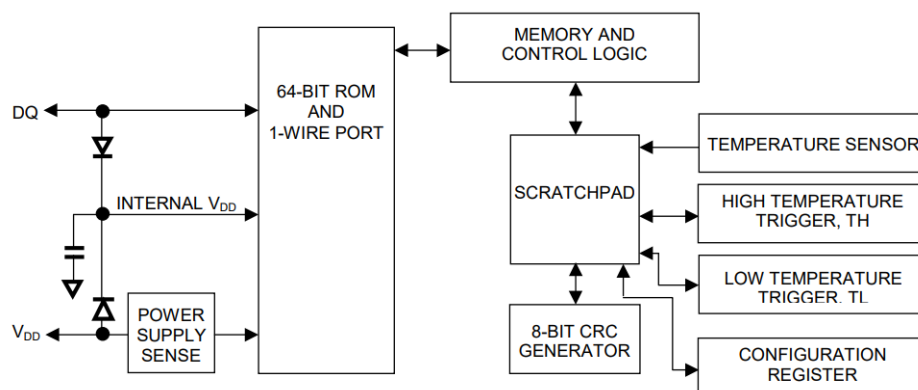


Fonte: (SEMICONDUCTOR, 2011).

3.2.4.3 DS18B20 - sensor de temperatura

O sensor DS18B20 é empregado na medição de temperatura, caracterizando-se por sua saída digital programável. Este sensor está disponível em vários tipos de encapsulamentos, porém, em virtude das especificidades do projeto, a escolha recaiu sobre o modelo sonda, notável por sua resistência a líquidos. No funcionamento do sensor, conforme ilustrado pelo diagrama de blocos na Figura 27, um sensor interno gera uma tensão proporcional à temperatura e, posteriormente, convertida e armazenada em memória local. Assim, ela oferece acesso aos registros de alarme de temperatura, bem como ao registro de configuração que permite ao usuário definir a resolução da conversão digital. Esses registros são posteriormente transferidos para a memória EEPROM, uma memória não-volátil (SEMICONDUCTOR, 2013).

Figura 27 – Diagrama do DS18B20.



Fonte: (SEMICONDUCTOR, 2013).

O sensor de temperatura DS18B20 opera por meio de um barramento utilizando o protocolo 1-Wire. Esse barramento serial possibilita a comunicação de dados em baixa velocidade e provê energia através de um único condutor. Utiliza um sinal do tipo *open-drain* em um único fio, demandando um resistor de *pull-up*. O método de alimentação desse barramento é conhecido como alimentação parasita, sendo derivada a tensão de nível alto por meio de diodos durante a

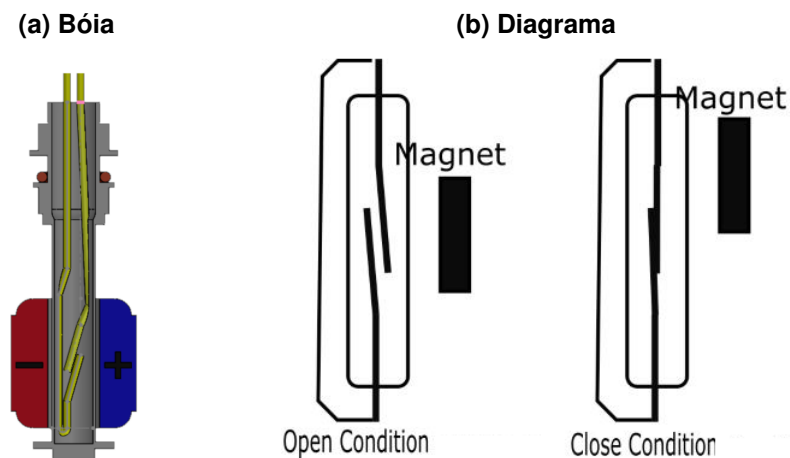
inatividade dos canais de alimentação ou comunicação de dados. Em nível baixo, um capacitor fornece a energia necessária, eliminando a necessidade de uma fonte de alimentação local e viabilizando a leitura da temperatura na ausência de alimentação da memória.

O papel do sensor de temperatura é realizar as leituras e transmiti-las ao usuário através do microcontrolador ESP32, sendo posteriormente disponibilizadas por meio de uma aplicação em um servidor Web. Além de fornecer dados essenciais, o sensor desempenha uma função fundamental ao servir como um mecanismo de ativação para o sistema de controle térmico. Esta ação é determinada com base nos valores obtidos em suas medições, garantindo assim uma resposta precisa e adaptativa às necessidades de temperatura do ambiente monitorado.

3.2.4.4 Sensor de nível da água

O sensor de nível adotado é composto por duas boias verticais equipadas com uma chave de acionamento magnético. A Figura 28 (a) ilustra a modelagem com uma vista de corte, enquanto a lógica de acionamento é representada na Figura 28 (b). Em (a), a parte móvel da boia, destacada pelas áreas azul e vermelha contém um ímã que opera por meio de um interruptor elétrico que é ativado quando um campo magnético é aplicado aos contatos do metal flexível. Inicialmente, esses contatos metálicos estão em estado aberto, no entanto, a aproximação de um campo magnético ou a movimentação do ímã próximo a um dos extremos metálicos do interruptor induz a atração entre as extremidades metálicas, estabelecendo assim um circuito que permite a passagem de corrente elétrica. À medida que o ímã é movido devido ao nível da solução, os contatos perdem sua magnetização e se separam novamente, interrompendo o circuito. Essa operação eficiente possibilita o monitoramento do nível de líquido, assegurando o controle apropriado no sistema.

Figura 28 – Sistema de acionamento magnético: (a) Bóia, (b) Diagrama.



Fonte: Autoria própria (2024).

de características técnicas assegura um desempenho eficiente e adequado para as necessidades de bombeamento do sistema hidropônico.

Figura 30 – Bomba de água - RS-385.



Fonte: (ELETROGATE, 2014).

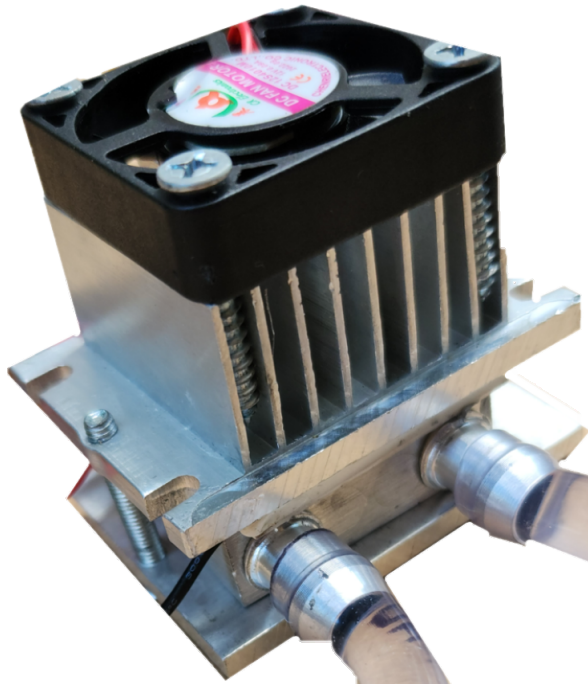
3.2.4.7 Sistema de controle térmico

O sistema de controle térmico assume um papel central no funcionamento do sistema. Portanto, serão detalhadas as características e escolhas de projeto que abrangem seu funcionamento e detalhes funcionais. O sistema de controle térmico, encarregado de manter a temperatura da solução nutritiva dentro dos parâmetros desejados, faz uso das estruturas apresentadas na Figura 31. Estas serão mencionadas em ordem, indo do topo para a base:

- Um cooler de 12V;
- Um dissipador de alumínio com uma base plana em sua parte inferior;
- Uma placa de Peltier com pasta térmica em ambos os lados, para se maximizar a transferência térmica;
- Um *water block* de alumínio;
- Uma placa de alumínio com a função de fixação estrutural.

No contexto do projeto a utilização de um sistema de controle térmico com pastilha de Peltier, a eficiência da troca de calor é fundamental para o funcionamento geral do sistema. A alimentação elétrica da pastilha, que induz o efeito termoelétrico conhecido como efeito Peltier, determina qual face experimentará aquecimento ou resfriamento com base na polaridade da alimentação, mudando a temperatura do líquido pelo contato com o *water block*, que é um bloco oco por onde circula a solução e tem por função auxiliar na troca térmica com o sistema de peltier. Independentemente da posição em relação à face, seja a reação endotérmica ou exotérmica, o *water block* desempenha um papel vital na troca térmica entre a solução nutritiva e a pastilha Peltier, exercendo o controle da temperatura do sistema.

Figura 31 – Sistema de controle termoeletrico.



Fonte: Autoria própria (2024).

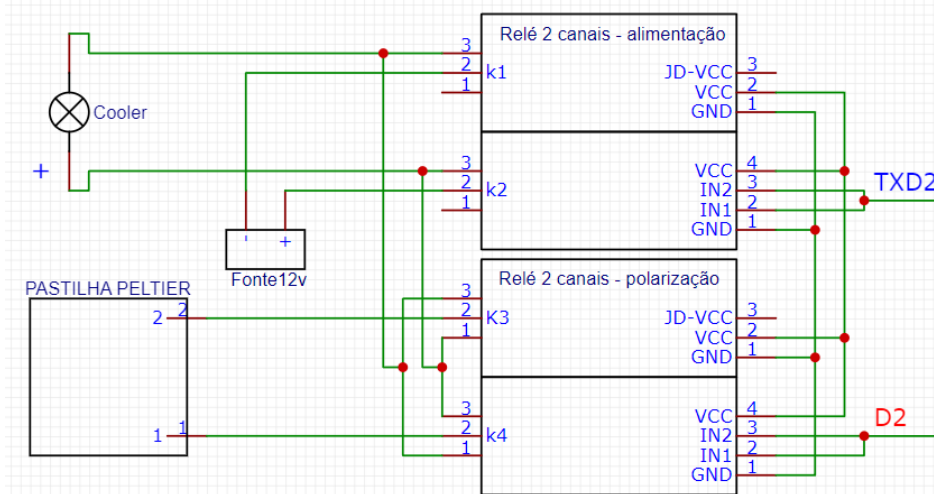
Para evitar a degradação da pastilha, foi incorporado ao projeto um dissipador com um *cooler* na outra face. Isso se justifica pela necessidade de uma dissipação térmica eficiente, uma vez que a ineficiência nesse processo pode resultar na redução do desempenho termoeletrico da pastilha. Em altas temperaturas, decorrentes da ausência de um dissipador eficaz, a pastilha tende a aumentar sua resistência interna, prejudicando sua capacidade de produzir o efeito termoeletrico de Peltier. Além disso, as temperaturas elevadas podem causar danos irreversíveis aos materiais semicondutores presentes na pastilha, acelerando sua degradação e comprometendo sua funcionalidade. Isso não apenas impacta a eficiência da pastilha, mas também reduz sua vida útil.

No controle da alimentação e polarização da pastilha, o microcontrolador inicia a alimentação do sistema Peltier com base nos valores de resposta fornecidos pelo sensor de temperatura. Se a temperatura ultrapassar um limite superior, o sistema entra no modo de refrigeração. Da mesma forma, se a temperatura estiver abaixo do limite inferior, o sistema é acionado para aquecimento. Assim, o mesmo componente corrige a demanda do sistema de acordo com a necessidade.

Para viabilizar esse processo, relés foram empregados, conforme demonstrado na Figura 32. A implementação inclui a ativação do *cooler* ao ligar o sistema, independentemente da polarização para a alimentação da pastilha. É importante observar que o *cooler* possui uma polarização específica para seu correto funcionamento, a qual é mantida constante, independentemente da polarização da Peltier.

Por escolha de projeto, foi decidido realizar a polarização do sistema antes de alimentá-lo, prevenindo assim uma possível alimentação incorreta da pastilha ou a ocorrência de curto-circuito. Outra decisão de projeto foi voltada para a proteção contra falhas nos relés de alimentação, especificamente em relação à conexão dos fios da alimentação e aterramento do circuito do sistema termoeletrico aos relés em que o circuito permanece aberto em seu estado normal. Geralmente, interrompe-se apenas o fio da alimentação, deixando a fiação do aterramento inalterado, no entanto, ao interromper ambos os fios, há uma redução significativa do risco de acionamento indevido do sistema por falha dos relés, evitando danos às hortaliças, à solução nutritiva e à pastilha Peltier.

Figura 32 – Diagrama de alimentação e polarização do sistema termoeletrico.



Fonte: Autoria própria (2024).

Na Figura 32, visualizam-se dois módulos de relés de 2 canais. No lado esquerdo desses módulos, está a seção alimentada pela fonte de 12V, enquanto, no lado oposto, encontra-se a porção controlada pelo microcontrolador. Nos módulos, os canais VCC, encarregados da alimentação, foram interconectados e ligados à saída de alimentação da ESP32, assim como o aterramento (GND), que foi conectado da mesma maneira. Em relação às portas IN1 e IN2, elas correspondem ao acionamento dos módulos K1 e K2 no módulo de alimentação e K3 e K4 no módulo responsável pela polarização. O acionamento desses módulos foi executado utilizando uma porta por módulo, ativando simultaneamente ambos os relés de cada módulo sendo o relé de alimentação controlado pela porta TXD2 e o de polarização pela D2.

No lado esquerdo, os pinos 2 e 1 são configurados como normalmente fechados, o que implica que, com a ativação dos relés, o pino 2 estabelece conexão com o pino 1. Conseqüentemente, ao observarmos o lado esquerdo do relé de alimentação, verificamos que, em estado de repouso, ele permanece desativado; no entanto, uma vez acionado, o mesmo fornece energia ao cooler e ao módulo de polarização. A ativação do módulo de polarização resulta na inversão dos polos do Peltier. Analogamente, ao acionar o relé de alimentação, este provê energia tanto ao cooler quanto aos pinos do módulo de polarização.

3.2.5 Software

Neste tópico, será discutido o software desenvolvido para o projeto, focando na interface disponibilizada ao usuário e na implementação do programa. Além disso, será detalhado o processo de estabelecimento do servidor local que suporta a aplicação.

3.2.5.1 Interface

Para o desenvolvimento da interface de software, foram analisados alguns fatores importantes em relação ao design e funcionalidade da interface do projeto, entre elas:

- Cores que remetam natureza e sustentabilidade;
- Fontes que transmitam um ambiente mais informal;
- Interface amigável e multiplataforma;
- Utilização de um *Web server* local e assíncrono;
- Dados em tempo real;
- Métrica para o estado atual dos sensores;

No design de interfaces *Web*, a seleção cuidadosa de cores e tipografias é de suma importância pois esses elementos têm um impacto significativo sobre as emoções e comportamentos dos usuários, além de contribuir para a usabilidade e a construção da identidade visual. Tais escolhas podem enriquecer a experiência do usuário com o site. Optou-se por um tom de verde claro (#f3f7f0) e pela tipografia *Acme*, conforme Figura 33, criando uma interface visualmente agradável e convidativa para o usuário.

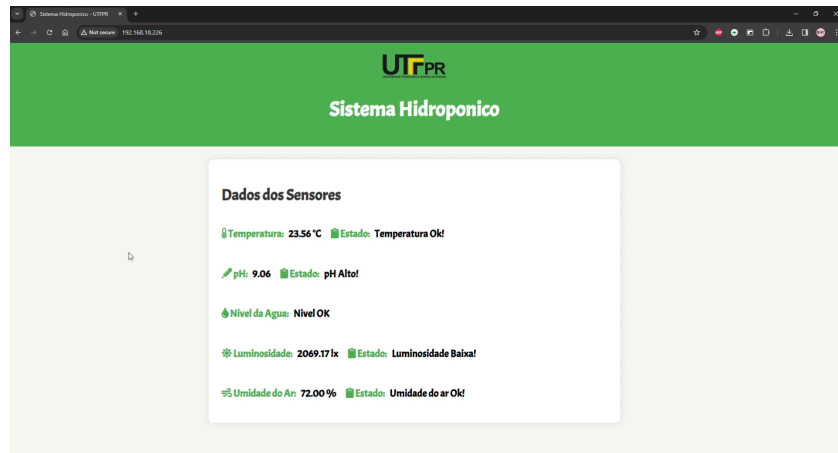
Na era digital contemporânea, a importância de interfaces multiplataforma é incontestável, refletindo a diversidade de dispositivos e sistemas operacionais presentes no cotidiano das pessoas. Na Figura 34 é possível visualizar dois cenários para se conectar a interface *Web*, no cenário (a) *smartphone*, (b) *laptop*. Para que seja possível essa compatibilidade, foi implementado um método em HTML para esse dimensionamento, além disso, para manter as proporções em diferentes tamanhos de tela foi preciso substituir medidas fixas por variáveis.

Figura 34 – Interface Web multiplataforma: (a) Smartphone, (b) Laptop.

(a) Smartphone



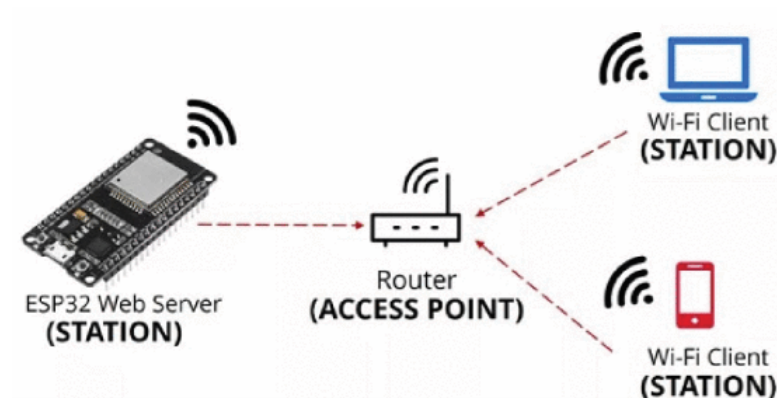
(b) Laptop



Fonte: Autoria própria (2024).

Por escolha de projeto, foi decidido utilizar um *Web server* local para a apresentação da interface, representado na Figura 35, pois por ser um produto idealmente residencial, não se faz necessário uma hospedagem do site na internet. A segurança da rede local também é relevante, pois abrange a proteção contra ameaças cibernéticas (*malware*, *ransomware* e *phishing*), garantindo que apenas usuários locais tenham total acesso, mantendo a integridade dos dados e assegurando a disponibilidade da página *Web*.

Figura 35 – Servidor *Web* local.



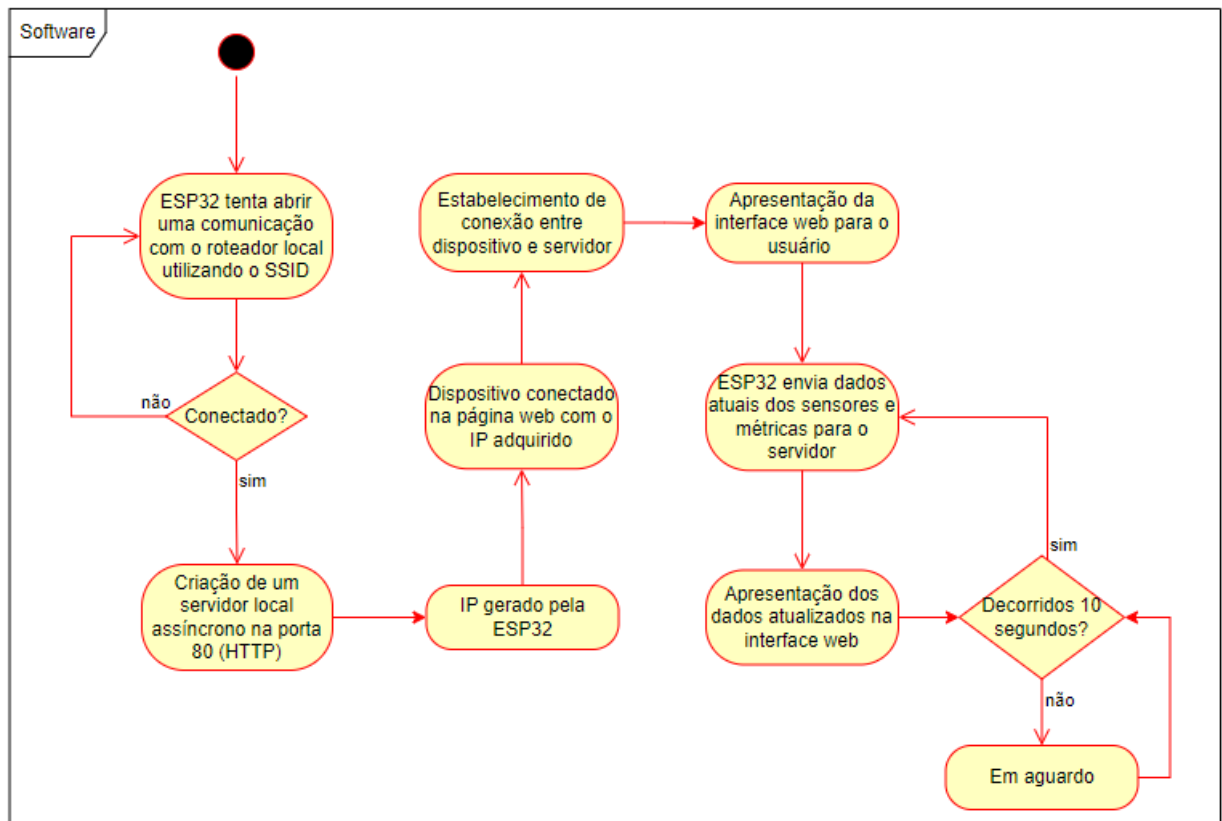
Fonte: (MACHESO *et al.*, 2021).

Para atender a demanda do projeto, utilizou-se um servidor *Web* local assíncrono para melhorar a responsividade e eficiência da aplicação, permitindo o manejo simultâneo de múltiplas solicitações sem bloqueios e otimizando a experiência do usuário. Além disso, a assincronicidade contribui para a escalabilidade da aplicação, permitindo atender a um volume maior de solicitações de forma eficiente. Assim, torna-se possível acompanhar a atualização dos dados em tempo real, sem a necessidade de recarregar a página, além de permitir múltiplas conexões de diversos equipamentos ao servidor simultaneamente.

3.2.5.2 Implementação

A configuração do servidor Web em conjunto com a interface, ilustrada na Figura 36, foi cuidadosamente elaborada para cumprir os objetivos do projeto, focando na qualidade da informação fornecida e na otimização da experiência do usuário. A aplicação foi desenvolvida para garantir um monitoramento contínuo e fluído do projeto, eliminando a necessidade do usuário reiniciar uma sessão no servidor para acessar a interface atualizada.

Figura 36 – Fluxograma do software.



Fonte: Autoria própria (2024).

Ao ser energizado e obtido acesso ao código-fonte armazenado em sua memória não volátil, o microcontrolador ESP32 inicia o processo de comunicação com o roteador residencial, utilizando o SSID da rede local para validar o acesso. Nesta etapa, emprega-se o protocolo HTTP, essencial para a transferência de dados na rede e estabelecendo os fundamentos para a comunicação entre cliente e servidor. O *software* executa múltiplas tentativas de conexão sem fio com o roteador, visando configurar o servidor local assíncrono através da porta 80, que é padrão para o tráfego de rede.

Após estabelecer a sessão entre o servidor *Web* local e a ESP32, um endereço IP específico ao microcontrolador é atribuído, permitindo o acesso à página *Web* através de um navegador utilizando esse IP. Quando um dispositivo, seja *smartphone* ou *laptop*, acessa o endereço, uma conexão é criada entre o dispositivo e o servidor, apresentando uma interface

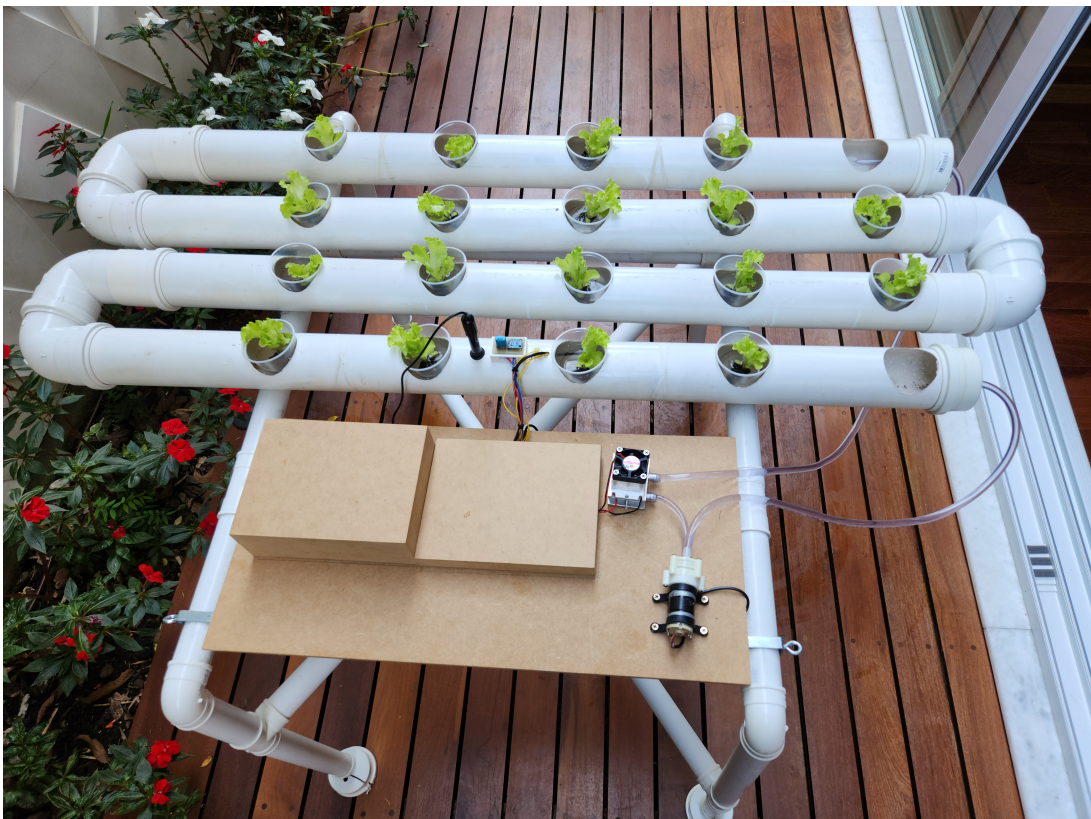
Web pré-configurada. Devido à natureza assíncrona do servidor, múltiplos dispositivos podem navegar na página *Web* simultaneamente, sem interrupções ou diminuição na qualidade do serviço.

O microcontrolador adquire os dados oriundos dos sensores, refinando-os antes de transmiti-los ao servidor, acompanhados das métricas definidas antecipadamente. Essas informações são exibidas em uma interface clara e informativa para o usuário final. Através da utilização da linguagem *JavaScript*, implementou-se um *script* HTML que automatiza a atualização da página a cada 10 segundos, eliminando a necessidade de comandos manuais por parte do usuário para a renovação dos dados, otimizando a experiência de uso e assegurando a apresentação contínua de informações atualizadas.

3.2.6 Funcionamento do protótipo

Após a conclusão da montagem física e da integração entre hardware e software, o projeto está pronto para entrar em funcionamento. A Figura 37 mostra o sistema em sua totalidade, operando plenamente. Para otimizar o desempenho do sistema hidropônico, algumas adaptações e recursos foram implementados, que serão detalhadas a seguir.

Figura 37 – Sistema hidropônico em funcionamento.



Fonte: A autoria própria (2024).

Em uma decisão estratégica de design, optou-se por remover o reservatório e conectar diretamente o dreno do sistema à bomba de água, permitindo a recirculação da solução nutritiva de volta ao sistema. Essa abordagem permite reduzir o volume necessário de solução nutritiva e diminuir a quantidade de líquido utilizada para refrigeração ou aquecimento, resultando em uma otimização geral do sistema.

A formulação da solução nutritiva foi realizada adicionando-se produtos comerciais ao fluído do sistema. O primeiro produto, enriquece o sistema com nutrientes em proporções ideais para estimular o crescimento vegetal. O segundo atua como uma solução base, fornecendo os micronutrientes essenciais para o desenvolvimento saudável das plantas (INDOOR, 2015). A dosagem de ambos os fertilizantes foi ajustada para 1,5mL por litro de água (REMO, 2015). Considerando que o sistema é projetado para operar com um volume ótimo de 10 litros de solução, adicionou-se 15mL de cada substrato para alcançar a concentração desejada.

Para assegurar que a solução nutritiva permaneça no nível de pH ideal, foram empregados reguladores de pH. Para elevar o pH, adiciona-se uma solução de hidróxido de potássio a 24,5%, e, caso seja necessário reduzir o nível de pH, utiliza-se uma solução de ácido fosfórico, também a 24,5%. Essas medidas garantem que a solução mantenha as condições ideais para o desenvolvimento das hortaliças.

Para essas hortaliças, foi empregado suportes feitos de copos plásticos descartáveis de 180mL como meio de sustentação. Todos os copos foram perfurados para permitir a circulação eficiente da solução nutritiva entre as raízes, promovendo assim uma melhor absorção de nutrientes pelas plantas.

A circulação eficiente da solução nutritiva é ideal para o desempenho otimizado do sistema hidropônico. A bomba de água transfere a solução para o sistema termoelétrico de aquecimento e resfriamento, que ajusta a temperatura do líquido conforme necessário, seja aumentando ou diminuindo a temperatura. Essa regulação térmica assegura que a solução retorne ao sistema em uma temperatura ideal para a nutrição das raízes das hortaliças, promovendo assim um ambiente propício ao desenvolvimento do cultivo.

4 TESTES E RESULTADOS

A execução de testes para a validação de um projeto destinado a tornar-se um produto é fundamental para garantir sua conformidade com os critérios de funcionalidade, desempenho e qualidade exigidos. Esta seção abordará em detalhes os testes realizados, apresentando os resultados alcançados e as possíveis inferências, com o objetivo de discutir a viabilidade do produto.

4.1 Premissas

Devido a natureza do projeto, foram arquitetados alguns testes a fim de verificar a eficácia do projeto mediante a alguns cenários. Para este lote, optou-se pelo cultivo de alface crespa, uma hortaliça que, assim como algumas outras, apresenta bons rendimentos em diversas estações do ano. Analisaram-se as condições ideais para o cultivo hidropônico desta verdura em que a planta se desenvolverá de forma sadia.

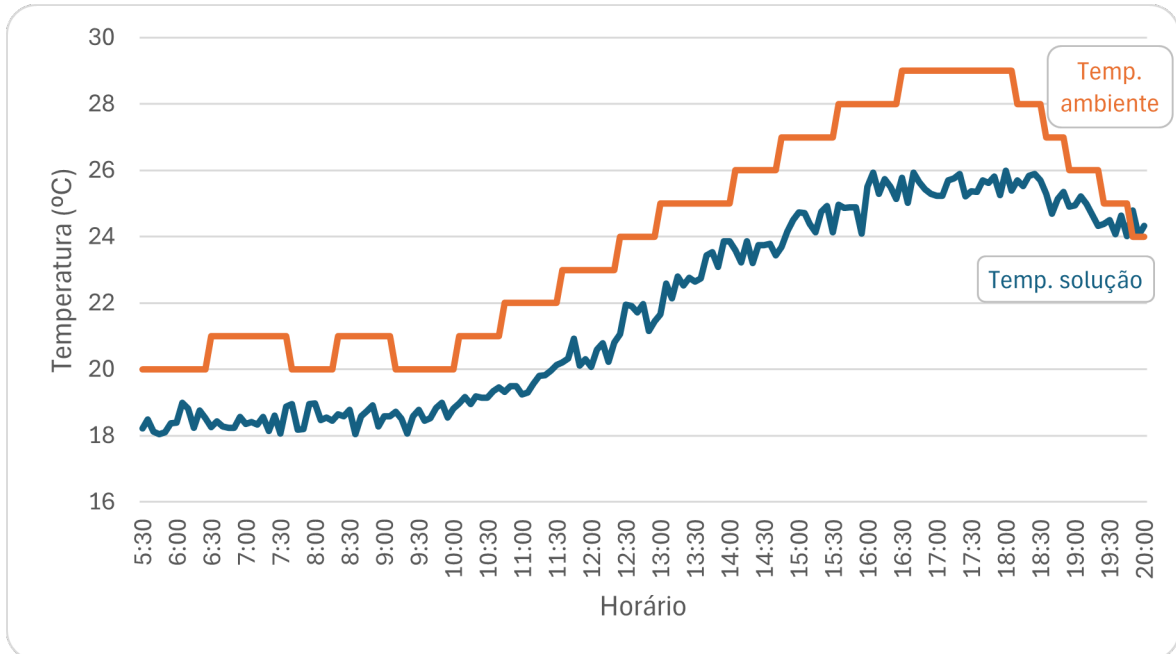
- O intervalo de temperatura ideal para o cultivo situa-se entre 15°C e 25°C, podendo alcançar até no máximo 30°C, acima desse ponto, tais condições podem comprometer significativamente o desenvolvimento e a qualidade das plantas (FILGUEIRA, 2008).
- A necessidade de manter a intensidade luminosa em uma faixa de 60.000 a 80.000 lumens é fundamental para prevenir o crescimento desproporcional do caule e o desenvolvimento de folhas pequenas e distantes entre si (GENUNCIO, 2019).
- A faixa apropriada seria manter o pH da solução entre 5,5 a 6,5, pois promove um ambiente propício ao aproveitamento eficiente dos nutrientes disponíveis (SEDIYAMA; PEDROSA, 2007).
- É fundamental que a umidade relativa do ar se mantenha entre 54,5% e 86,4%, promovendo um crescimento saudável das plantas e permitindo um cultivo eficiente (RODRIGUES *et al.*, 2022).

4.2 Teste dos sensores durante um dia completo de operação

Será realizada uma análise detalhada de cada sensor ao longo de um dia inteiro de cultivo, coletando os dados a cada 5 minutos em um intervalo de 14 horas e 30 minutos com o objetivo de verificar a conformidade dos valores medidos com os padrões de referência estabelecidos. Esta avaliação permitirá determinar se a hortaliça está recebendo os nutrientes de maneira ideal, garantindo assim a eficácia do fornecimento de nutrientes essenciais para o seu desenvolvimento. Todos os testes a seguir foram realizados no dia 10 de fevereiro de 2024.

O primeiro teste foi efetuado com o sensor de temperatura DS18B20, que foi alocado diretamente na solução nutritiva. Para fins de comparação, foi representado a temperatura ambiente no dia em questão (TEMPO, 2024). O gráfico resultante é mostrado na Figura 38.

Figura 38 – Teste com sensor de temperatura - DS18B20.



Fonte: Autoria própria (2024).

Devido ao fato de a solução possuir um calor específico superior ao da temperatura ambiente, observa-se uma discrepância entre essas temperaturas, com exceção do intervalo entre 19:30 e 20:00, onde a temperatura ambiente apresenta uma queda, mas a temperatura da solução não segue essa redução na mesma magnitude. Ao longo de todo o experimento, o sistema de refrigeração e aquecimento permaneceu inativo, uma vez que as temperaturas registradas não atingiram os limiares estabelecidos para sua ativação.

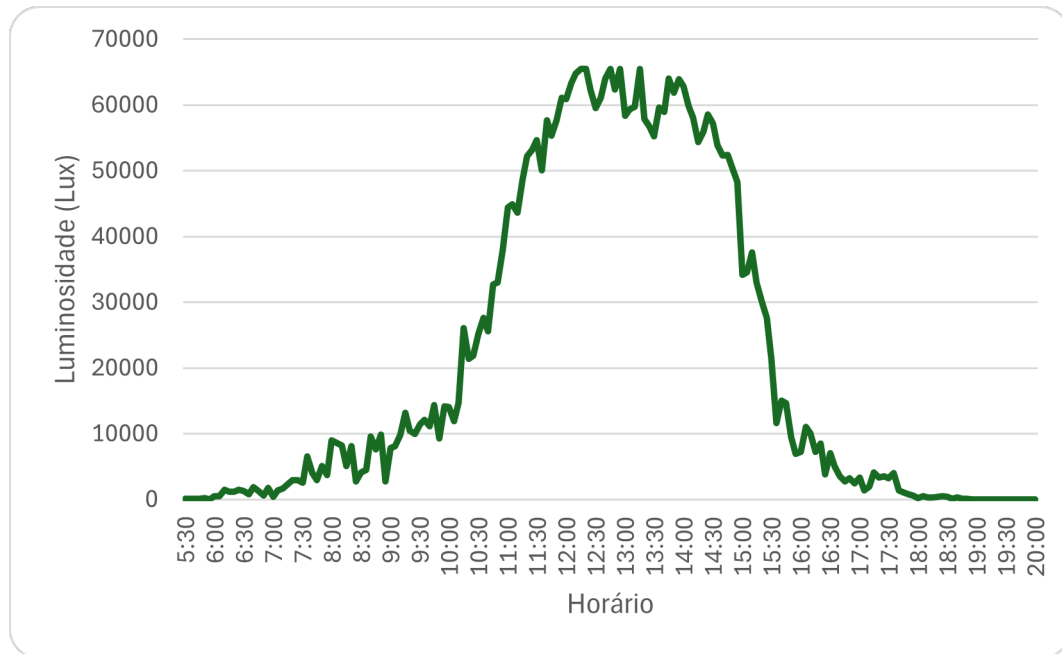
Para o teste realizado com o sensor de luminosidade BH1750, é necessário efetuar uma conversão dos valores de referência, uma vez que o sensor capta a intensidade luminosa em lux, enquanto os dados de referência estão em lumens. Considerando que o lux representa a medida de lumens por metro quadrado e o sistema abrange uma área aproximada de 1,2 m², podemos calcular a faixa ideal da seguinte forma:

$$lx_{min} = \frac{lm_{min}}{m^2} = \frac{60000}{1,2} = 50.000 \text{ lux}$$

$$lx_{max} = \frac{lm_{max}}{m^2} = \frac{80000}{1,2} = 66.667 \text{ lux}$$

Com esses valores de referência é possível analisar o teste com o sensor de luminosidade, como ilustrado na Figura 39.

Figura 39 – Teste com sensor de luminosidade - BH1750.

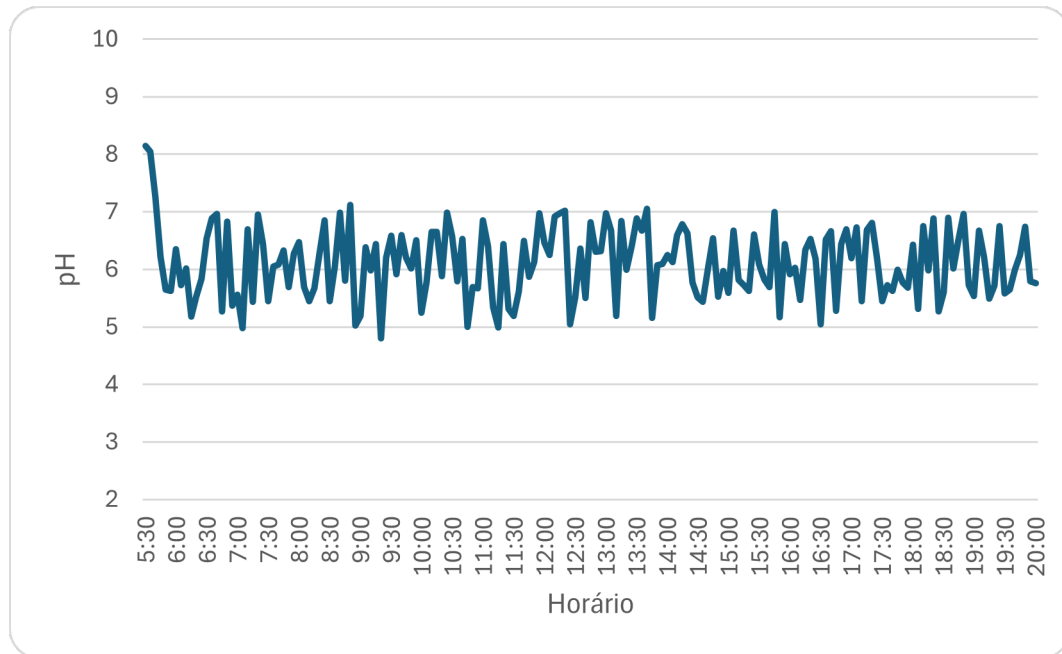


Fonte: Autoria própria (2024).

Observa-se que, em contraste com os demais sensores, este apresenta uma ampla variação nos valores medidos, que podem oscilar de 0 até 65535 lux, cobrindo uma extensa gama de resolução. Essa característica permite identificar os períodos mais propícios do dia para o cultivo eficaz da hortaliça, especialmente entre 11:30 e 14:30, momento em que os níveis de luminosidade se enquadram na faixa ideal de referência. Adicionalmente, observa-se que imediatamente antes e após o pico de luminosidade, ocorre um aumento e uma diminuição acentuados nos níveis de incidência luminosa. Isso sugere a existência de períodos do dia nos quais a luminosidade está presente, mas não incide diretamente sobre o sistema, indicando variações na exposição à luz que podem não ser ideais para o cultivo.

O teste utilizando o sensor de pH PH4502-C, de maneira análoga ao realizado para temperatura, consistiu em submergir a sonda diretamente na solução para a coleta de dados, conforme demonstrado na Figura 40.

Figura 40 – Teste com sensor de pH - PH4502-C.

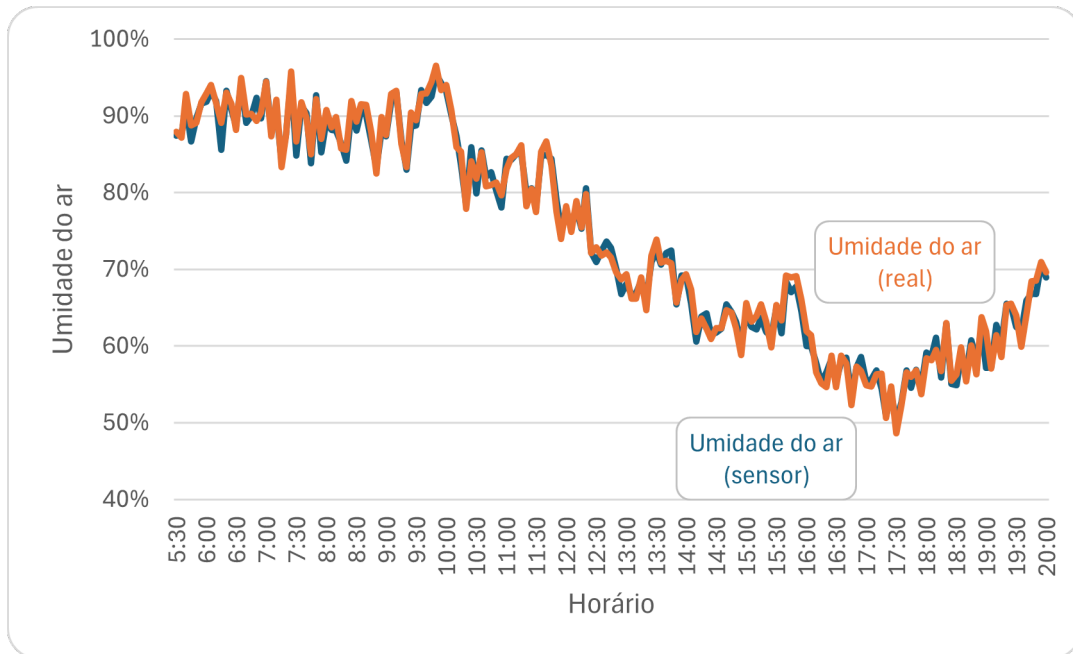


Fonte: Autoria própria (2024).

Ao iniciar as medições dos testes, constatou-se que o nível de pH estava superior ao ideal para a prática de horticultura. Portanto, procedeu-se à adição gradual do regulador de pH na solução para diminuí-lo até atingir a faixa recomendada. Uma vez alcançado o nível desejado de pH, cessou-se a adição de regulador à solução pelo restante do experimento. Observou-se que o valor de pH permaneceu estável e dentro dos limites adequados para o cultivo ideal da hortaliça durante a maior parte do estudo.

Para a realização do teste com o sensor de umidade do ar DHT11, este foi colocado, junto ao sensor de luminosidade, em um suporte especialmente projetado na parte superior da calha, facilitando assim a obtenção das medições de maneira otimizada. Para fins de comparação, foi representado também a umidade do ar por outro órgão no dia em questão (TEMPO, 2024). O gráfico resultante é mostrado na Figura 41.

Figura 41 – Teste com sensor de umidade do ar - DHT11.



Fonte: Autoria própria (2024).

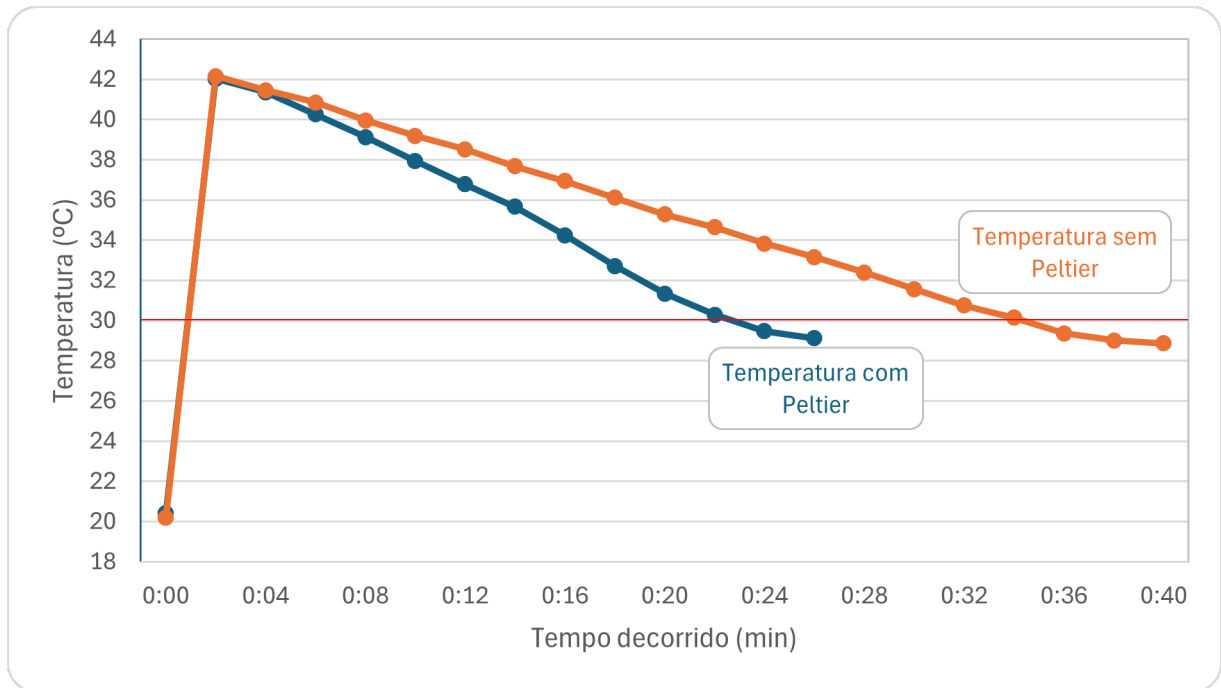
Observa-se que o desempenho do sensor apresentou grande similaridade com os dados fornecidos pela entidade responsável pelo monitoramento ambiental da região, evidenciando assim a eficácia do sensor em análise. Os períodos do dia identificados como os mais propícios para o cultivo da hortaliça foram registrados entre 10:10 e 17:30, e também das 18:00 às 20:00. Notavelmente, é durante estes últimos horários que a umidade atmosférica contribui de forma mais significativa para o bem-estar da planta, facilitando a absorção de água e nutrientes pela solução.

4.3 Teste de estresse de temperatura com pastilha Peltier

O propósito deste teste de estresse é verificar a eficiência do sistema de resfriamento e aquecimento utilizando a pastilha Peltier. Para tal, será introduzido água fervente no sistema contendo a solução, com o intuito de elevar substancialmente a temperatura. Em seguida, será realizada uma análise comparativa para avaliar o desempenho do resfriamento, diferenciando os cenários com e sem o uso da pastilha Peltier.

Para este teste, as hortaliças serão removidas para protegê-las das altas temperaturas. As calhas, que possuem capacidade ideal para 10 litros de água, receberão a adição de 3 litros de água fervente a 90°C misturados com 7 litros de água à temperatura ambiente, aproximadamente 20°C. A temperatura alvo para a conclusão do teste será de 30°C, uma vez que esta se enquadra dentro do intervalo considerado adequado para o cultivo da hortaliça. O teste está apresentado na Figura 42.

Figura 42 – Teste de estresse com pastilha Peltier.



Fonte: Autoria própria (2024).

No primeiro experimento, conduzido sem a utilização da pastilha Peltier, a água partiu de uma temperatura inicial de aproximadamente 20°C. Com a adição da água fervente, houve um aumento abrupto de temperatura, culminando em um pico de 42°C. Seguiu-se um processo natural de resfriamento, onde a água dissipou calor para o ambiente, necessitando por volta de 36 minutos para atingir a temperatura desejada de 30°C.

No segundo experimento, com a implementação do sistema de termoeletrico, os resultados iniciais espelharam os do primeiro teste, alcançando também a marca de 42°C. Contudo, a presença do sistema modificou a trajetória de resfriamento. Diferentemente da primeira tentativa, a diminuição de temperatura foi mais pronunciada, permitindo que a água atingisse os 30°C em um tempo total de aproximadamente 24 minutos.

O sistema de termoeletrico provou ser extremamente útil na regulação eficiente da temperatura, essencial para ambientes de cultivo controlados. Comparando os dois experimentos, observou-se uma notável melhoria no tempo de resfriamento, com uma redução de cerca de 12 minutos, equivalente a uma eficiência 33,3% maior no segundo teste. Essa otimização não só aprimora o controle, mas também contribui para a economia de energia e a sustentabilidade do sistema, evidenciando a importância do sistema para manter condições ideais de cultivo.

5 GESTÃO

5.1 Análise de riscos

Ao desenvolver e implementar um projeto hidropônico microcontrolado para monitoramento, é importante estar ciente e preparado para enfrentar diversos riscos associados, incluindo erros de calibração, curto-circuitos, obsolescência tecnológica e a potencial não aceitação do projeto pelo mercado consumidor.

Erros de calibração dos sensores podem levar a medições imprecisas de variáveis críticas, como pH e temperatura. Essas imprecisões podem resultar em decisões de manejo inadequadas, comprometendo a saúde e o desenvolvimento das plantas. Por exemplo, um sensor de pH mal calibrado pode indicar uma alcalinidade ou acidez inexistente, levando à aplicação desnecessária ou insuficiente de ajustadores de pH, o que pode afetar negativamente o crescimento das plantas.

O risco de curto-circuito em sistemas hidropônicos surge quando substâncias condutoras, como água ou soluções nutritivas, fazem contato com os itens eletrônicos, podendo resultar em falhas instantâneas, interrupções operacionais e danos significativos tanto ao sistema quanto aos seus componentes eletrônicos. Para mitigar esses riscos, dada a presença inerente de água e eletricidade nos ambientes hidropônicos, foi implementada uma proteção utilizando material de MDF, visando resguardar os componentes mais vulneráveis. Contudo, há maiores riscos, especialmente se o sistema for posicionado em locais expostos, onde chuvas intensas possam ocorrer, aumentando a possibilidade de curtos-circuitos.

Ao analisar os riscos associados à rápida evolução tecnológica, é importante reconhecer que a atualização dos sistemas de sensores pode ser necessária para manter a eficácia no monitoramento e controle do ambiente hidropônico. A adoção de uma abordagem adaptável e informada pode minimizar impactos negativos, assegurando a continuidade operacional e aprimorando a sustentabilidade e viabilidade do projeto a longo prazo. Assim, a obsolescência tecnológica, embora seja um risco a ser gerenciado, também oferece a chance de melhorar e inovar dentro do sistema.

A inovação em projetos hidropônicos, embora ofereça muitas vantagens em termos de eficiência e sustentabilidade, pode enfrentar resistências por parte do mercado consumidor. Isso pode ocorrer devido a percepções negativas sobre a segurança alimentar, a qualidade das plantas cultivadas hidroponicamente ou simplesmente pela falta de familiaridade com a tecnologia. A não aceitação pelo mercado pode limitar o alcance comercial do projeto, afetando sua viabilidade econômica e a possibilidade de expansão.

5.2 Custos

A implementação de um sistema hidropônico equipado com sensores e atuadores incide principalmente em custos elevados com materiais. O preço da estrutura física, dos componentes eletrônicos, como sensores de umidade, temperatura, pH, luminosidade e de nível, além dos atuadores para ajuste de temperatura, representa uma parcela significativa do investimento inicial. A infraestrutura e o protótipo foram construídos utilizando os materiais especificados na Tabela 2, acompanhados dos seus respectivos custos detalhados. Alguns itens secundários ou de miscelânea não foram contemplados nessa tabela.

Tabela 2 – Custos do projeto

Item	Quantidade	Preço Unitário	Valor
Estrutura em PVC	Vários	R\$300,00	R\$300,00
ESP32	1	R\$46,00	R\$46,00
ESP32 adaptador	1	R\$31,00	R\$31,00
DHT11	1	R\$10,90	R\$10,90
DS18B20	1	R\$14,16	R\$14,16
BH1750	1	R\$12,90	R\$12,90
PH-4502C	1	R\$129,99	R\$129,99
Sensor de Nível	2	R\$16,90	R\$33,80
Mini Bomba RS385	1	R\$35,00	R\$35,00
Relé 2 Canais	2	R\$18,90	R\$37,80
Placa MDF	1	R\$12,00	R\$12,00
Caixa MDF	1	R\$20,00	R\$20,00
Mangueira de nível	1	R\$26,00	R\$26,00
Pastilha Peltier	1	R\$63,50	R\$63,50
Dissipador	1	R\$12,00	R\$12,00
Cooler	1	R\$9,00	R\$9,00
Water block	1	R\$39,00	R\$39,00
Muda de alface crespa	20	R\$0,20	R\$4,00
Copo descartável	20	R\$0,25	R\$5,00
Regulador de PH	2	R\$14,90	R\$29,80
Fertilizante	2	R\$45,00	R\$90,00
Total			R\$961,85

Fonte: Aatoria própria (2024).

6 CONCLUSÃO

Este estudo explorou o desenvolvimento de um sistema hidropônico microcontrolado integrado a uma interface web, visando possibilitar ao usuário o gerenciamento eficaz de sua horta doméstica através de acesso a informações sobre as condições dos sensores e a qualidade do cultivo. Adicionalmente, oferece-se ao usuário a comodidade de manter a solução em uma temperatura ideal, devido ao eficiente sistema de aquecimento e resfriamento empregando a tecnologia de pastilha Peltier. Durante a investigação, diversos aspectos foram analisados, destacando-se a precisão do monitoramento realizado pelos sensores ao longo do dia e a comprovação da eficiência do sistema por meio de um controle de temperatura da solução nutritiva.

Os resultados alcançados revelam que existem períodos específicos do dia nos quais o cultivo atinge sua máxima eficiência, influenciados por variáveis ambientais externas que afetam significativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas. Além disso, a regulação precisa da temperatura, conforme implementada no projeto, é crucial para assegurar um padrão de qualidade elevado, prevenindo a exposição das plantas a temperaturas prejudiciais por períodos prolongados. Assim, conclui-se que o protótipo desenvolvido satisfaz as expectativas iniciais, proporcionando um grande avanço ao permitir que o usuário monitore e otimize o cultivo de maneira eficaz. Esta descoberta é de suma importância para o produto final derivado deste projeto, destacando-se pelo seu impacto sustentável e inovação tecnológica, o que resulta em um cultivo de qualidade superior para os usuários.

Para transformar este projeto em um produto comercial viável, algumas melhorias essenciais são necessárias. Primeiramente, a otimização do espaço é fundamental, o que pode ser alcançado através da adoção de uma placa de circuito impresso e de uma estrutura mais compacta. Adicionalmente, é fundamental um estudo detalhado em colaboração com especialistas em botânica para aprimorar a formulação da solução nutritiva e explorar melhorias no sistema integral, visando otimizar o processo de cultivo. Para agregar valor ao produto e melhorar a experiência do usuário, a implementação de um site que permita o acompanhamento remoto do cultivo é uma inovação atrativa, apesar dos desafios associados à segurança dos dados. Esses passos não apenas ampliam a funcionalidade do sistema, mas também atendem à crescente demanda por soluções tecnológicas que facilitam a gestão de cultivos domésticos.

REFERÊNCIAS

- ALLAFI IBRAHIM; IQBAL, T. Projeto e implementação de um servidor web de baixo custo esp32 para monitoramento de sistema fotovoltaico em tempo real. **Conferência IEEE de energia elétrica e energia (EPEC)**, 2017.
- AWSLI. **PH4502-C**. 2022. Disponível em: <https://cdn.awsli.com.br/969/969921/arquivos/ph-sensor-ph-4502c.pdf>. Acesso em: 28 dec. 2023.
- CARRIJO, O. A. *et al.* Principios de hidroponia. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2000., 2000.
- CIRCUITS4YOU. **PinOut**. 2018. Disponível em: <https://circuits4you.com/2018/12/31/esp32-devkit-esp32-wroom-gpio-pinout>. Acesso em: 28 dec. 2023.
- CITYTECH, O. **DHT11**. 2017. Disponível em: <https://openlab.citytech.cuny.edu/cet4711/dht11>. Acesso em: 17 feb. 2024.
- DOUGLAS, J. S. **Hidroponia: Cultura sem terra**. [S.l.]: Editora Nobel, 1987.
- EGÍDIO, N.; LEVY, B. A. T. D. H. Anais da academia pernambucana de ciência agrônômica, v. 8. 2011.
- ELETROGATE. **Mini Bomba de Água Motor 12V DC - RS-385**. 2014. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/mini-bomba-de-agua-motor-dc-rs-385>. Acesso em: 22 jan. 2024.
- ELETRONICS, O. **DHT11 Humidity and Temperature Digital Sensor**. [S.l.], 2010.
- FERNANDES, A. Conversão de energia com células de peltier. **Dissertação (Mestrado)**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2012.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. [S.l.]: Ed. UFV Viçosa, 2008.
- GENUNCIO, G. da C. Qual o correto manejo hidropônico da alface frisée? **Revista Campo e Negócios**, 2019.
- GONÇALVES, L. Microsistema termoelétrico baseado em teluretos de bismuto e antimônio. 2008.
- GONÇALVES, R. F. *et al.* Uma proposta de processo de produção de aplicações web. **Production**, Associação Brasileira de Engenharia de Produção, v. 15, n. 3, p. 376–389, Sep 2005. ISSN 0103-6513. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132005000300008>.
- HUANG, H.-S. *et al.* Thermoelectric water-cooling device applied to electronic equipment. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, Elsevier, v. 37, n. 2, p. 140–146, 2010.
- INDOOR, L. **Fertilizante Remo Nutrients Grow Cultivo Plantas**. 2015. Disponível em: <https://ledsindoor.com.br/remos-grow-componente-reposicao-nutriente-base-opcao-de-250ml-1l-4l-e-10l>. Acesso em: 02 feb. 2024.
- KIRSCHBAUM, M. U. Does enhanced photosynthesis enhance growth? lessons learned from co2 enrichment studies. **Plant physiology**, American Society of Plant Biologists, v. 155, n. 1, p. 117–124, 2011.

- LAY-ANG, G. **Hidroponia**. 2024. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/hidroponia.htm>. Acesso em: 21 jan. 2024.
- LIMA, J. E. L. **Sistema de comunicação e controlo para hidroponia**. 2014. Tese (Doutorado) — Universidade do Minho (Portugal), 2014.
- LOPES, S. **A web mobile: programe para um mundo de muitos dispositivos**. [S.l.]: Casa do Código, 2013.
- LOUDON, K. Desenvolvimento de grandes aplicações web. **Revista Telfract**, v. 1, n. 1, 2018.
- MACHADO, A. T.; MACHADO, C. d. T. Agricultura urbana. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002., 2002.
- MACHESO, P. *et al.* Design of standalone asynchronous esp32 web-server for temperature and humidity monitoring. *In: IEEE. 2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*. [S.l.], 2021. v. 1, p. 635–638.
- MALY, F.; SLABY, A. Web client server systems with advanced asynchronous communication, their architecture and applications. **WSEAS Transactions on Computers**, World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS) Stevens Point . . . , v. 9, n. 7, p. 716–725, 2010.
- MARTINS, R. História da hidroponia. **Associação Brasileira de Hidroponia, s.d.**, 2011.
- MDNWEBDOCS. **Web Server Assíncrono**. 2023. Disponível em: https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/API/XMLHttpRequest_API/Synchronous_and_Asynchronous_Requests. Acesso em: 02 feb. 2024.
- MOURA, J. A. d. S. Filmes nanométricos de fen e aln crescidos por sputtering e aplicações do efeito peltier. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.
- NAKAOKA, S.; YAMADA, A. A system for measuring the photosynthetic activity of water plants based on carbon dioxide absorption. *In: IEEE. 2012 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS)*. [S.l.], 2012. p. 29–31.
- OZELIN, W. **Desenvolvimento Front-End para Web I**. [S.l.], 2023.
- PRAPHAMONTRIPONG, U. *et al.* Performance analysis of an asynchronous web server. *In: IEEE. 30th Annual International Computer Software and Applications Conference (COMPSAC'06)*. [S.l.], 2006. v. 2, p. 22–28.
- REMO. **Remo nutrient calculator**. 2015. Disponível em: <https://www.remonutrients.com/calculator/>. Acesso em: 02 feb. 2024.
- RESH, H. M. **Cultivos hidropônicos. Nuevas técnicas de producción**. [S.l.]: MUNDI-PRENSA EDICIONES, 2001.
- RODRIGUES, L. G. *et al.* Crescimento inicial da alface hidropônica sob diferentes níveis de salinidade em sistema automatizado com arduino uno em função da temperatura e umidade do ar no semiárido. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, p. e34311125136–e34311125136, 2022.
- SANTOS, O. d. Hidroponia da alface. **Santa Maria: UFSM/Pró-Reitoria de Extensão**, 2000.
- SANTOS, O. S. e. a. Cultivo sem solo - hidroponia. **Universidad Federal de Santa Maria**, 2002.
- SANTOS, R. M. P. M. **Estação Multisensorial para Estufas Agrícolas**. 1998. Tese (Doutorado) — Universidade do Minho, 1998.

SEDIYAMA, M.; PEDROSA, M. Hidroponia: uma técnica alternativa de cultivo. **Texto disponível em: <http://www.epamig.br/index.php>**, 2007.

SEMICONDUCTOR, D. **DS18B20**. [S./], 2013.

SEMICONDUCTOR, R. **Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC**. [S./], 2011.

SHARMA, A. K. Big buy (e-commerce website) by using frontend web development. **International Journal for Modern Trends in Science and Technology**, v. 7, n. 11, p. 201–208, 2021.

SILVA, F. D. *et al.* Manual pratico de horticultura hidrôponica para cultivar hortaliças em area urbana e periurbana. *In: Manual pratico de horticultura hidrôponica para cultivar hortaliças em area urbana e periurbana*. [S./]: FUNACI, 2006. p. 1–35.

SILVA, M.; PINTO, A. **Coentro hidropônico sob diferentes condições de cultivo relacionadas à solução nutritiva: temperatura, salinidade e recirculação**. 2019. Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado)-Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do . . . , 2019.

SIR, M. C. M.; MAM, K. J. C.; SHEKHER, H. **WEBSITE DESIGNING USING HTML, CSS, JAVASCRIPT & WORDPRESS**. 2022. Disponível em: https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/issue_3_march_2022/19838/final/fin_irjmets1647360395.pdf. Acesso em: 28 dec. 2023.

SYSTEM, E. **ESP32 Series Datasheet**. [S./], 2023.

TEIXEIRA, M. A. M. *et al.* Suporte a serviços diferenciados em servidores web: modelos e algoritmos. **São Carlos, SP: ICMC**, 2004.

TEMPO. **Histórico da previsão do tempo para Curitiba - PR**. 2024. Disponível em: <https://www.tempo.com/curitiba-sactual.htm>. Acesso em: 12 feb. 2024.

UFSC. **QMC5351 – Química Analítica Instrumental**. 2013. Disponível em: <https://analiticaqmc20132.paginas.ufsc.br/files/2013/11/potenciometria-rev.pdf>. Acesso em: 20 feb. 2024.

VELAZQUEZ-GONZALEZ, R. S. *et al.* A review on hydroponics and the technologies associated for medium-and small-scale operations. **Agriculture**, MDPI, v. 12, n. 5, p. 646, 2022.