

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS**
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
CURSO DE TECNOLOGIA EM TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

ALEX SANTANA DA SILVA

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA HIDROPONIA SUSTENTÁVEL: UMA
ABORDAGEM APLICADA AO CLIMA DO AMAZONAS**

MANAUS-AM
2025

ALEX SANTANA DA SILVA

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA HIDROPONIA SUSTENTÁVEL: UMA
ABORDAGEM APLICADA AO CLIMA DO AMAZONAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Tecnologia em Mecatrônica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial – IFAM/CMDI.

Orientador(a): Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro

MANAUS-AM

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586s	<p>Silva, Alex Santana da.</p> <p>Sistema automatizado para hidroponia sustentável: uma abordagem aplicada ao clima do Amazonas / Alex Santana da Silva. — Manaus, 2025.</p> <p>40f.: il. color.</p> <p>Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, <i>Campus</i> Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2025.</p> <p>Orientador: Prof.º Celso Souza Cordeiro, Esp.</p> <p>1. Automação. 2. Arduino. 3. Sistema Hidropônico. I. Cordeiro, Celso Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.</p> <p>CDD 629.892</p>
-------	---

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734).

ALEX SANTANA DA SILVA

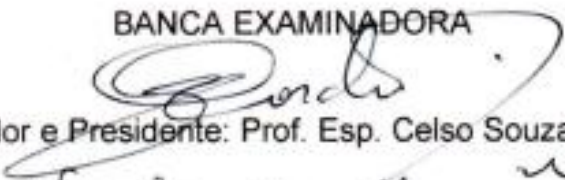
**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA HIDROPONIA SUSTENTÁVEL: UMA
ABORDAGEM APLICADA AO CLIMA DO AMAZONAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Tecnologia em Mecatrônica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial – IFAM/CMDI.

Orientador(a): Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro

Aprovado em 28 de abril de 2025

BANCA EXAMINADORA


Orientador e Presidente: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro


Avaliador 1: Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro


Avaliador 2: Prof. Me. Jonatas Micael Vieira de Lima

MANAUS-AM

2025

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a Deus e meus pais;
sem eles eu não teria capacidade para
desenvolver este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, fonte de toda sabedoria e força, por me guiar ao longo desta jornada. Sem Sua graça, nada seria possível. A Ele, toda honra e glória.

Agradeço também ao meu orientador, Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro, pela paciência, dedicação e pela orientação incansável durante o desenvolvimento deste trabalho. Sua experiência foi fundamental para o sucesso deste projeto.

A minha família, que merecem a minha eterna gratidão. O apoio, amor e compreensão de vocês foram essenciais para que eu pudesse seguir em frente, mesmo nos momentos mais desafiadores.

Aos meus amigos e colegas de curso, que compartilharam comigo risos, aprendizados e desafios. A troca de ideias e experiências foi crucial para o meu crescimento durante toda essa caminhada.

EPÍGRAFE

“O importante é não parar de questionar; a curiosidade tem sua própria razão de existir.” Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema automatizado para o controle do cultivo hidropônico de hortaliças, projetado para operar em condições climáticas específicas de Manaus, Amazonas, uma região caracterizada por alta umidade relativa do ar e temperaturas elevadas. A solução proposta utiliza o Arduino para integrar sensores que monitoram o fluxo de água, pH e temperatura da solução nutritiva, buscando manter condições adequadas para o desenvolvimento das plantas. O sistema é alimentado por uma placa fotovoltaica, com armazenamento em baterias para garantir operação contínua, mesmo em períodos noturnos. A automação proposta visa otimizar o cultivo hidropônico, adaptando-o aos desafios ambientais da região, como a necessidade de gerenciar a alta evaporação e manter a estabilidade da solução nutritiva em um ambiente quente e úmido. Combinando tecnologias de automação e fontes de energia renováveis, este projeto ilustra como é possível implementar soluções agrícolas inteligentes e sustentáveis, atendendo às demandas regionais e promovendo maior eficiência no manejo hidropônico.

Palavras-chave: Sistema Hidropônico; Automação. Arduino.

ABSTRACT

This work presents the development of an automated system for controlling hydroponic cultivation of vegetables, designed to operate under the specific climatic conditions of Manaus, Amazonas, a region characterized by high relative humidity and elevated temperatures. The proposed solution utilizes the Arduino platform to integrate sensors that monitor variables such as water flow, pH, and nutrient solution temperature, aiming to maintain suitable conditions for plant development. The system is powered by a photovoltaic panel, with energy stored in batteries to ensure continuous operation, even during nighttime periods. The proposed automation seeks to optimize hydroponic cultivation by addressing the environmental challenges of the region, such as managing high evaporation rates and maintaining nutrient solution stability in a hot and humid environment. By combining automation technologies and renewable energy sources, this project illustrates how smart and sustainable agricultural solutions can be implemented to meet regional demands and promote greater efficiency in hydroponic management.

Keywords: Hydroponic system; Automation. Arduino.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Arduíno.....	16
Figura 2 -	Mini Bomba de Água Submersa.....	17
Figura 3 -	Sensor de PH.....	18
Figura 4 -	Sensor de Condutividade.....	18
Figura 5 -	Sensor de temperatura tipo J.....	19
Figura 6 -	Módulo fotovoltaico.....	20
Figura 7 -	Controlador de carga.....	21
Figura 8 -	Módulo relé.....	22
Figura 9 -	Display.....	23
Figura 10 -	Etapa de Montagem do protótipo.....	26
Figura 11 -	Etapa de testes.....	29
Figura 12 -	Adição do sombrite de 50%.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Orçamento para construção física do projeto.....	25
Tabela 2 - Dados coletados do primeiro teste.....	30
Tabela 3 - Dados coletados do segundo teste.....	31
Tabela 4 - Dados coletados do terceiro teste.....	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comportamento do total de sólidos dissolvidos nos três testes.....	35
Gráfico 2 - Comportamento do PH nos três testes.....	36
Gráfico 3 - Comportamento da temperatura nos três testes.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PH –	Potencial hidrogeniônico.....	13
IDE –	Ambiente de Desenvolvimento Integrado.....	16
MPPT –	Maximum Power Point Tracking (Rastreamento do Ponto de Máxima Potência).....	21
LCD –	Liquid Crystal Display (Display de Cristal Líquido).....	23
PVC –	Policloreto de Vinila.....	26
PH –	Potencial hidrogeniônico.....	29
TDS –	Total Dissolved Solids (Sólidos Totais Dissolvidos).....	29
EC –	Electrical Conductivity (Condutividade Elétrica).....	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
1.1 Justificativa	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Irrigação e sua importância.....	15
2.2 Impacto da automação na agricultura.....	15
2.3 Componentes para prototipagem	16
2.3.1 Arduíno	16
2.3.2 Mini bomba submersa	17
2.3.3 Sensor de PH	17
2.3.4 Sensor de condutividade	18
2.3.5 Sensor de temperatura tipo J.....	19
2.3.6 Módulo fotovoltaico	20
2.3.7 Controlador de carga.....	21
2.3.8 Módulo relé.....	22
2.3.9 Display	23
3. PROPOSTA DO TRABALHO	24
4. METODOLOGIA	24
4.1 Orçamento.....	25
4.2 Montagem do projeto.....	25

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
5.1 Comportamento dos testes nos primeiros sete dias	34
6 TRABALHOS FUTUROS	39
CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS	41
ANEXO A – Código Usado no Arduíno.....	43

1 INTRODUÇÃO

A crescente busca por uma alimentação saudável tem levado os consumidores a priorizarem alimentos de qualidade, livres de resíduos químicos, como agrotóxicos, fortalecendo a relação entre saúde, alimentação e meio ambiente. No final do século XX, a crise dos modelos agrícolas produtivistas e coletivistas evidenciou a necessidade de alternativas mais sustentáveis, impactando agricultores dependentes do mercado e expostos às variações de oferta e demanda (LIRA et al., 2022).

A agricultura urbana é reconhecida por proporcionar diversos benefícios às cidades, como lazer, bem-estar, acesso a alimentos orgânicos e melhorias ambientais. No contexto da hidroponia, essa prática se destaca como uma solução eficiente para o cultivo de plantas sem solo, utilizando nutrientes dissolvidos em água. Essa abordagem permite maior controle sobre os parâmetros do cultivo, garantindo alta produtividade com menor consumo de recursos, sendo especialmente relevante em projetos sustentáveis no Amazonas, onde condições climáticas desafiadoras requerem soluções inovadoras e eficientes (FALCÃO et al., 2022).

A implementação de automação no cultivo de hortaliças tem se destacado como uma solução inovadora para otimizar o processo de produção agrícola, oferecendo controle preciso sobre diversos parâmetros, como irrigação, iluminação e temperatura. Utilizando sensores e sistemas inteligentes, é possível monitorar e ajustar as condições do ambiente de cultivo de forma contínua, sem a necessidade de intervenção manual constante. Isso garante que as plantas recebam a quantidade adequada de água, luz e nutrientes, promovendo um crescimento saudável e eficiente (CRUZ et al., 2023).

Além disso, a automação pode ser integrada com sistemas de energia renovável, como placas fotovoltaicas, proporcionando maior sustentabilidade ao processo. Ao reduzir a dependência de recursos externos e ao melhorar a gestão do uso de água e energia, a automação no cultivo de hortaliças contribui para práticas agrícolas mais sustentáveis e com menor impacto ambiental, especialmente em áreas urbanas ou regiões com recursos limitados. Essa abordagem também torna o cultivo mais acessível, permitindo que qualquer pessoa, mesmo sem conhecimentos

avançados de agricultura, consiga gerenciar e manter um cultivo produtivo e saudável (MORAIS; FARINA; SANTOS, 2021).

Este trabalho tem por desenvolver um sistema automatizado para o cultivo de hortaliças no Amazonas, utilizando tecnologias de controle inteligente para monitoramento de parâmetros como irrigação, temperatura e PH. Além disso, o sistema será alimentado por energia fotovoltaica, promovendo maior sustentabilidade e eficiência no processo. A automação visa não só otimizar os recursos utilizados, mas também garantir uma produção mais saudável e com menor impacto ambiental, adaptando-se às condições climáticas locais e tornando o cultivo acessível a diferentes públicos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema automatizado para realizar o cultivo sustentável de hortaliças através da hidroponia no Amazonas, fazendo uso de energia fotovoltaica.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar um levantamento bibliográfico de estudos relacionados à hidroponia e sistemas automatizados;
- Projetar um protótipo utilizando Arduíno para controlar automaticamente os parâmetros essenciais como pH, temperatura, e fluxo de água;
- Montar o protótipo, incluindo a integração dos componentes e a instalação da energia fotovoltaica;
- Implementar e realizar testes para avaliar o desempenho e a eficiência do sistema em condições climáticas do Amazonas.

1.3 Justificativa

A crescente demanda por soluções sustentáveis na agricultura, especialmente em regiões como o Amazonas, onde o clima quente e úmido impõe desafios ao cultivo tradicional, torna essencial o desenvolvimento de tecnologias inovadoras e eficientes. A hidroponia surge como uma alternativa promissora, pois permite o cultivo de hortaliças sem a necessidade de solo, utilizando uma solução nutritiva para fornecer os nutrientes essenciais às plantas. No entanto, a manutenção de parâmetros como pH, temperatura e fluxo de água em condições ideais para o crescimento das plantas exige uma gestão precisa e contínua, o que pode ser difícil em ambientes de grande variação climática.

A automação do sistema de cultivo em hidroponia, aliada ao uso de energia fotovoltaica, oferece uma solução eficaz para esses desafios. Ao implementar um sistema automatizado com o auxílio de Arduíno, é possível controlar de forma eficiente os parâmetros do cultivo, garantindo uma produção estável e sustentável de hortaliças. Além disso, a utilização de energia solar, uma fonte renovável e abundante na região, torna o projeto mais sustentável, permitindo que o sistema opere de forma autônoma, com baixo impacto ambiental e menor custo operacional.

Dessa forma, este trabalho justifica-se pela necessidade de adaptar as práticas agrícolas ao clima específico da região amazônica, buscando não apenas a viabilidade técnica do cultivo em hidroponia, mas também a promoção de uma agricultura mais sustentável e eficiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Irrigação e sua Importância

A agricultura é a atividade humana que mais consome água no mundo, correspondendo a 70% das retiradas de água globalmente, uma proporção que continua a aumentar. Dados indicam que, em países de baixa renda, a porcentagem dos recursos hídricos gastos com a agricultura atinge 91%. Em contrapartida, em países de renda alta, essa porcentagem cai para 43%. Nos países menos desenvolvidos e naqueles em desenvolvimento que não possuem litoral, essa despesa representa 90% do total de água disponível (FAO, 2020).

A irrigação é responsável por 50% das retiradas de águas superficiais, como rios e lagos, além das regiões subterrâneas no Brasil. Essa porcentagem se aproxima da média global. A entidade ressalta que o uso da água para irrigação é significativamente maior em comparação ao abastecimento urbano, que representa apenas 24% do total de água retirada (ANA, 2021).

2.2 Impactos da automação na agricultura

A automação, impulsionada pelo avanço da Internet das Coisas (IoT), tem transformado significativamente a forma como diversas atividades são conduzidas, incluindo na agricultura. Essa tecnologia desempenha um papel essencial na modernização e otimização dos processos agrícolas, proporcionando maior eficiência no uso de recursos como água, energia e insumos. A introdução de sensores, sistemas de controle automatizados e dispositivos conectados possibilita o monitoramento em tempo real das condições ambientais e do solo, permitindo decisões mais precisas e imediatas. Com isso, os agricultores podem ajustar a irrigação, a aplicação de fertilizantes e outros insumos de forma mais eficiente, reduzindo desperdícios e aumentando a produtividade. Além disso, a conectividade e o armazenamento de dados permitem análises mais detalhadas, auxiliando no planejamento e na tomada de decisões estratégicas para um cultivo mais sustentável e lucrativo.

Apesar dos benefícios evidentes, a implementação de tecnologias de automação na agricultura ainda enfrenta desafios significativos. Entre as principais barreiras estão o custo elevado para aquisição da infraestrutura necessária e a complexidade da sua implementação em diferentes contextos agrícolas.

Estes fatores podem limitar o acesso às inovações, especialmente em pequenas propriedades rurais, que representam uma parcela expressiva do setor agrícola. No entanto, à medida que os custos das tecnologias IoT se tornam mais acessíveis e as soluções se adaptam às realidades locais, o impacto positivo na produtividade e na sustentabilidade da agricultura tende a ser ainda mais expressivo (SOUZA, 2022).

2.3 Componentes para prototipagem

2.3.1 Arduíno

O Arduino é uma plataforma open-source de prototipagem eletrônica composta por placas de microcontroladores programáveis e um ambiente de desenvolvimento (IDE). Ele permite a criação de projetos de automação, robótica e IoT de forma acessível e intuitiva (CARDOSO; FERREIRA, 2023). Muito utilizado por iniciantes e profissionais, o Arduino se destaca pela facilidade de programação, ampla compatibilidade com sensores e módulos, e uma grande comunidade de suporte.

Figura 1: Arduíno



Fonte: Autor, 2025.

2.3.2 Mini bomba submersa

A Mini Bomba de Água Submersa é um pequeno dispositivo utilizado para bombear água em projetos como irrigação automática, aquários, fontes e sistemas de resfriamento. Operando com uma tensão de 2,5V a 5V, ela possui baixo consumo de energia, sendo ideal para aplicações com baterias ou fontes de alimentação compactas. Seu funcionamento silencioso e eficiente permite um fluxo de água adequado para pequenas aplicações, geralmente variando entre 80 e 120 litros por hora, dependendo do modelo. Fácil de integrar a sistemas eletrônicos, pode ser controlada por microcontroladores como Arduino e ESP32 através de relés ou transistores. Seu design compacto e resistente torna essa bomba uma excelente escolha para projetos que exigem movimentação de líquidos de forma prática e segura (MORAN, 2022).

Figura 2: Mini Bomba de Água Submersa



Fonte: Autor, 2025.

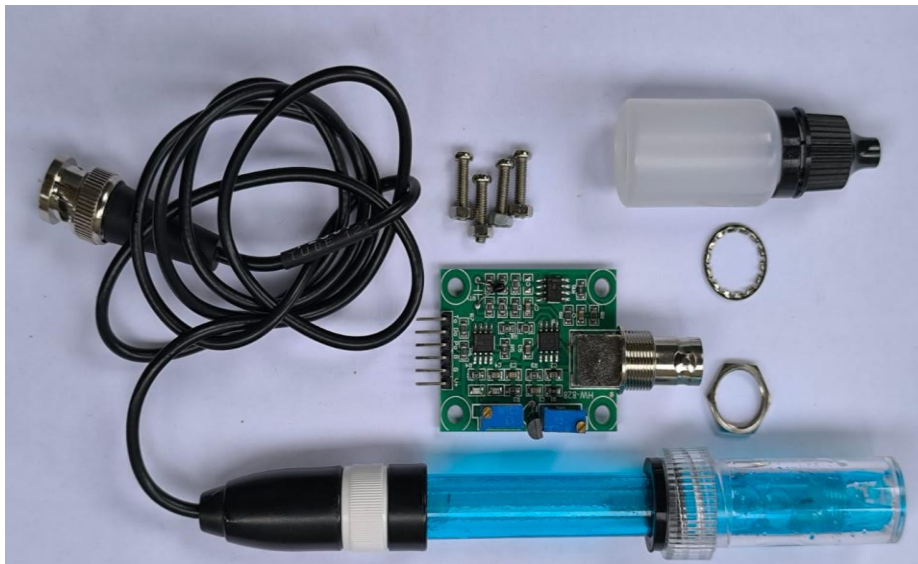
2.3.3 Sensor de PH

O sensor de pH utilizado com Arduino é um dispositivo que mede o nível de acidez ou alcalinidade de uma solução, fornecendo um valor entre 0 e 14, onde 7 é neutro, valores abaixo indicam acidez e acima, alcalinidade.

Ele é amplamente utilizado em projetos de monitoramento de qualidade da água, hidroponia, aquários e laboratórios. O sensor é composto por um eletrodo de vidro sensível ao pH e um módulo conversor que ajusta o sinal para ser lido pelo

Arduíno. Para obter medições precisas, é necessário calibrar o sensor regularmente com soluções padrão (LAZAROTI, 2023). Além disso, ele deve ser utilizado corretamente, evitando secar o eletrodo e garantindo uma imersão adequada na solução a ser analisada.

Figura 3: Sensor de PH



Fonte: Autor, 2025.

2.3.4 Sensor de Condutividade

Figura 4: Sensor de Condutividade



Fonte: Autor, 2025.

O sensor de condutividade utilizado com Arduíno mede a capacidade de uma solução conduzir eletricidade, fornecendo informações sobre a concentração de sais, minerais ou impurezas dissolvidas na água. Ele é muito usado em aplicações como monitoramento de qualidade da água, hidroponia, aquários e processos industriais. O sensor funciona emitindo um pequeno sinal elétrico entre dois eletrodos imersos na solução e calculando a resistência elétrica para determinar a condutividade, geralmente expressa em microSiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Para garantir medições precisas, é necessário calibrá-lo periodicamente com soluções de referência e evitar o acúmulo de resíduos nos eletrodos.

2.3.5 Sensor de temperatura tipo J

Figura 5: Sensor de temperatura tipo J



Fonte: Autor, 2025.

O sensor de temperatura tipo J é um termopar utilizado para medições de temperatura em ambientes industriais e laboratoriais. Ele é composto por dois metais distintos, ferro e constante (liga de cobre-níquel), que geram uma diferença de potencial elétrico proporcional à temperatura quando expostos ao calor. Sua

faixa de medição varia aproximadamente de -210°C a 760°C , tornando-o adequado para aplicações que exigem resistência a altas temperaturas. Esse termopar é robusto e econômico, oferecendo boa precisão, mas é sensível à oxidação em atmosferas úmidas ou com temperaturas muito elevadas. Para ser utilizado com Arduino, é necessário um circuito de amplificação e compensação de frio, pois seu sinal elétrico é muito fraco e precisa ser convertido em uma leitura precisa.

2.3.6 Módulo fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é um dispositivo utilizado para converter a luz solar em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico. Ele é composto por várias células solares, geralmente feitas de silício, que geram corrente elétrica quando expostas à luz. Quando a luz solar incide sobre as células, ela excita os elétrons do silício, criando uma corrente elétrica que pode ser usada para alimentar equipamentos ou ser armazenada em baterias. Módulos fotovoltaicos são amplamente usados em sistemas de energia solar para geração de eletricidade em residências, empresas e até em grandes usinas solares, oferecendo uma fonte limpa e renovável de energia.

Figura 6: Módulo fotovoltaico



Fonte: Autor, 2025.

2.3.7 Controlador de carga

O controlador de carga é um dispositivo essencial em sistemas fotovoltaicos, responsável por gerenciar a energia gerada pelos módulos solares e direcioná-la de forma segura para as baterias de armazenamento. Sua função principal é regular a tensão e corrente, evitando sobrecargas ou descargas excessivas das baterias, o que poderia danificá-las. Além disso, ele controla a quantidade de energia que entra na bateria, garantindo que ela seja carregada de maneira eficiente e protegendo o sistema de picos de tensão. Em sistemas solares, o controlador de carga é crucial para prolongar a vida útil das baterias e otimizar o desempenho geral do sistema de energia solar (CAVALCANTE, 2024). Ele pode ser de dois tipos: controlador PWM (modulação por largura de pulso) ou MPPT (rastreador de ponto de máxima potência), sendo o segundo mais eficiente, especialmente em sistemas maiores.

Figura 7: Controlador de carga

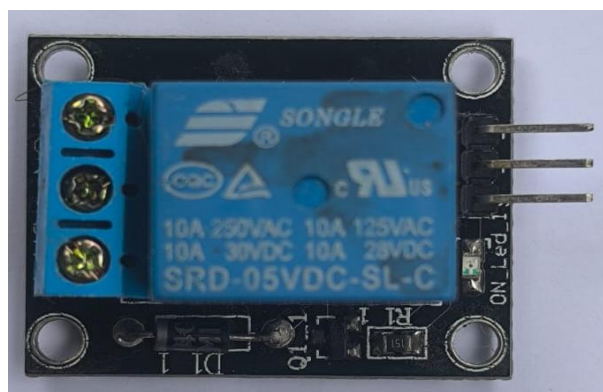


Fonte: Autor, 2025.

2.3.8 Módulo relé

O módulo relé é um dispositivo eletrônico usado para controlar circuitos de alta potência com sinais de baixa potência, como os gerados por microcontroladores como o Arduino. Ele funciona como um interruptor acionado eletricamente, permitindo que um sinal de controle (geralmente de 5V ou 12V) seja usado para ligar ou desligar dispositivos de maior potência, como motores, lâmpadas, ventiladores, eletrodomésticos e outros equipamentos. O módulo relé possui uma bobina que, ao ser energizada, atrai uma armadura metálica, fechando o circuito de alta potência e permitindo a passagem de corrente. Além disso, ele oferece isolamento entre os circuitos de controle e os circuitos de potência, garantindo maior segurança e reduzindo riscos de interferência. Módulos de relé com múltiplos canais também são comuns, permitindo o controle de vários dispositivos simultaneamente, tornando-se uma solução versátil para aplicações automatizadas.

Figura 8: Módulo relé



Fonte: Autor, 2025.

2.3.9 Display

O display no Arduino é um dispositivo eletrônico utilizado para exibir informações visuais, como textos, números ou gráficos, em diversos projetos. Ele é essencial para a comunicação entre o sistema e o usuário, permitindo que as informações sejam apresentadas de forma clara e interativa. Existem diversos tipos de displays compatíveis com o Arduino, sendo os mais comuns o LCD (Liquid Crystal Display) e o OLED. O LCD é amplamente utilizado em projetos que exigem a visualização de dados simples, como temperaturas, umidade, ou valores de sensores. Ele é frequentemente encontrado em modelos de 16x2 ou 20x4 caracteres, que proporcionam uma forma prática e eficiente de mostrar informações em tempo real (SANTOS et al., 2023).

Figura 9: Dsplay



Fonte: Autor, 2025.

3 PROPOSTA DO TRABALHO

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema automatizado para o cultivo de hortaliças por meio da técnica de hidroponia, adaptado às condições climáticas específicas do Amazonas. A proposta visa a implementação de um protótipo que utilize a plataforma Arduino para controlar e monitorar parâmetros essenciais, como pH, temperatura e fluxo de água, de forma automatizada, garantindo a eficiência do cultivo.

O sistema será alimentado por energia fotovoltaica, utilizando painéis solares para alimentar os componentes eletrônicos e armazenar energia em baterias, possibilitando o funcionamento contínuo do sistema durante o dia e à noite. Essa solução sustentável visa reduzir custos operacionais e garantir a autonomia do sistema, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade e eficiência energética.

Além disso, o projeto busca proporcionar um meio de adaptação ao clima do Amazonas, com suas altas temperaturas e umidade, que podem dificultar a gestão tradicional de cultivos agrícolas. A proposta é integrar a automação e a energia renovável para oferecer uma solução de cultivo de hortaliças eficiente, economicamente viável e de baixo impacto ambiental, promovendo a sustentabilidade na produção agrícola local.

4 METODOLOGIA

A metodologia consiste em etapas sequenciais, iniciando com um levantamento bibliográfico sobre hidroponia e automação no cultivo de hortaliças. Em seguida, será projetado um protótipo utilizando Arduino para monitorar e controlar automaticamente parâmetros como pH, temperatura e fluxo de água. O sistema será alimentado por energia fotovoltaica, com painéis solares e baterias para garantir autonomia. Após a montagem física do protótipo, serão realizados testes para avaliar seu desempenho nas condições climáticas do Amazonas, ajustando o sistema conforme necessário. Por fim, os dados obtidos serão analisados para validar a eficiência e viabilidade do sistema proposto.

4.1 Orçamento

A tabela 1 apresenta a relação dos materiais utilizados, suas quantidades e valores, proporcionando uma visão clara dos custos envolvidos na execução do projeto.

Tabela 1 – Orçamento para construção física do projeto

Material	Quantidade (un)	Valor unitário (R\$)	Valor total(R\$)
Arduíno uno	1	100,00	100,00
Sensor de PH	1	118,55	118,55
Sensor de Cond.	1	24,99	24,99
Módulo Fotov	2	99,90	199,80
Bateria 12V	2	75,90	151,80
Controlador de C.	1	178,00	178,00
Módulo relé	2	11,17	22,34
Bomba sub.	1	12,00	12,00
Aspersor	1	32,40	32,40
Display	1	24,60	24,60
Sensor de Temp. J	1	22,00	22,00
Jumpers	2	14,50	29,00
Net cup	18	8,00	144,00
Tubo PVC 100mm	1	56,66	56,66
TOTAL			1.116,14

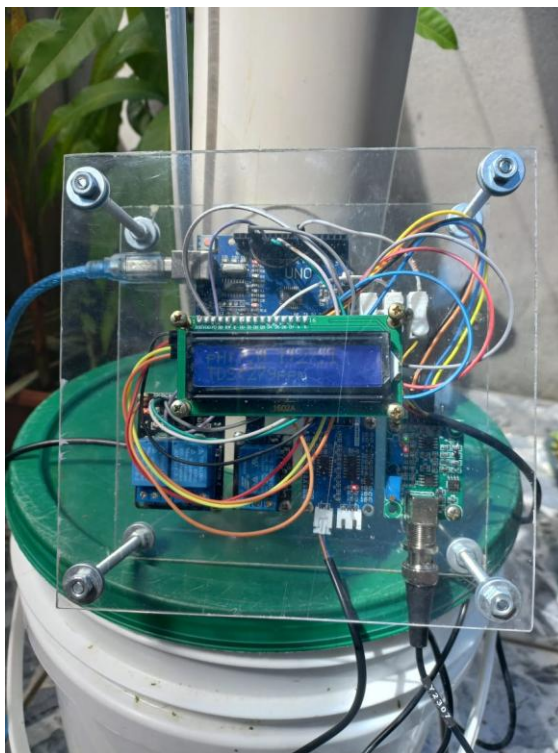
Fonte: Próprio Autor, 2025.

4.2 Montagem do projeto

O desenvolvimento do sistema automatizado para o controle do cultivo hidropônico de hortaliças teve início com a seleção e testes de funcionamento dos componentes essenciais. Foram avaliados sensores de pH, sensores de temperatura, sensores de condutividade, bombas d'água, módulos relês e a plataforma Arduino, utilizando a IDE correspondente para garantir a compatibilidade entre os dispositivos e a integridade das leituras.

Inicialmente, os testes envolveram a calibração dos sensores para assegurar medições precisas. O sensor de pH foi submerso em soluções padrão de referência para ajuste dos valores lidos. O sensor de temperatura foi testado em diferentes condições para verificar sua resposta às variações térmicas.

Figura 10: Etapa montagem do protótipo



Fonte: Autor, 2025.

Os sensores de condutividade também passaram por testes, garantindo a medição adequada dos níveis de nutrientes dissolvidos na solução aquosa. Paralelamente, as bombas e módulos relês foram acionados para validação de seu funcionamento e integração com o sistema de controle. A estrutura física do sistema foi confeccionada utilizando tubos de PVC de 100 mm de diâmetro e 1,84m de comprimento. Optou-se pela orientação vertical desse tubo para otimização do espaço disponível. Para permitir a alocação das sementes, foram perfurados 18 orifícios de 1 polegada ao longo da estrutura, onde foram inseridos suportes adequados para as plantas. A base da torre recebeu um reservatório de 18 litros destinados ao armazenamento da solução nutritiva. A recirculação do líquido foi viabilizada pela instalação de uma bomba d'água conectada ao microaspersor localizado no topo da torre, garantindo a distribuição homogênea dos nutrientes para todas as plantas.

Com a estrutura montada, foi implementado o circuito de controle e monitoramento. Os sensores de pH, condutividade e temperatura foram posicionados

no reservatório para medição em tempo real dos parâmetros da solução nutritiva. Um display LCD foi incorporado para exibir as informações coletadas, permitindo o acompanhamento visual do sistema. Os módulos relês foram conectados à bomba e ao sistema de controle para automatizar o acionamento do fluxo de água conforme necessidade.

A programação foi desenvolvida na IDE Arduino, incluindo a inserção das bibliotecas adequadas para a comunicação com os sensores e componentes do sistema. Foram utilizadas bibliotecas como "Wire.h" para comunicação I2C com o display LCD, "LiquidCrystal_I2C.h" para controle da exibição das leituras, "OneWire.h" e "DallasTemperature.h" para leitura do sensor de temperatura, e "DFRobot_PH.h" para gerenciamento das medições de pH.

O código foi estruturado para realizar leituras periódicas dos sensores e atualizar o display com os valores coletados. Foi definida uma faixa de pH ideal para o cultivo, permitindo a ativação automática de um sistema de correção caso os valores se afastassem dos limites preestabelecidos.

O sistema de alimentação elétrica foi planejado para operação sustentável, utilizando uma placa fotovoltaica acoplada a um banco de baterias para armazenamento de energia. Foram conectadas ao controlador de carga duas baterias de 12V e 7Ah, totalizando 168Wh. Considerando um consumo médio do sistema de 20W, a autonomia estimada das baterias para operação noturna é de aproximadamente 8,4 horas.

Para aumentar essa autonomia, o funcionamento do sistema foi programado em intervalos, operando por 3 minutos e permanecendo desligado por 1 minuto. Com essa configuração, o sistema funciona por três quartos do período noturno de 14 horas, resultando em um consumo equivalente a aproximadamente 10,5 horas de operação contínua. Como esse tempo ultrapassa a autonomia inicial de 8,4 horas, o tempo de funcionamento foi ajustado para 2 minutos ligados e 2 minutos desligados, garantindo que o consumo total se mantenha dentro da capacidade das baterias.

Com essa nova configuração, a autonomia das baterias atende ao período noturno, e a descarga limite das baterias foi calculada em aproximadamente 85%, garantindo a preservação da vida útil do banco de baterias e a continuidade do funcionamento do sistema.

Com todas as partes integradas, foram realizados testes de funcionamento do sistema, observando a precisão das leituras, a eficiência do bombeamento e a distribuição da solução nutritiva. Ajustes finos foram aplicados para garantir a estabilidade das medições e o funcionamento adequado do circuito de controle. O resultado final consistiu em um sistema automatizado funcional, capaz de monitorar e ajustar os parâmetros essenciais para o desenvolvimento das hortaliças, proporcionando uma solução eficiente e adaptada às condições climáticas de Manaus.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a conclusão do protótipo, foram realizados ajustes finais, como calibração dos sensores e programação do Arduino para controle automatizado de parâmetros como pH, temperatura e TDS. O sistema, alimentado por energia fotovoltaica, foi preparado para testes em condições reais, com foco no monitoramento do crescimento das plantas e eficiência do controle. A fase de testes visou validar o sistema e identificar melhorias para otimizar o cultivo hidropônico.

Figura 11: Etapa de testes



Fonte: Autor, 2025.

Primeiro Teste (Agosto de 2023).

O primeiro teste foi realizado entre os dias 24 e 30 de agosto de 2023. Neste período, as plantas apresentaram problemas graves que levaram ao murchamento e à morte. O pH inicial estava muito baixo (4,23), o que é inadequado para a maioria das plantas, mas nos dias seguintes, o pH aumentou para valores próximos de 6,0, o que é mais aceitável. No entanto, os valores de TDS (Total de Sólidos Dissolvidos) e EC (Condutividade Elétrica) estavam consistentemente elevados, com TDS variando entre 749 e 1043 ppm e EC entre 1498 e 2086 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esses níveis de TDS e EC são considerados altos para plantas em fase de crescimento, especialmente para cultivos sensíveis, como alface, que é comum em hidroponia. A temperatura manteve-se relativamente estável, variando entre 29,8°C e 31,7°C, o que é um pouco elevado, mas não extremo. O principal problema foi o excesso de nutrientes (refletido pelo alto TDS e EC), que provavelmente causou toxidez nas plantas, impedindo seu crescimento saudável e levando à morte. Esse teste mostrou a importância de monitorar e ajustar os níveis de nutrientes, especialmente em fases iniciais de crescimento, para evitar sobrecarga de sais minerais, que pode ser fatal para as plantas.

Tabela 2: Dados coletados do primeiro teste

Data	PH	EC	TDS	Temperatura	Hora
24/08/2023	4,23	1608	804	31,7	11:29
25/08/2023	6,23	1498	749	30,1	9:25
26/08/2023	5,99	1934	827	31,4	10:16
27/08/2023	6,05	2086	1043	30,4	10:43
28/08/2023	6,03	1658	829	30,1	06:53
29/08/2023	6,08	1542	771	29,8	07:23
30/08/2023	6,07	1532	766	30,2	06:49

Fonte: Autor, 2023.

Segundo Teste (Dezembro de 2023).

O segundo teste ocorreu entre os dias 13 e 21 de dezembro de 2023. Neste período, os parâmetros de pH e TDS estavam dentro de faixas mais adequadas para o cultivo hidropônico. O pH variou entre 5,53 e 6,45, o que é considerado ideal para a maioria das plantas. O TDS manteve-se em níveis mais baixos, variando entre 276 e 386 ppm, e a EC entre 552 e 772 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando uma concentração de nutrientes mais equilibrada.

Tabela 3: Dados coletados do segundo teste

Data	PH	EC	TDS	Temperatura	Hora
13/12/2023	6,30	552	276	28,0	08:34
14/12/2023	6,23	570	285	29,4	06:43
15/12/2023	6,10	586	293	29,0	06:31
16/12/2023	6,01	638	319	30,1	06:23
17/12/2023	5,98	660	330	30,2	06:10
18/12/2023	5,53	772	386	29,0	18:22
19/12/2023	5,72	694	347	29,1	06:53
20/12/2023	6,06	642	321	28,2	06:12
21/12/2023	6,45	616	328	27,1	09:05

Fonte: Autor, 2023.

Figura 12: Adição do sombrite de 50%



Fonte: Autor, 2025.

A temperatura também se manteve estável, variando entre 27,1°C e 30,2°C. No entanto, apesar dos parâmetros químicos estarem dentro do esperado, um imprevisto climático (uma chuva com vento forte) destruiu mais de 50% das plantas, impedindo que todas chegassem à fase de colheita. Esse evento destacou a importância de proteger o cultivo de fatores externos, como intempéries, mesmo quando as condições internas (pH, TDS, EC e temperatura) estão bem controladas. Além disso, mostrou que, mesmo com bons parâmetros químicos, o sucesso do cultivo também depende de fatores ambientais externos, que devem ser considerados no planejamento do sistema hidropônico. Após o problema ocorrido no segundo teste, onde uma chuva com vento forte destruiu mais de 50% das plantas, foi adquirido um sombrite de 50% para proteger o cultivo de intempéries e garantir maior controle sobre as condições ambientais.

Terceiro Teste (Janeiro e Fevereiro de 2025).

Tabela 4: Dados coletados do terceiro teste

Data	PH	EC	TDS	Temperatura	Hora
24/01/2025	7,39	730	365	30,2	10:29
25/01/2025	7,43	694	347	31,7	12:25
26/01/2025	7,48	740	370	27,9	10:05
27/01/2025	7,49	740	370	28,4	08:39
28/01/2025	7,46	708	354	32,4	13:23
29/01/2025	7,49	724	362	29,6	18:27
30/01/2025	7,50	726	363	30,4	16:30
31/01/2025	6,76	710	355	29,0	18:06
01/02/2025	6,68	700	350	31,2	12:16
02/02/2025	6,45	706	353	31,2	13:19
03/02/2025	6,04	668	334	30,1	17:39
04/02/2025	6,03	772	386	28,1	18:40
05/02/2025	5,78	772	386	33,2	18:18
06/02/2025	5,73	710	355	29,0	18:25
07/02/2025	5,77	750	375	28,4	17:58
08/02/2025	6,01	732	366	30,4	22:11
09/02/2025	6,13	730	365	32,7	15:58
10/02/2025	6,41	740	370	31,2	17:38
11/02/2025	6,71	736	368	31,0	16:57
12/02/2025	6,63	742	371	27,6	17:14
13/02/2025	6,78	742	371	29,6	17:35
14/02/2025	6,48	708	354	27,3	9:59
15/02/2025	6,50	696	348	27,1	18:03
16/02/2025	6,52	652	326	33,0	15:53
17/02/2025	6,56	694	347	28,5	18:36

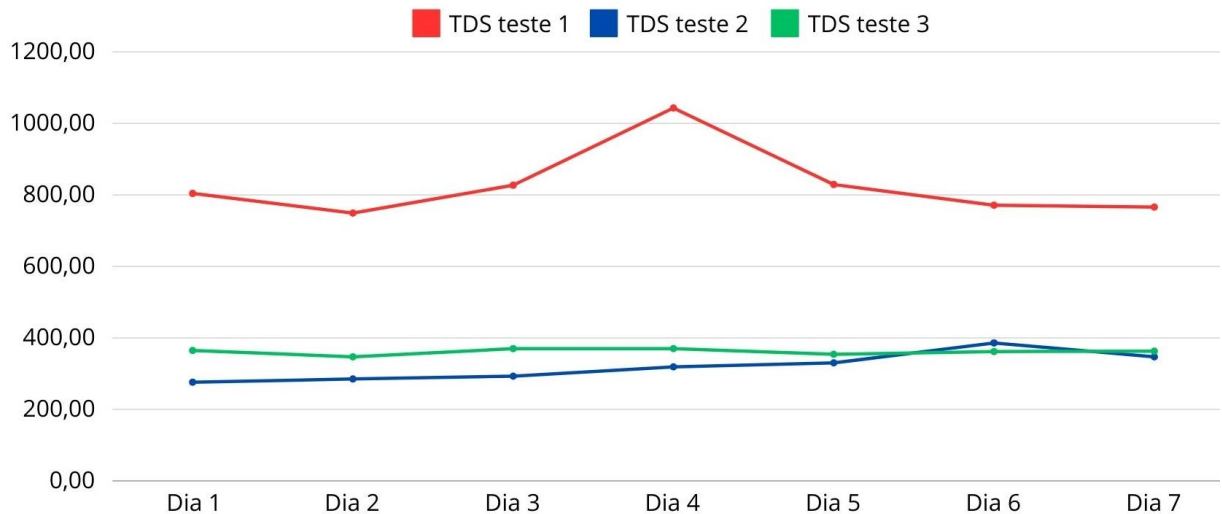
Fonte: Autor, 2025.

O terceiro teste foi realizado entre os dias 24 de janeiro e 17 de fevereiro de 2025. Este teste mostrou um desenvolvimento mais consistente das plantas, com parâmetros de pH, TDS, EC e temperatura bem controlados na maior parte do período. O pH inicial estava um pouco elevado (7,39), mas diminuiu gradualmente para valores próximos de 6,0, que são ideais para o crescimento das plantas. O TDS variou entre 326 e 386 ppm, e a EC entre 652 e 772 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando uma concentração de nutrientes adequada. A temperatura manteve-se estável, variando entre 27,1°C e 33,2°C, com alguns picos que podem ter sido influenciados pelo horário das medições. As plantas apresentaram um crescimento satisfatório, com o aparecimento de novas folhas e desenvolvimento saudável. No entanto, no final do teste, foi observada uma pequena mancha em uma das folhas, possivelmente causada pelo calor e ventos fortes do dia anterior. Apesar disso, o cultivo mostrou-se bem-sucedido, com as plantas atingindo um bom estágio de desenvolvimento. Esse teste reforçou a importância de manter os parâmetros químicos equilibrados e de monitorar as condições ambientais, como temperatura e vento, para garantir um crescimento saudável das plantas. Além disso, mostrou que ajustes contínuos no pH e na concentração de nutrientes são essenciais para o sucesso do cultivo hidropônico.

5.1 Comportamento dos testes nos primeiros sete dias

Nos sete primeiros dias de cada teste, o comportamento do TDS (Total de Sólidos Dissolvidos) apresentou diferenças significativas, impactando diretamente o desenvolvimento das plantas. No primeiro teste, os valores de TDS começaram altos e aumentaram até atingir 1043 ppm (partes por milhão), o que resultou no murchamento e morte das plantas, possivelmente devido ao excesso de nutrientes, que dificultou a absorção de água pelas raízes. Já no segundo teste, os valores ficaram dentro de um intervalo mais equilibrado, variando de 276 a 386 ppm, proporcionando um crescimento mais saudável, mas a experiência foi interrompida por uma chuva forte que destruiu parte das plantas.

Gráfico 1: Comportamento do total de sólidos dissolvidos nos três testes

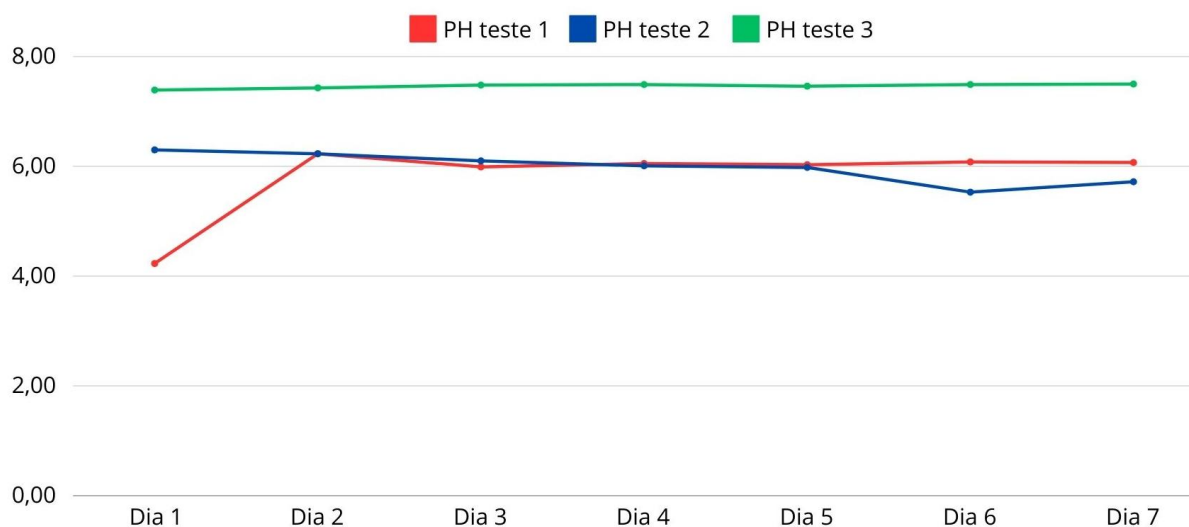


Fonte: Autor, 2025.

No terceiro teste, o TDS se manteve estável entre 347 e 370 ppm, garantindo um desenvolvimento contínuo e sem problemas graves, sendo o melhor resultado entre os três. Essa comparação mostra que um TDS muito elevado pode prejudicar as plantas, enquanto um controle adequado da solução favorece o crescimento saudável.

Nos sete primeiros dias do Teste 3, realizado entre janeiro e fevereiro de 2025, o comportamento do pH apresentou uma tendência de aumento gradual, mantendo-se em níveis alcalinos. No primeiro dia, o pH foi medido em 7,39, um valor ligeiramente alcalino, mas ainda dentro de uma faixa aceitável para a maioria das plantas. No segundo dia, o pH subiu para 7,43, indicando uma pequena elevação, mas ainda compatível com o desenvolvimento das plantas, que já apresentavam sinais de germinação. No terceiro dia, o pH continuou a subir, atingindo 7,48, um valor mais alcalino, o que pode ser preocupante para algumas culturas sensíveis, embora as plantas tenham demonstrado bom crescimento.

Gráfico 2: Comportamento do PH nos três testes



Fonte: Autor, 2025.

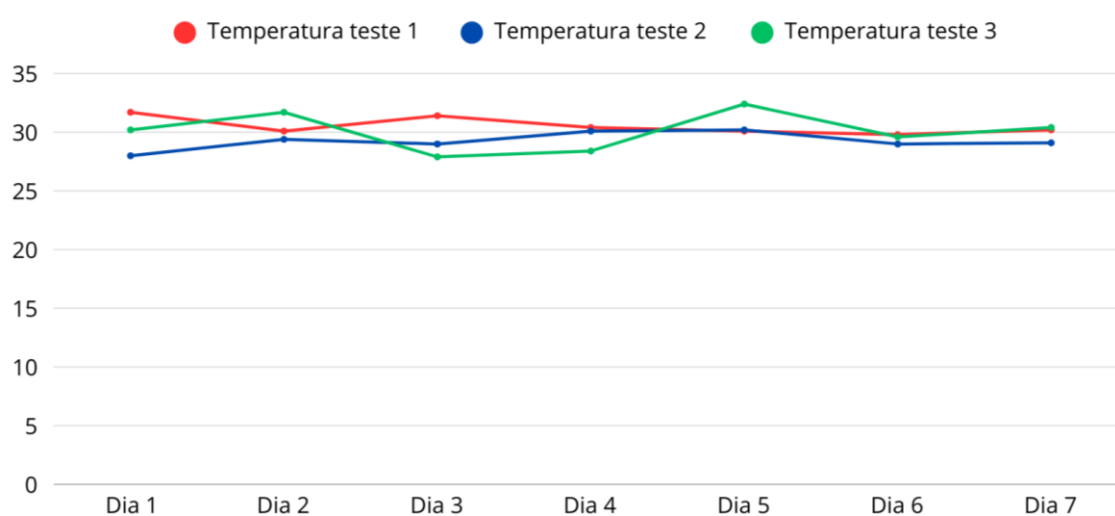
No quarto dia, o pH manteve-se estável em 7,49, indicando que as condições do meio de cultivo permaneceram consistentes. No quinto dia, houve uma leve redução para 7,46, possivelmente devido a ajustes naturais no sistema ou à absorção de nutrientes pelas plantas. No sexto dia, o pH subiu novamente para 7,49, mantendo-se na faixa alcalina. Finalmente, no sétimo dia, o pH atingiu 7,50, o valor mais alto desse período. Apesar do pH elevado, as plantas continuaram a crescer de forma satisfatória, sugerindo que, embora o pH não fosse ideal, não foi crítico para o desenvolvimento inicial das plantas. No entanto, é importante monitorar e ajustar o pH para garantir que ele permaneça dentro de uma faixa mais adequada ao longo do ciclo de crescimento.

Para comparação, no Teste 1, realizado em agosto de 2023, o pH variou entre 4,23 e 6,23, apresentando valores inicialmente muito ácidos que podem ter contribuído para o murchamento e morte das plantas, especialmente combinados com os altos níveis de TDS. Já no Teste 2, realizado em dezembro de 2023, o pH manteve-se em uma faixa mais estável, variando entre 5,53 e 6,45, valores considerados mais adequados para o crescimento das plantas, embora um evento climático externo tenha prejudicado parte da colheita. Em resumo, o Teste 3 apresentou um pH consistentemente alcalino, enquanto os testes anteriores tiveram variações mais

significativas, com o Teste 1 mostrando valores ácidos e o Teste 2 apresentando uma faixa de pH mais equilibrada.

Ao analisar o comportamento da temperatura nos três testes realizados, observam-se variações distintas em cada um deles. No Teste 1, realizado em agosto de 2023, a temperatura variou entre 29,8°C e 31,7°C, mantendo-se em uma faixa relativamente alta. No entanto, o principal problema desse teste foi o elevado valor de TDS, que causou o murchamento e a morte das plantas, indicando que a temperatura, embora alta, não foi o fator crítico para o insucesso.

Gráfico 3: Comportamento da temperatura nos três testes



Fonte: Autor, 2025.

No Teste 2, realizado em dezembro de 2023, a temperatura manteve-se mais estável, variando entre 27,1°C e 30,2°C, uma faixa considerada mais adequada para o crescimento das plantas. Nesse teste, os parâmetros de pH e TDS estavam satisfatórios, mas um evento climático externo, como uma chuva com vento forte, danificou mais de 50% das plantas.

Por fim, no Teste 3, realizado entre janeiro e fevereiro de 2025, a temperatura apresentou uma variação maior, indo de 27,9°C a 32,4°C nos sete primeiros dias, com picos que podem ter causado algum estresse térmico. Apesar disso, as plantas continuaram a crescer de forma satisfatória, sugerindo que a temperatura, embora não ideal, não foi o fator limitante para o desenvolvimento inicial. Em resumo, enquanto o Teste 1 teve temperaturas altas combinadas com problemas de TDS, o

Teste 2 apresentou temperaturas mais estáveis e adequadas, e o Teste 3 registrou variações maiores, mas sem impactos severos no crescimento das plantas.

6 TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, uma sugestão interessante seria expandir os testes para incluir diferentes tipos de plantas, tanto aquelas já adaptadas ao clima amazônico quanto hortaliças que não são características da região. Isso permitiria avaliar a eficácia do sistema automatizado de hidroponia no cultivo de uma variedade maior de espécies, como alface, tomate, pimentão, morango e até mesmo ervas aromáticas, como manjeriço e salsa. Além disso, seria valioso testar o cultivo de hortaliças que tradicionalmente não são cultivadas no solo amazonense, como couve, espinafre e brócolis, para verificar a viabilidade de adaptação dessas culturas ao sistema hidropônico em condições climáticas específicas da região.

Essa expansão de testes poderia fornecer insights sobre a versatilidade do sistema e sua capacidade de suportar diferentes necessidades nutricionais e ambientais de cada tipo de planta. Além disso, permitiria identificar possíveis ajustes necessários no sistema para otimizar o crescimento de espécies menos comuns na região, contribuindo para a diversificação da produção agrícola local e promovendo a segurança alimentar.

7 CONCLUSÃO

A proposta integrou tecnologias de automação, utilizando a plataforma Arduíno para monitorar e controlar parâmetros essenciais como pH, temperatura e fluxo de água, além de incorporar energia fotovoltaica para garantir a sustentabilidade e autonomia do sistema. Ao longo dos três testes realizados, foram observados diferentes comportamentos dos parâmetros monitorados, destacando a importância do controle preciso dessas variáveis para o sucesso do cultivo.

No Teste 1, realizado em agosto de 2023, os altos valores de TDS e EC, combinados com um pH inicialmente muito ácido, levaram ao murchamento e à morte das plantas. Esse resultado evidenciou a necessidade de um controle mais rigoroso da concentração de nutrientes na solução nutritiva, especialmente em fases iniciais de crescimento. Já no Teste 2, realizado em dezembro de 2023, os parâmetros de pH e TDS estavam dentro de faixas adequadas, mas um evento climático externo (chuva com vento forte) danificou mais de 50% das plantas, mostrando que fatores ambientais também podem impactar significativamente o sucesso do cultivo. Por fim, no Teste 3, realizado entre janeiro e fevereiro de 2025, o sistema apresentou um desempenho mais consistente, com parâmetros bem controlados e um crescimento saudável das plantas, apesar de alguns picos de temperatura e ventos fortes que causaram pequenos danos.

Os resultados obtidos ao longo dos testes reforçam a importância de um monitoramento contínuo e ajustes precisos dos parâmetros do cultivo, como pH, TDS, EC e temperatura, para garantir o desenvolvimento saudável das plantas. Além disso, a integração de energia fotovoltaica mostrou-se uma solução viável e sustentável, permitindo a operação contínua do sistema mesmo em condições de alta demanda energética.

Em conclusão, o sistema automatizado proposto demonstrou ser uma solução eficiente e adaptável às condições climáticas do Amazonas, promovendo a possibilidade de se realizar uma agricultura mais sustentável e de menor impacto ambiental.

REFERENCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Altas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. 2ª edição, BRASILIA: ANA, 2021.

CRUZ, C. H. S. et al. **Desenvolvimento de projeto para automação do cultivo de hortaliças**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Eletromecânica) – ETEC, Araraquara, 2023. Disponível em: <http://riccps.eastus2.cloudapp.azure.com/handle/123456789/17109>. Acesso em: 19 jan. 2025.

CAVALCANTE, R. S. **Estudo sobre controladores de carga para microgeração híbrida eólico-solar**. 2024. TCC (Engenharia Elétrica) – UFCG. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/37118>. Acesso em: 04 fev. 2025.

CARDOSO, L. F.; FERREIRA, A. F. **Automação residencial com Arduino**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação – REASE, São Paulo, v. 9, n. 02, fev. 2023. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/8522/3347>. Acesso em: 12 fev. 2025.

FALCÃO, J. F. et al. **Construindo um sistema hidropônico para hortaliças: relato de experiência dos estudantes do ensino médio técnico em agropecuária do IFAM, Campus Lábrea**. REASE - Revista Eletrônica de Agricultura e Sustentabilidade no Ensino, [S.l.], v. 2, n. 3, p. 1-10, 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/14040/7041>. Acesso em: 18 jan. 2025.

FAO. The state of food and agriculture 2020: **Overcoming water challenges in agriculture**. Roma: FAO, 2020. Acesso em: 15 out. 2024. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6e2d2772-5976-4671-9e2a-0b2ad87cb646/content>. Acesso em: 11 fev. 2025.

LAZAROTI, V. H. R. **Sistema para automação de controle de pH e biogás em biodigestores**. TCC (Eng. Química) – UNESP, Araraquara, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/815d8b0a-0e03-4e71-bae8-4943ddb4a016/content>. Acesso em: 10 fev. 2025.

LIRA, V. V. et al. **HIDROPONIA: uma possibilidade para produção agrícola residencial com automação**. 2022. Disponível em: http://www.meioambientepocos.com.br/ANAIS2022/16%20-%20240173_hidroponia-uma-possibilidade-para-producao-agricola-residencial-com-automacao.pdf. Acesso em: 18 jan. 2025.

MORAIS, G. V.; FARINA, C. A. F.; SANTOS, A. C. **Projeto controlador para hidroponia**. 2021. TCC (Técnico em Eletrônica) – ETEC Philadelpho Gouvêa Netto. Disponível em: <http://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/10393>. Acesso em: 04 fev. 2025.

MORAN, M. H. R. **Sistema automatizado para reposição de nutrientes e ajuste de pH em hidroponia**. 2022. TCC (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/30502>. Acesso em: 02 fev. 2025.

SANTOS, A. S. et al. **Desenvolvimento de implementação de hidroponia automatizada**. 2023. TCC (Técnico em Eletrotécnica) – Escola Técnica do Jaraguá. Disponível em: <http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/handle/123456789/13371>. Acesso em: 06 fev. 2025.

SOUZA, L. G. C. de. **Potencialidades da automação no processo de irrigação na agricultura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade Anhanguera de Rondonópolis, 2022. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/51838/1/LUIS_GUSTAVO_CAMPOS_DE_SOUZA_ATIVIDADE+DEFESA.pdf. Acesso em: 12 fev. 2025.

ANEXO A – Código Usado no Arduino

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <OneWire.h>

// Configuração do Display LCD 16x2
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Endereço 0x27 pode variar
// Definição dos pinos
#define PIN_PH_SENSOR A0
#define PIN_TDS_SENSOR A1
#define PIN_TEMP_SENSOR 7
#define PIN_BOMBA_PRINCIPAL 12
#define PIN_BOMBA_PH_MAIS 11
#define PIN_BOMBA_PH_MENOS 10
// Sensor de temperatura
OneWire oneWire(PIN_TEMP_SENSOR);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
// Variáveis de controle de tempo
unsigned long tempoAnteriorBomba = 0;
unsigned long tempoAnteriorPH = 0;
const unsigned long intervaloBomba = 180000; // 3 minutos em milissegundos
const unsigned long intervaloPH = 3600000; // 1 hora em milissegundos
bool bombaLigada = false;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // Inicialização do display LCD
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.begin(16, 2);
```

```
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(" Bem Vindo ao");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Sist.Hidroponico");
delay(5000);
lcd.clear();
  pinMode(PIN_BOMBA_PRINCIPAL, OUTPUT);
  pinMode(PIN_BOMBA_PH_MAIS, OUTPUT);
  pinMode(PIN_BOMBA_PH_MENOS, OUTPUT);
  digitalWrite(PIN_BOMBA_PRINCIPAL, LOW);
  digitalWrite(PIN_BOMBA_PH_MAIS, LOW);
  digitalWrite(PIN_BOMBA_PH_MENOS, LOW);
  sensors.begin(); // Inicializa o sensor de temperatura
}
void loop() {
  unsigned long tempoAtual = millis(); // Função millis para controle de tempo
  // Leitura dos sensores
  float ph = lerPHSensor();
  float tds = lerTDSSensor();
  float temperatura = lerTemperatura();
  // Atualiza o display LCD
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("pH:");
  lcd.print(ph, 1);
  lcd.print(" T:");
  lcd.print(temperatura, 1);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("TDS:");
  lcd.print(tds, 0);
  lcd.print("ppm");
  // Controle da bomba principal (3 min ON / 3 min OFF)
```

```

if (tempoAtual - tempoAnteriorBomba >= intervaloBomba) {
    tempoAnteriorBomba = tempoAtual;
    bombaLigada = !bombaLigada;
    digitalWrite(PIN_BOMBA_PRINCIPAL, bombaLigada ? HIGH : LOW);
}
// Controle das bombas de pH a cada 1 hora
if (tempoAtual - tempoAnteriorPH >= intervaloPH) {
    tempoAnteriorPH = tempoAtual;
    if (ph < 6) {
        digitalWrite(PIN_BOMBA_PH_MAIS, HIGH);
        delay(500);
        digitalWrite(PIN_BOMBA_PH_MAIS, LOW);
    } else if (ph > 7) {
        digitalWrite(PIN_BOMBA_PH_MENOS, HIGH);
        delay(500);
        digitalWrite(PIN_BOMBA_PH_MENOS, LOW);
    }
}
delay(1000); // Aguarda 1 segundo antes da próxima leitura
}
// Função para ler o sensor de pH
float lerPHSensor() {
    int leitura = analogRead(PIN_PH_SENSOR);
    float ph = map(leitura, 0, 1023, 0, 13); // Calibração
    return ph;
}
// Função para ler o sensor de TDS
float lerTDSSensor() {
    int leitura = analogRead(PIN_TDS_SENSOR);
    float tds = map(leitura, 0, 1023, 0, 750); // Calibração
    return tds;
}

```

```
// Função para ler o sensor de temperatura
float lerTemperatura() {
    sensors.requestTemperatures();
    return sensors.getTempCByIndex(0);
}
```